

Мурманский морской биологический институт

На правах рукописи

Булавина Александра Сергеевна

**ВОЗДЕЙСТВИЕ МАТЕРИКОВОГО СТОКА НА ВОДНЫЕ МАССЫ ЗАЛИВОВ
БЕЛОГО И ЮГО-ВОСТОКА БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ**

Специальность 25.00.28 - Океанология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук,
С.Л.Дженюк

Мурманск
2020

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| Введение..... | 4 |
| 1. Физико-географическое описание района исследований..... | 10 |
| 1.1. Материковые водосборы Баренцева и Белого морей..... | 10 |
| 1.2. Белое море..... | 19 |
| 1.3. Баренцево море..... | 26 |
| 2. Взаимодействие речных и морских вод..... | 35 |
| 2.1. Процессы смешения речных и морских вод в устьях рек..... | 36 |
| 2.2. Маргинальный фильтр океана..... | 41 |
| 2.3. Методология оценки воздействия материкового стока на морские акватории..... | 47 |
| 3. Материалы и методы..... | 57 |
| 3.1. Океанографическая база данных и методы работы с данными..... | 58 |
| 3.2. Данные метеорологических наблюдений и наблюдений на речных гидропостах, а также методы работы с ними..... | 62 |
| 3.3. Материалы и методы, использованные для осуществления интегральной оценки потенциального воздействия речного стока на морскую водную среду..... | 70 |
| 4. Формирование и изменчивость речного стока в бассейне Баренцева и Белого морей..... | 77 |
| 4.1. Озерно-речные системы западной части Белого моря и Мурманского берега Баренцева моря..... | 82 |
| 4.2. Бассейны восточной части Белого и юго-востока Баренцева морей.... | 92 |
| 5. Речные бассейны как источники загрязняющего воздействия на водную среду Белого и юго-востока Баренцева морей..... | 97 |
| 5.1. Вклад речного стока в формирование водных масс Баренцева и Белого морей..... | 97 |
| 5.2. Источники загрязнения Баренцева и Белого морей..... | 109 |
| 5.3. Качество речных вод и их воздействие на водную среду Баренцева и Белого морей..... | 121 |
| 5.4. Интегральная оценка потенциального воздействия речного стока на водную среду Баренцева и Белого морей..... | 129 |
| 5.4.1. Основные положения методики интегральной оценки потенциального воздействия речного стока на морскую водную среду..... | 129 |

| | |
|--|-----|
| 5.4.2. Основные этапы интегральной оценки потенциального воздействия речного стока на морскую водную среду | 131 |
| 5.4.3. Описание этапов интегральной оценки и полученные результаты | 134 |
| 5.5. Заливы Белого и юго-востока Баренцева морей как объекты воздействия речного стока | 153 |
| Заключение | 157 |
| Литература | 160 |
| Приложение. Характеристики материкового водосбора Белого и Баренцева морей..... | 172 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из актуальных экологических проблем океанологии является определение предельно допустимых антропогенных нагрузок на морскую среду. Наибольшее значение имеет изучение объектов, уже находящихся под воздействием хозяйственной деятельности или планируемых к освоению в ближайшее время.

Объектами интенсивного природопользования являются Баренцево и Белое моря и их водосборы. Эти моря обладают высоким ресурсным потенциалом и являются стратегически важными транспортными магистралями. Это означает повышенную нагрузку на акваторию морей со стороны судоходства, наличие на побережье портов и перегрузочных комплексов, а также риски аварий при транспортировке различных веществ. Современный тренд развития нефтегазового комплекса арктической зоны и Северного морского пути (СМП) создают дополнительные риски роста антропогенной нагрузки и негативных последствий для этих морей.

Наземные и морские экосистемы высоких широт уязвимы и в связи с низкой интенсивностью биохимических процессов имеют длительный период восстановления. С освоенных водосборов Баренцева и Белого морей коммунально-бытовые и промышленные сточные воды с речным стоком поступают в морскую среду. Очень важно не допустить чрезмерного антропогенного воздействия, способного нанести ущерб морским экосистемам.

В связи с этим, большое значение приобретают оценки допустимого воздействия на морскую водную среду со стороны различных источников. Одним из мощных источников воздействия на морские воды является материковый сток. Оценка воздействия материкового стока на воды морей предполагает два этапа. Во-первых, это оценка предельно допустимой

нагрузки на исследуемый водосбор. Во-вторых, это оценка устойчивости морской среды к внешним воздействиям.

В РФ пока нет методики, связывающей воедино предельно допустимые нагрузки на водосборы морей и устойчивость морской среды к внешним воздействиям. Поэтому становится очевидной необходимость проведения исследований по разработке методики комплексной оценки воздействия материкового стока на качество морских вод.

