

## НЕРЕШЕННЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

**В. Б. Коробов, В. П. Шевченко, Е. И. Котова**

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,  
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,  
e-mail: szoioran@mail.ru*

Устьевая область реки Северная Двина является одним из наиболее изученных участков водных объектов России. Однако, из-за исключительной сложности природных процессов, протекающих в разветвленных приливных дельтах, многие проблемы до сих пор остаются недостаточно понятными и освещенными в научной литературе. Авторами систематизированы проблемы и предложены пути их решения. В отдельную проблему выделен экологический мониторинг. Сделан вывод о необходимости разработки межведомственной программы исследований всей устьевой области.

**Ключевые слова:** Северная Двина, устьевая область, мониторинг, моделирование

### Введение

Северная Двина – одна из крупнейших рек Европейского Севера России. В истории страны Северная Двина сыграла, и еще продолжает играть, значительную роль как важная транспортная артерия. В ее устьевой области функционирует крупный порт, расположено несколько населенных пунктов общей численностью порядка семисот тысяч человек, функционируют крупные предприятия целлюлозно-бумажной, лесопромышленной и машиностроительной отраслей.

Потребность в эффективном обеспечении логистических операций, функционирования промышленности и жизнедеятельности населения стала естественной причиной необходимости изучения устьевой области для целей навигации, гидротехнического строительства и охраны окружающей среды этой территории.

Устьевая область Северной Двины представляет собой участок от пос. Усть-Пинега до дельты, протяженностью около 100 км, дельту и устьевое взморье в месте впадения реки в Двинский залив Белого моря (рисунок 1).

Устьевой области посвящены как отдельные исследования, так и части монографий, справочных пособий и статей. Трудно сказать, какое число научных работ опубликовано по проблематике устьевой области Северной Двины, число их уже давно идет на тысячи (если считать и материалы конференций, во многих из которых содержатся ценные, а то и уникальные материалы). Наиболее известными из научного массива этих работ являются монографии (Бреховских, Волкова, Колесниченко, 2003;

Гидрология ..., 1965; Кузнецов, Мискевич, Зайцева, 1991), которые хоть и изданы много лет назад, но все еще не потеряли своей актуальности.

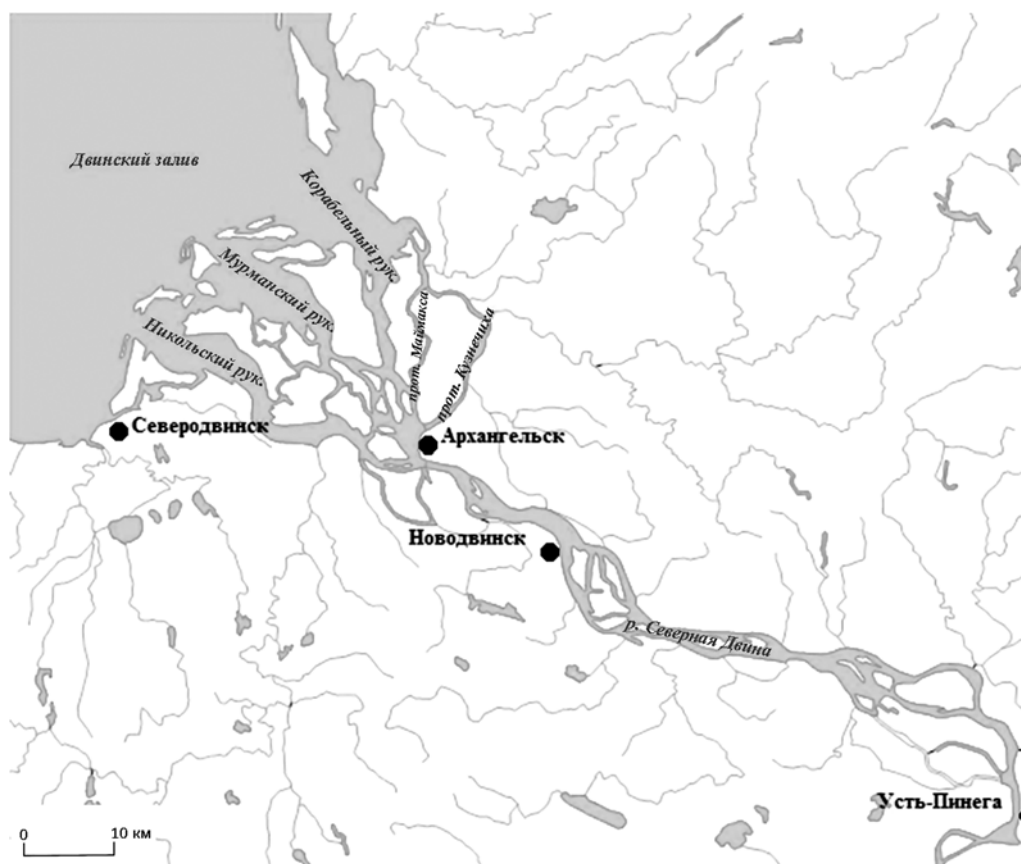


Рис. 1 – Схема устьевой области Северной Двины

Как правило, результаты научных исследований публикуются, если можно так выразиться, по научным отраслям: гидрология и динамика вод, гидрогеология, гидрохимия и загрязнение, гидробиология, экология.

Тем не менее, несмотря на такое количество научной продукции, ряд вопросов, касающихся режима устьевой области Северной Двины, освещен недостаточно, а некоторые проблемы решены весьма приблизительно или не решены совсем. Почему так происходит, попытаемся разобраться в рамках настоящей статьи.

### Состояние проблемы

Точнее надо сказать «состояние проблем», поскольку она не одна, а несколько, хотя во многом они и связаны между собой.

На первое место мы поставим *неравномерность наблюдений* по пространству и времени. Исследования устьевой области Северной Двины в первую очередь определялись практическими потребностями, что вполне естественно. Поэтому сетка

существующих регулярных наблюдений имеет заметно большую плотность в более «обжитых» районах и тяготеет к наиболее используемым частям дельты и устьевого взморья – протоке Маймакса и судоходным каналам Архангельского порта. При этом не охваченными остаются акватории, прилегающие к устьевому взморью, и само устьевое взморье. Например, отсутствуют пункты государственного мониторинга в районе крупного промышленного города Северодвинск. Ближайший пункт наблюдений расположен в 20 км выше по течению. Отсюда неравномерность сведений и, соответственно, знаний об особенностях протекания процессов в неосвещенных и слабо освещенных акваториях.

Но, с другой стороны, в соответствии с требованиями природоохранного законодательства, предприятия обязаны осуществлять производственный экологический мониторинг при проведении работ, оказывающих влияние на окружающую среду. Обработка таких материалов наблюдений, когда она становится возможной, позволяет дополнять наши знания новыми сведениями, причем иногда в районах, не охваченных системой государственного мониторинга, как, к примеру, при проведении дноуглубительных работ на акватории порта (Иглин, Котова, Коробов, 2020). Объективности ради, необходимо отметить и некоторые позитивные следствия мониторинга хозяйственной деятельности. Упомянутый выше комплекс наблюдений в период проведения дноуглубительных работ включает детальные гидрологические исследования, измерение расходов, отбор проб на загрязняющие вещества, в том числе специфические, не входящие в перечень обязательных для государственного мониторинга, но необходимые для оценки качества вод. Данные производственного экологического мониторинга в районе сточных вод, сбрасываемых такими крупными водопользователями, как целлюлозно-бумажные комбинаты, – очень ценная информация, но, к сожалению, носит закрытый характер.

К этой проблеме примыкает неполнота (неравномерность) наблюдений во времени, причем наблюдений всех типов – гидрометеорологических, гидрохимических, гидробиологических и литодинамических. Это связано как с затягиванием акватории ледяным покровом в холодный период года, так и с объективной необходимостью проводить учащенные наблюдения в некоторые периоды гидрологического цикла, например, в половодье.

Между тем, устойчивый ледяной покров позволяет проводить исследования прямо со льда на тех участках и в тех точках, куда доступ затруднен в период открытого русла и на морской акватории, например, на мелководных для плавсредств участках, а также там, где из-за высокой динамики вод трудно фиксировать приборы и оборудование. В последние годы измерения со льда постоянно проводят сотрудники Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН; материалы наиболее значимых экспедиций публикуются в различных изданиях (Шевченко и др., 2012; Leshchev et al., 2015, 2017). Однако затрагивают они пока еще небольшие, хотя и важные, участки дельты и придельтовой акватории.

Чаще всего научные исследования охватывают небольшие промежутки времени, отборы проб единичны. Одним из примеров относительно продолжительных

и регулярных наблюдений могут служить работы в рамках проекта «Обсерватория. Маргинальный фильтр реки Северной Двины» в период с мая 2015 г. по май 2021 г. с ежемесячным отбором проб воды в двух, а затем трех точках (Gordeev et al., 2021). В этом проекте используется идея А. П. Лисицына о работе маргинального фильтра океана (Lisitsyn, 1995) и продолжаются исследования, проводившиеся в устье Северной Двины ранее в рамках проекта «Система Белого моря» (Лисицын и др., 2003; Gordeev, Pokrovsky, Shevchenko, 2018).

Неравномерность наблюдений можно проследить по сети государственного мониторинга, осуществляемого Росгидрометом (рисунок 2).

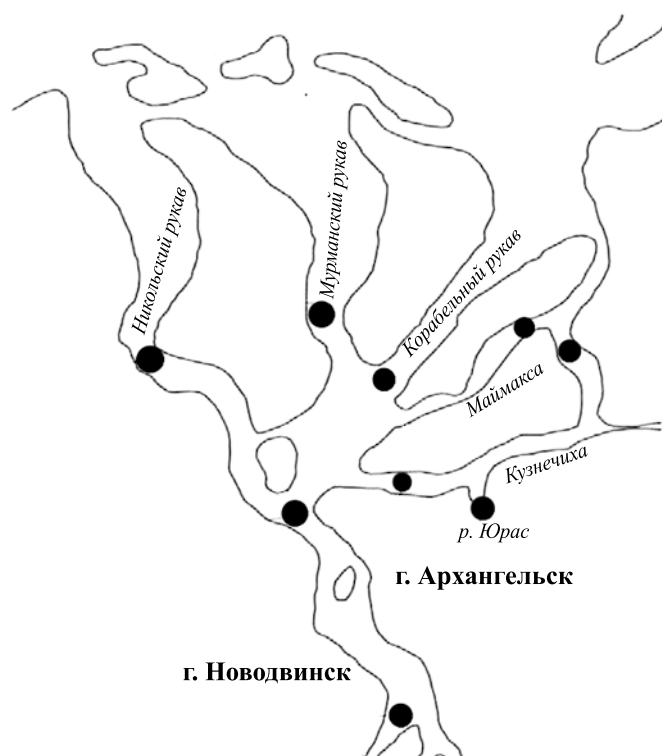


Рис. 2 – Сеть государственного мониторинга загрязнения поверхностных вод

Несмотря на то, что гидрохимические пункты относительно равномерно распределены по дельте реки, одной из особенностей государственного мониторинга в дельте Северной Двины является полное отсутствие данных о расходах в дельте. Замыкающий пост гидрологических наблюдений на Северной Двине расположен в с. Усть-Пинега, и, хотя через него проходит 97 % всего стока, это не позволяет судить о распределении стока через рукава дельты.