Степень разработанности темы исследования. Исследование опиралось на теоретические и методологические основы географической океанологии (Шокальский Ю.М., Зубов Н.Н.), морского природопользования (Денисов В.В., Фащук Д.Я. и др.), экологии северных морей (Матишов Г.Г., Ильин Г.В. и др.), гидрологии суши и гидроэкологии (Глушков В.Г., Шикломанов И.А., Коронкевич Н.И., Дмитриев В.В., Филатов Н.Н. и др.).

Цель и задачи исследования. Разработать методику комплексной оценки воздействия речного стока на морскую водную среду, получить количественные оценки трансформации прибрежных водных масс и качества воды в Белом и на юго-востоке Баренцева морей.

Для выполнения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Выявить сезонную изменчивость и пространственную неоднородность в поступлении речных вод в различные части Баренцева и Белого морей с учетом зарегулированности стока в озерно-речных системах.
2. Предложить и обосновать метод оценки скорости обновления вод в заливах.
3. Предложить и обосновать метод оценки загрязняющего потенциала речного стока.
4. Разработать методику комплексной оценки воздействия речного стока на морскую водную среду на основании природных и антропогенных особенностей водосбора и с учётом динамики морских вод.
5. Апробировать предложенную методику на природных объектах (заливы Баренцева и Белого морей и бассейны рек, впадающих в них) и дать

количественную оценку влияния речного стока на воды заливов. Ранжировать прибрежные водные массы по уровню загрязняющего воздействия речного стока.

Научная новизна исследования:

- Предложена методика интегральной оценки воздействия речного стока на морскую водную среду, учитывающая природные особенности водосбора и уровни антропогенной нагрузки.
- Предложен метод оценки водообмена между водными массами морей, основанный на солёности, как консервативном показателе качества морской среды.
- Проведено районирование водосбора Баренцева и Белого морей по уровню потенциального воздействия речного стока на морские акватории.
- Дана оценка загрязняющего воздействия речного стока на воды заливов Баренцева и Белого морей.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Полученная схема районирования объединённого водосбора Баренцева и Белого морей может быть использована предприятиями промышленности при планировании освоения территории водосбора, а также федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды, для разработки и обоснования комплекса природоохранных мероприятий. Карта-схема построена по методике, позволяющей оценить воздействие речного стока на акватории Баренцева и Белого морей в условиях дефицита данных гидрохимических измерений. Методика интегральной оценки воздействия речного стока на морскую среду может быть использована применительно к водосборам других морей.

В качестве положений, выносимых на защиту, представлены:

1. Получены оценки пространственной неоднородности и сезонной изменчивости речного стока в пределах объединённого водосбора Белого и Баренцева морей. На восточную часть водосбора приходится более 80%

суммарного годового стока, преимущественно в период половодья. Западная часть отличается более равномерным распределением стока вследствие его естественного и искусственного регулирования в озёрно-речных системах.

2. Показатель дефицита солёности позволяет оценивать скорость обновления вод в заливах. Оценки скорости водообмена, выполненные с использованием показателя дефицита солёности для заливов Белого и Баренцева морей, близки к независимым оценкам, полученным другими авторами.

3. Разработана методика оценки потенциального воздействия речного стока на водную среду морского побережья. Предложенная методика позволяет получить оценку состояния речных вод при отсутствии данных гидрохимических наблюдений, исходя из известных природно-хозяйственных факторов на водосборе.

4. По результатам расчётов заливы Белого и юго-востока Баренцева морей ранжируются по степени воздействия речного стока от минимального к максимальному в следующем порядке: Кандалакшский, Печорский, Мезенский, Онежский, Двинский. Это объясняется различиями режимов материкового стока, антропогенных нагрузок в речных бассейнах и скоростей водообмена в заливах.

Достоверность полученных результатов является следствием использования реальных метеорологических, гидрологических и океанографических данных и применением стандартных методов их обработки; согласования результатов аналитических исследований с натурными данными, а также с результатами, полученными другими авторами.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на конференциях:

1. Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика), V международная конференция молодых учёных, г. Петрозаводск, 5-8 сентября 2016 г.