Несмотря на все большие возможности, предоставляемые современным парком приборов и методик, определяется далеко не весь перечень из доступных к измерению и изучению характеристик. При проведении исследований и мониторинга организаторы, как правило, выбирают свой перечень характеристик. В результате названия научных публикаций и их разделов, в которых речь идет об устьевой области

Северной Двины (включая и работы авторов), далеко не всегда отражают всю область исследования (Nikanorov et al., 2010; Dzhamalov et al., 2019; Котова и др., 2020).

Использование большого разнообразия методик, несогласованность сроков и периодичности отбора проб затрудняют сопоставление данных, полученных разными организациями и авторами.

*Трудности гидродинамического моделирования.* Математическое моделирование процессов на акватории морских устьевых областей разделяется на части, в которых протекание процессов хотя и связано, но происходит по-разному. Это придельтовая область (со стороны реки), дельта и устьевое взморье. Обусловлено это пространственно-временными различиями в динамике вод.

Моделирование придельтового участка мало чем отличается от моделирования потоков в реках в целом и основано на уравнениях гидравлики. Здесь основные сложности возникают при нахождении коэффициентов шероховатости, которые могут различаться на порядки. Однако качественные измерения потоков позволяют с приемлемой для многих практических приложений точностью получить необходимые характеристики течений и расходов.

Сложности моделирования существенно возрастают при приближении потока к дельте, которая разделяется на рукава. Казалось бы, почему не подойти к задаче так же, как и при изучении течения на нижнем участке реки: провести измерения в начале рукавов и в местах впадения их в море и настроить частные модели потоков? Но таких измерений в данном случае недостаточно. Дело в том, что имеет место переток воды между рукавами, осуществляемый через множество протоков, и поступление воды от впадающих в рукава малых речек и ручьев. Со стороны моря во время приливов и нагонов также происходит заток морских вод, ощущаемый во всей дельте, и величина которого постоянно изменяется в зависимости от фазы прилива и синоптической ситуации. При этом присутствует сдвиг по фазе при продвижении приливной волны по дельте, что заметно в различном времени наступления малой и полной вод в разных рукавах дельты, которое может составлять десятки минут. Это ведет к перекосу уровня то в сторону одного рукава, то другого, и перераспределению воды между ними. Все это создает серьезные проблемы с заданием начальных и граничных условий в гидродинамических и гидравлических моделях течений и колебаний уровня в много-рукавной дельте.

Тем не менее, несмотря на эти трудности, определенные успехи в моделировании гидродинамических процессов в дельте Северной Двины достигнуты. Здесь в первую очередь необходимо отметить многолетние работы Государственного океанографического института им. Н. Н. Зубова Росгидромета (Лупачев, 1976; Полонский, Лупачев, Скрипунов, 1992; Полонский, Мишин, 2013 и др.). В них были уточнены характеристики уровней и ледового режима. Существенное внимание было уделено исследованию проникновения соленых морских вод в рукава дельты, в результате которых были получены экстремальные значения осолонения речных вод. Заметный вклад внесли и исследования кафедры гидрологии суши Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (Лебедева и др., 2015; Лебедева, 2016).

В рамках их исследований разработана и реализована двумерная гидродинамическая модель, позволяющая получать динамические характеристики потоков в приливном и, самое важное, в синоптическом масштабах. Особенно важна вторая возможность, поскольку явления синоптического масштаба и, прежде всего, штормовые нагоны на сегодняшний день являются наименее изученными процессами в устьевых областях, впадающих в моря рек.

Совсем другого подхода требует моделирование гидродинамических процессов на устьевом взморье. Здесь необходим учет процессов во всем Двинском заливе, трансформация их на мелководье и взаимодействие с речными водами, образующими обширную зону смешения и мощное течение. Все протекающие процессы – течения, колебания уровня, волнения – нелинейные, что затрудняет их формализацию и интерпретацию данных наблюдений. Тем не менее, и здесь, в рамках обобщения данных наблюдений сети гидрометеорологических станций, судовых архивов и моделирования Белого моря, в восьмидесятых годах прошлого века были получены интересные и весьма обнадеживающие результаты по гидрологии, динамике, химии и биологии вод (Гидрометеорология ..., 1991 а,б), во многом не потерявшие актуальности до сих пор. Были построены карты приливов, общая схема циркуляции и колебания уровня, получены режимные характеристики волнения – для глубоководной части Двинского залива, в том числе оценки влияния приливных течений на высоты и длины волн. По данным береговых станций, судовых съемок и данных авиаразведок были обобщены наблюдения за температурой, соленостью, ледовым режимом, результатом которых стали сезонные карты и таблицы статистических характеристик.

*Режим устьевых областей малых рек, впадающих в устьевую область Северной Двины.* Как показали исследования устьевых областей малых рек, впадающих в Белое море (Коробов, 2015), их характеристики могут сильно различаться даже между реками, расположенными всего лишь в нескольких километрах друг от друга. Обусловлено это большим разнообразием условий на площади водосбора, рельефа, берегов и прилегающей морской акватории. Следует ожидать таких же различий и для многих малых рек устьевой области Северной Двины, поскольку особенности их водосбора, динамика вод и русловые процессы также существенно различны.

### Пути решения

Пути решения следуют из самих проблем. И нельзя не отметить, что некоторые из описанных выше проблем постепенно решаются. Так, расширяется перечень измеряемых элементов гидрохимического режима (Chupakov et al., 2020; Gordeev et al., 2021), загрязнения вод и донных осадков тяжелыми металлами (Fedorov et al., 2011; Неверова и др., 2014; Maslov et al., 2014), радионуклидами (Киселев и др., 2006), углеводородами (Nemirovskaya, 2011), хлороорганическими соединениями (Тройанская, Nikitina, Vakhrameeva, 2013).

*Изменение сетки наблюдений.* Речь правильнее вести не столько об изменении существующей сетки наблюдений, сколько о ее дополнении. При этом сетка должна удовлетворять условиям как экологического мониторинга, так и получения данных для разработки гидродинамических моделей. Один из возможных вариантов такой сетки представлен на рисунке 3.

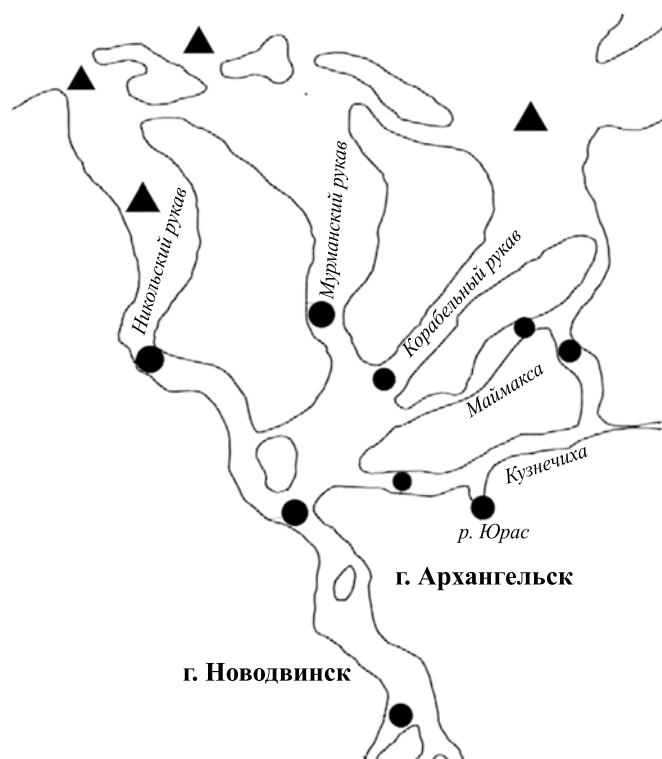


Рис. 3 – Сеть наблюдений в устьевой области для задач экологического мониторинга и математического моделирования физических процессов: ● – действующие пункты государственного мониторинга, ▲ – предлагаемые станции мониторинга

*Учащение наблюдений (с использованием экспертных технологий).* То, что наблюдения необходимо производить чаще, мало у кого вызывает сомнения. Но сама суть процесса – что и где, и насколько часто наблюдать – вызывает споры, которые можно решить в ходе дискуссии с применением экспертных технологий для поиска оптимального результата. Экспертные технологии также могут быть применены и для оптимизации сети наблюдений (Коробов, 2008).

*Проведение крупномасштабного эксперимента.* Такой эксперимент просто необходим, как для получения динамических характеристик течений и уровней, незаменимых для верификации гидродинамических и динамико-стохастических моделей, так и отбора проб для химического, биологического и гранулометрического анализа, особенно на участках, ранее не охваченных или слабо охваченных наблюдениями. Разработка программы таких наблюдений представляет собой самостоятельную задачу и должна производиться силами нескольких учреждений, которые затем будут участвовать в ее осуществлении. В противном случае она теряет смысл.

*Разработка сопряженных гидродинамических моделей «река–море».* Из всех перечисленных задач, эту можно отнести к одной из самых сложных. Сопряженность моделей в данном случае заключается в том, что решения на выходе потока перед дельтой будут входом (начальными и граничными условиями) разветвляющегося на рукава течения, а динамические характеристики на взморье будут начальными и граничными условиями для дельты и наоборот. И получать их необходимо не только одновременно для различных участков, но и постоянно учитывать их изменения по пространству и времени. Тем не менее, есть примеры достаточно успешных решений такого рода задач для некоторых случаев (без приливов и для устьев лиманного типа, что существенно облегчает поиск решения), например, (Тучковенко, 2003). Некоторые алгоритмы позволяют при этом получать и дополнительные сведения, такие, как влияние отдельных участков акваторий друг на друга (Марчук, 1982). Еще одна методологическая трудность, возникающая при разработке сопряженных моделей для такого рода объектов, обусловлена неясностью: следует ли для получения гидрологических и гидродинамических характеристик на устьевом взморье разрабатывать соответствующие модели только для Двинского залива или же для всего Белого моря? Однозначного ответа на этот вопрос нет. Так, для ветрового волнения может оказаться достаточно только акватории залива, а вот для штормовых нагонов – нет, поскольку причиной их возникновения являются циклоны, а это уже совсем другой пространственно-временной масштаб.

Как промежуточный можно рассматривать аддитивный путь, когда для отдельных точек акватории будут рассчитываться такие характеристики, как составляющие скорости течений (стоковых, дрейфовых, термохалинных, приливных и нагонных), которые затем будут суммироваться по правилу сложения векторов. Таким же образом можно рассчитывать и некоторые составляющие дрейфа подвижных ледяных полей. Но вряд ли он применим для штормовых условий, когда имеет место перекачка энергии между атмосферой и водными потоками, с одной стороны, волнами и течениями – с другой. И это в условиях диссипации энергии, вследствие трения о дно и берега.

Одним из направлений решения перечисленных проблем может служить предоставление доступа к данным государственного и производственного мониторинга для целей научных исследований всем желающим. Формально такой доступ есть, но чаще всего на практике получить данные очень сложно.

*Совершенствование приборного парка.* Лучшему пониманию физических и химических процессов в устьевой области Северной Двины, наряду с неразработанностью теорий, например, двухфазной турбулентности, препятствует состояние приборного парка и лабораторного оборудования. Тема эта требует специального рассмотрения. Здесь мы отметим только то, что настоятельно требуется как расширение числа приборов и оборудования, так и улучшение его качества, в том числе и путем миниатюризации, без чего не получить принципиально новых результатов.

Такие же проблемы характерны и для других крупных рек, впадающих в моря Северного Ледовитого океана, имеющих многорукавные дельты, такие как: Печора,



Обь (в районе Яр-Сале), Енисей и, конечно же, Лена. Поэтому обозначенные в данной статье проблемы в полной мере характерны и для этих объектов, и даже их частичное решение будет способствовать лучшему пониманию аналогичных проблем в устьевой области Северной Двины.

### Заключение

Несмотря на длительную историю исследований устьевой области Северной Двины, многие вопросы остаются неизученными или слабо изученными.

Существующая сеть наблюдений не позволяет в полном объеме осуществлять контроль за состоянием экосистемы всей устьевой области. Требуется ее существенная модернизация под задачи экологического мониторинга и получения сведений, необходимых для разработки комплекса сопряженных математических моделей гидродинамики вод, движения наносов и русловых процессов.

Для решения этих и ряда других задач необходимо разработать межведомственную программу комплексных наблюдений, которая позволит получить недостающие режимные сведения и характеристики, необходимые для разработки комплекса моделей.

**Благодарности.** Работа была выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE–2021–0016).

### Список литературы

1. *Бреховских В. Ф., Волкова З. В., Колесниченко Н. Н.* Проблемы качества вод в бассейне Северной Двины. М.: Наука, 2003. 233 с.
2. Гидрология устьевой области Северной Двины / Под ред. М. И. Зотина и В. Н. Михайлова. М.: Моск. отд-ние изд-ва Гидрометеиздат, 1965. 376 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том II: Белое море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия / Под ред. Б. Х. Глуховского. Л.: Гидрометеиздат, 1991а. 240 с.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том II: Белое море. Вып. 2: Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / Под ред. Б. М. Затучной и Д. Е. Гершановича. Л.: Гидрометеиздат, 1991б. 194 с.
5. *Иглин С. М., Котова Е. И., Коробов В. Б.* Геоэкологическая оценка состояния вод и донных грунтов при проведении ремонтных работ в порту Архангельск // *Естественные и технические науки*. 2020. № 5 (143). С. 76–87. <https://doi.org/10.25633/ETN.2020.05.11>.
6. *Киселев Г. П., Баженов А. В., Зыков С. Б., Крячунас В. В., Киселева И. М., Ластовский А. М.* О радиоактивности окружающей среды Архангельского промышленного района // *Экология человека*. 2006. № 2. С. 3–6.
7. *Коробов В. Б.* Исследования режима устьевых областей рек Белого моря // *Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. М.: ГЕОС, 2015. Т. 3. С. 199–202.

8. *Коробов В. Б.* Экспертные методы в географии и геоэкологии. Архангельск: Издательство Поморского государственного университета, 2008. 244 с.
9. *Котова Е. И., Коробов В. Б., Шевченко В. П., Иглин С. М.* Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море) // Успехи современного естествознания. 2020. № 5. С. 121–129. <https://doi.org/10.17513/use.37402>.
10. *Кузнецов В. С., Мискевич И. В., Зайцева Г. Б.* Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 195 с.
11. *Лебедева С. В.* Динамика потока в приливном многорукавном устье крупной реки (на примере р. Северная Двина): Автореферат дис. ... канд. геогр. наук. М., 2016. 26 с.
12. *Лебедева С. В., Алабян А. М., Крыленко И. Н., Федорова Т. А.* Наводнения в устье Северной Двины и их моделирование // Геориск. 2015. № 1. С. 18–25.
13. *Лисицын А. П., Шевченко В. П., Буренков В. И., Копелевич О. В., Васильев Л. Ю.* Взвесь и гидрооптика Белого моря – новые закономерности количественного распределения и гранулометрии // Актуальные проблемы океанологии. М.: Наука, 2003. С. 556–607.
14. *Лупачев Ю. В.* Особенности проникновения соленой воды в приливное устье реки (на примере устья Северной Двины) // Труды ГОИН. 1976. Вып. 129. С. 37–52.
15. *Марчук Г. И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.
16. *Неверова Н. В., Лебедев А. А., Морева О. Ю., Чупаков А. В., Ершова А. А.* Тяжелые металлы в донных отложениях, придонном слое воды и бентосных организмах устьевой части р. Северной Двины // Вопросы экологии. 2014. № 4. С. 3–10.
17. *Полонский В. Ф., Лупачев Ю. В., Скриптунов Н. А.* Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза). СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 383 с.
18. *Полонский В. Ф., Мишин Д. В.* Исследование нестационарных водных потоков в приливном устье Северной Двины // Труды ГОИН. 2013. № 214. С. 149–165.
19. *Тучковенко Ю. С.* Математическая модель формирования термохалинной структуры и циркуляции вод в лиманах, приустьевых и шельфовых областях северо-западной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2003. № 9. С. 138–153.
20. *Шевченко В. П., Филиппов А. С., Новигатский А. Н., Гордеев В. В., Горюнова Н. В., Демина Л. Л.* Рассеянное осадочное вещество пресноводных и морских льдов // Система Белого моря. М.: Научный мир, 2012. Т. II. С. 169–200.
21. *Chupakov A. V., Pokrovsky O. S., Moreva O. Y., Shirokova L. S., Neverova N. V., Chupakova A. A., Kotova E. I., Vorobyeva T. Y.* High resolution multi-annual riverine fluxes of organic carbon, nutrient and trace element from the largest European Arctic river, Severnaya Dvina // Chemical Geology. 2020. Vol. 538. Article 119491. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119491>.
22. *Dzhamalov R. G., Mironenko A. A., Myagkova K. G., Reshetnyak O. S., Safronova T. I.* Space-time analysis of hydrochemical composition and pollution of water in the Northern Dvina basin // Water Resources. 2019. Vol. 46. No. 2. P. 188–198. <https://doi.org/10.1134/S0097807819020040>.
23. *Fedorov Yu. N., Ovsepyan A. E., Lisitzin A. P., Dotsenko I. V., Novigatsky A. N., Shevchenko V. P.* Patterns of mercury distribution in bottom sediments along the Severnaya Dvina – White Sea section // Doklady Earth Sciences. 2011. Vol. 436. Part 1. P. 51–54. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11010041>.
24. *Gordeev V. V., Pokrovsky O. S., Shevchenko V. P.* The geochemical features of the river discharge to the White Sea // Biogeochemistry of the Atmosphere, Ice and Water of the White Sea: The White Sea Environment. Part I, Hdb. Env. Chem. / A. P. Lisitzin, V. V. Gordeev (eds.). Springer Nature. 2018. P. 47–81. [https://doi.org/10.1007/698\\_2018\\_329](https://doi.org/10.1007/698_2018_329).

25. Gordeev V. V., Shevchenko V. P., Korobov V. B., Kochenkova A. I., Starodymova D. P., Belorukov S. K., Lokhov A. S., Yakovlev A. E., Chultsova A. L., Zolotykh E. O., Lobkovsky L. I. Concentrations of chemical elements in the water and suspended matter of the Northern Dvina river and annual gross runoff to the White Sea // *Doklady Earth Sciences*. 2021. Vol. 500. Part 1. P. 787–793.
26. Leshchev A. V., Khomenko G. D., Korobov V. B., Lokhov A. S., Chultsova A. L., Ruzhnikova N. N., Makhnovich N. N., Belorukov S. K., Yakovlev A. E., Efremova O. P., Muangu Zh. E. R. Fieldworks in the Northern Dvina Estuary in March 2014 // *Oceanology*. 2015. Vol. 55. No. 2. P. 315–317. <https://doi.org/10.1134/S0001437015020095>.
27. Leshchev A. V., Miskevich I. V., Korobov V. B., Lokhov A. S., Chultsova A. L., Khomenko G. D., Belorukov S. K., Yakovlev A. E. Spatial features of tidal variability of the hydrological and hydrochemical characteristics in the Northern Dvina River mouth area during the winter low-water period // *Oceanology*. 2017. Vol. 57. No. 2. P. 270–277. <https://doi.org/10.1134/S0001437016060084>.
28. Lisitsyn A. P. The marginal filter of the ocean // *Oceanology*. 1995. Vol. 34. No. 5. P. 671–682.
29. Maslov A. V., Shevchenko V. P., Podkovyrov V. N., Ronkin Yu. L., Lepikhina O. P., Novigatsky A. N., Filippov A. S., Shevchenko N. V. Specific features of the distribution of trace and rare earth elements in recent bottom sediments in the lower course of the Severnaya Dvina River and White Sea // *Lithology and Mineral Resources*. 2014. Vol. 49. No. 6. P. 433–460. <https://doi.org/10.1134/S0024490214060078>.
30. Nemirovskaya I. A. Distribution of hydrocarbons in the estuarine area of the Northern Dvina River during seasonal flood // *Geochemistry International*. 2011. Vol. 49. No. 8. P. 863–874. <https://doi.org/10.1134/S0016702911080052>.
31. Nikanorov A. M., Sokolova L. P., Reshetnyak O. S., Kondakova M. Y., Danilenko A. O. Anthropogenic load on the estuarine area of the Northern Dvina River // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2010. Vol. 35. No. 4. P. 281–288. <https://doi.org/10.3103/S1068373910040060>.
32. Troyanskaya A. F., Nikitina I. A., Vakhrameeva E. A. Organochlorine compounds in bottom sediments of a delta branch of the Northern Dvina // *Water Resources*. 2013. Vol. 40. No. 3. P. 297–304. <https://doi.org/10.1134/S0097807813030081>.

Статья поступила в редакцию 01.06.2022, одобрена к печати 14.07.2022.

**Для цитирования:** Коробов В. Б., Шевченко В. П., Котова Е. И. Нерешенные задачи исследования устьевой области Северной Двины // *Океанологические исследования*. 2022. Т. 50. № 2. С. 125–138. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(2\).6](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).6).

## UNRESOLVED TASKS OF INVESTIGATING THE SEVERNAYA DVINA RIVER MOUTH

V. B. Korobov, V. P. Shevchenko, E. I. Kotova

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,  
e-mail: szoioran@mail.ru*

The Severnaya Dvina River mouth is one of the most studied water objects in Russia. However, many problems still remain insufficiently understood and covered in the scientific literature, due to the exceptional complexity of natural processes that occur in branched tidal deltas. The authors systematize the problems that need to be solved and propose ways to implement. Environmental monitoring is singled out as a separate problem. It is concluded that it is necessary to develop an interdepartmental research program for the entire estuary region.

**Keywords:** Severnaya Dvina, the river mouth, monitoring, modeling

**Acknowledgement:** The work was supported within the framework of the state assignment No. FMWE–2021–0016.

### References

1. Brehovskih, V. F., Z. V. Volkova, and N. N. Kolesnichenko, 2003: *Problemy kachestva vod v bassejne Severnoj Dviny (Problems of water quality in the Northern Dvina basin)*. Moscow, Nauka, 233 p.
2. Chupakov, A. V., O. S. Pokrovsky, O. Y. Moreva, L. S. Shirokova, N. V. Neverova, A. A. Chupakova, E. I. Kotova, and T. Y. Vorobyeva, 2020: High resolution multi-annual riverine fluxes of organic carbon, nutrient and trace element from the largest European Arctic river, Severnaya Dvina. *Chemical Geology*, **538**, 119491, <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119491>.
3. Dzhamalov, R. G., A. A. Mironenko, K. G. Myagkova, O. S. Reshetnyak, and T. I. Safronova, 2019: Space-time analysis of hydrochemical composition and pollution of water in the Northern Dvina basin. *Water Resources*, **46** (2), 188–198, <https://doi.org/10.1134/S0097807819020040>.
4. Fedorov, Yu. N., A. E. Ovsepyan, A. P. Lisitzin, I. V. Dotsenko, A. N. Novigatsky, and V. P. Shevchenko, 2011: Patterns of mercury distribution in bottom sediments along the Severnaya Dvina – White Sea section. *Doklady Earth Sciences*, **436** (1), 51–54, <https://doi.org/10.1134/S1028334X11010041>.
5. *Gidrologiya ust'evoy oblasti Severnoj Dviny (Hydrology of the estuary region of the Northern Dvina)*. Moscow, Gidrometeoizdat, 1965. 376 p.
6. *Gidrometeorologiya i gidrohimija morej SSSR (Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR)*. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1991a, **II**, 1. 240 p.
7. *Gidrometeorologiya i gidrohimija morej SSSR (Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR)*. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1991b, **II**, 2. 194 p.
8. Gordeev, V. V., O. S. Pokrovsky, and V. P. Shevchenko, 2018: The geochemical features of the river discharge to the White Sea. *Biogeochemistry of the Atmosphere, Ice and Water of the White Sea: The White Sea Environment*, **I**, 47–81, [https://doi.org/10.1007/698\\_2018\\_329](https://doi.org/10.1007/698_2018_329).

9. Gordeev, V. V., V. P. Shevchenko, V. B. Korobov, A. I. Kochenkova, D. P. Starodymova, S. K. Belorukov, A. S. Lokhov, A. E. Yakovlev, A. L. Chultsova, E. O. Zolotykh, and L. I. Lobkovsky, 2021: Concentrations of chemical elements in the water and suspended matter of the Northern Dvina river and annual gross runoff to the White Sea. *Doklady Earth Sciences*, **500** (1), 787–793.
10. Iglin, S. M., E. I. Kotova, and V. B. Korobov, 2020: Geojekologicheskaja ocenka sostojanija vod i donnyh gruntov pri provedenii remontnyh rabot v portu Arhangel'sk (Geoecological assessment of the state of waters and bottom soils during repair work in the port of Arkhangelsk). *Estestvennye i tehnicheckie nauki*, **5** (143), 76–87, <https://doi.org/10.25633/ETN.2020.05.11>.
11. Kisel'jov, G. P., A. V. Bazhenov, S. B. Zykov, V. V. Krjauchjunas, I. M. Kisel'jova, and A. M. Lastovskij, 2006: O radioaktivnosti okružhajushhej sredy Arhangel'skogo promyshlennogo rajona (On environmental radioactivity of the Arkhangelsk industrial district). *Ekologija cheloveka*, **2**, 3–6.
12. Korobov, V. B., 2015: Issledovanija rezhima ust'evykh oblastej rek Belogo morja (Studies of the regime of the estuaries of the rivers of the White Sea). *Geologija morej i okeanov*, Moscow, **3**, 199–202.
13. Korobov, V. B., 2008: *Jekspertnye metody v geografii i geojekologii (Expert methods in geography and geoecology)*. Arhangel's: Izdatel'stvo Pomorskogo gosudarstvennogo universiteta, 244 p.
14. Kotova, E. I., V. B. Korobov, V. P. Shevchenko, and S. M. Iglin, 2020: Jekologicheskaja situacija v ust'evoj oblasti reki Severnoj Dviny (Beloe more) (Ecological situation in the estuary region of the Northern Dvina River (White Sea)). *Uspehi sovremennogo estestvoznanija*, **5**, 121–129, <https://doi.org/10.17513/use.37402>.
15. Kuznecov, V. S., I. V. Miskevich, and G. B. Zajceva, 1991: *Gidrohimičeskaja harakteristika krupnyh rek bassejna Severnoj Dviny (Hydrochemical characteristics of large rivers of the Northern Dvina basin)*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 195 p.
16. Lebedeva, S. V., 2016: *Dinamika potoka v prilivnom mnogorukavnom ust'e krupnoj reki (na primere r. Severnaja Dvina) (Flow dynamics in the tidal multi-arm mouth of a large river (on the example of the Severnaya Dvina river))*. Moscow, 26 p.
17. Lebedeva, S. V., A. M. Alabjan, I. N. Krylenko, and T. A. Fjodorova, 2015: Navodnenija v ust'e Severnoj Dviny i ih modelirovanie (Floods at the mouth of the Northern Dvina and their modeling). *Georisk*, **1**, 18–25.
18. Leshchev, A. V., G. D. Khomenko, V. B. Korobov, A. S. Lokhov, A. L. Chultsova, N. N. Ruzhnikova, N. N. Makhnovich, S. K. Belorukov, A. E. Yakovlev, O. P. Efremova, and Zh. E. R. Muangu, 2015: Fieldworks in the Northern Dvina Estuary in March 2014. *Oceanology*, **55** (2), 315–317, <https://doi.org/10.1134/S0001437015020095>.
19. Leshchev, A. V., I. V. Miskevich, V. B. Korobov, A. S. Lokhov, A. L. Chultsova, G. D. Khomenko, S. K. Belorukov, and A. E. Yakovlev, 2017: Spatial features of tidal variability of the hydrological and hydrochemical characteristics in the Northern Dvina River mouth area during the winter low-water period. *Oceanology*, **57** (2), 270–277, <https://doi.org/10.1134/S0001437016060084>.
20. Lisitsyn, A. P., 1995: The marginal filter of the ocean. *Oceanology*, **34** (5), 671–682.
21. Lisicyn, A. P., V. P. Shevchenko, V. I. Burenkov, O. V. Kopelevich and L. Ju. Vasil'ev, 2003: Vzves' i gidrooptika Belogo morja – novye zakonomernosti kolichestvennogo raspredelenija i granulometrii (Suspension and hydrooptics of the White Sea – new patterns of quantitative distribution and granulometry). *Aktual'nye problemy okeanologii*. Moscow, Nauka, 556–607.
22. Lupachev, Ju. V., 1976: Osobennosti proniknovenija soljonoj vody v prilivnoe ust'e reki (na primere ust'ja Severnoj Dviny) (Features of salt water penetration into the tidal estuary of the river (on the example of the mouth of the Northern Dvina)). *Trudy GOIN*, **129**, 37–52.

23. Maslov, A. V., V. P. Shevchenko, V. N. Podkovyrov, Yu. L. Ronkin, O. P. Lepikhina, A. N. Novigatsky, A. S. Filippov, and N. V. Shevchenko, 2014: Specific features of the distribution of trace and rare earth elements in recent bottom sediments in the lower course of the Severnaya Dvina River and White Sea. *Lithology and Mineral Resources*, **49** (6), 433–460, <https://doi.org/10.1134/S0024490214060078>.
24. Marchuk, G. I., 1982: *Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhajushhej sredy (Mathematical modeling in the problem of the environment)*. Moscow, Nauka, 320 p.
25. Nemirovskaya, I. A., 2011: Distribution of hydrocarbons in the estuarine area of the Northern Dvina River during seasonal flood. *Geochemistry International*, **49** (8), 863–874, <https://doi.org/10.1134/S0016702911080052>.
26. Neverova, N. V., A. A. Lebedev, O. Ju. Moreva, A. V. Chupakov, and A. A. Ershova, 2014: Tjzhelye metally v donnyh otlozhenijah, pridonnom sloe vody i bentosnyh organizmah ust'evoj chasti r. Severnoj Dviny (Heavy metals in bottom sediments, bottom water layer and benthic organisms of the estuary of the river. Severnaya Dvina). *Voprosy ekologii*, **4**, 3–10.
27. Nikanorov, A. M., L. P. Sokolova, O. S. Reshetnyak, M. Y. Kondakova and A. O. Danilenko, 2010: Anthropogenic load on the estuarine area of the Northern Dvina River. *Russian Meteorology and Hydrology*, **35** (4), 281–28, <https://doi.org/10.3103/S1068373910040060>.
28. Polonskij, V. F., Ju. V. Lupachev, and N. A. Skriptunov, 1992: *Gidrologo-morfologicheskie processy v ust'jah rek i metody ih raschjota (prognoza) (Hydrological and morphological processes in river mouths and methods of their calculation (forecast))*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 383 p.
29. Polonskij, V. F. and D. V. Mishin, 2013: Issledovanie nestacionarnyh vodnyh potokov v prilivnom ust'e Severnoj Dviny (Investigation of unsteady water flows in the tidal mouth of the Northern Dvina). *Trudy GOIN*, **214**, 149–165.
30. Shevchenko, V. P., A. S. Filippov, A. N. Novigatskij, V. V. Gordeev, N. V. Gorjunova, and L. L. Demina, 2012: Rassejannoe osadochnoe veshhestvo presnovodnyh i morskikh l'dov (Dispersed sedimentary matter of freshwater and sea ice). *Sistema Belogo morja*, Moscow, Nauchnyj mir, **II**, 169–200.
31. Troyanskaya, A. F., I. A. Nikitina and E. A. Vakhrameeva, 2013: Organochlorine compounds in bottom sediments of a delta branch of the Northern Dvina. *Water Resources*, **40** (3), 297–304, <https://doi.org/10.1134/S0097807813030081>.
32. Tuchkovenko, Ju. S., 2003: Matematicheskaja model' formirovanija termohalinnoj struktury i cirkuljacii vod v limanah, priust'evyh i shel'fovyh oblastjah severo-zapadnoj chasti Chjornogo morja (Mathematical model of the formation of thermohaline structure and water circulation in estuaries, estuaries and shelf areas of the northwestern part of the Black Sea). *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, **9**, 138–153.

Submitted 01.06.2022, accepted 14.07.2022.

**For citation:** Korobov V. B., V. P. Shevchenko, and E. I. Kotova, 2022: Unresolved tasks of investigating the Severnaya Dvina River mouth. *Journal of oceanological research*, **50** (2), 125–138, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(2\).6](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).6).