2. I-ая Региональная научно-практическая конференция «Будущее Арктики начинается здесь». г. Апатиты, филиал МАГУ, 28 апреля 2017 г.
3. Проблемы Арктического региона: XVI Международная научная конференция студентов и аспирантов. г. Мурманск, ПГИ, 15-19 мая 2017 г.
4. 35-ая конференция молодых ученых Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, посвященная году экологии. г. Мурманск, ММБИ, 16-19 мая 2017 г.
5. Региональная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии и естественные науки». г. Мурманск, МАГУ, 17-24 апреля 2017 г.
6. Международная конференция «Живая природа Арктики: сохранение биоразнообразия, оценка состояния экосистем», г. Архангельск, 30 октября – 3 ноября 2017 г.
7. Международная молодежная научная конференция «Океанология в XXI веке: современные факты, модели, методы и средства» памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова, г. Ростов-на-Дону, 13-16 декабря 2017 г.
8. Международная научно-практическая конференция «Развитие арктических территорий: опыт, проблемы, перспективы», г. Мурманск, МАГУ, 12-15 декабря 2017 г.
9. II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Будущее Арктики начинается здесь», филиал МАГУ, г. Апатиты, 18-20 апреля 2018 г.
10. 36-ая конференция молодых учёных Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, г. Мурманск, ММБИ, 14-18 мая 2018 г.
11. XXVII международная береговая конференция «Арктические берега: путь к устойчивости», г. Мурманск, 24-29 сентября 2018 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, из которых 4 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура научно-квалификационной работы. Работа изложена на 171 странице машинописного текста, содержит 31 таблицу, 24 рисунка. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Список литературы включает 186 наименований.

Благодарности. Автор выражает благодарность за помощь и ценные советы при подготовке диссертации научному руководителю д.г.н. С.Л. Дженюку, академику Г.Г. Матишову и профессору д.б.н. П.Р. Макаревичу за содействие и организационную поддержку исследования, за консультативную помощь к.г.н. Г.В. Ильину, д.г.н. А.А. Шавыкину, д.г.н. В.В. Денисову, за техническую помощь сотрудникам ММБИ и ЮНЦ РАН к.г.н. А.П. Жичкину, А.А. Дерябину, В.В. Кульгину.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Материковые водосборы Баренцева и Белого морей

Согласно современным научным взглядам на районирование Мирового океана Баренцево и Белое моря рассматриваются как самостоятельные объекты. С одной стороны, Белое море с его относительно изолированной водной массой, представляется удобным объектом для выделения и самостоятельного анализа. С другой стороны, воды Белого моря формируются из трансформированных баренцевоморских вод под влиянием речного стока, а сток беломорских вод через Горло в свою очередь оказывает влияние на качество вод юго-востока Баренцева моря.

Согласно схеме больших морских экосистем (БМЭ) Мирового океана (ЮНЕП-АНИИ) Белое море включено в экосистему Баренцева моря и отдельно даже не упоминается в названии. Это соответствует подходу, при котором Белое море рассматривают как часть единой морфоструктуры Баренцевоморского шельфа (Комплексные исследования..., 2011). В настоящей работе удобно рассматривать Баренцево и Белое моря в составе единого морского бассейна, а материковые водосборы морей – как единый водосборный бассейн. Для удобства будем называть его водосбором большой экосистемы Баренцева моря (БМЭ, БЭ Баренцева моря).

Общая площадь водосбора БМЭ составляет 1388 тыс.км², из них 668 тыс.км² приходится на водосбор Баренцева моря (Гидрометеорология..., 1990) и 720 тыс.км² на водосбор Белого моря (Филатов, Тержевик, 2007). Протяжённость материкового водосбора с севера на юг более 1300 км и более 1500 км с запада на восток.

Водосбор включает в себя обширные площади шести субъектов Российской Федерации: Мурманской, Архангельской и Вологодской областей, республик Коми и Карелия, Ненецкого автономного округа. Кроме того, к исследуемому водосбору относятся небольшие участки Кировской и Костромской областей, Пермского края, Финляндии и Норвегии. Для более

точного описания отдельных участков водосбора описание основных физико-географических характеристик дано с привязкой к указанным административным единицам.

Геологическое строение и рельеф. Водосбор БМЭ лежит в пределах трёх крупных геологических структур – Фенноскандинавского щита, Русской и Тимано-Печорской плит (рис. 1.1). В раннем протерозое архейский фундамент был раздроблен на блоки: Карельский, Кольский, Беломорский, Мурманский, отличающиеся значительной подвижностью. Их движение связано с изогляциостатической разгрузкой после таяния ледника (Филатов, Тержевик, 2007). В результате тектонических движений и колебаний уровня моря были сформированы современная береговая линия и рельеф побережья.

Разнородность геологического основания обуславливает разнообразие морфоструктур. К Фенноскандинавскому щиту приурочены глыбовые горы и цокольные равнины, а в пределах Русской плиты сформировались пластовые равнины.

Территории Мурманской области, республики Карелия, а также внутрибассейновые территории Финляндии и Норвегии приурочены к Фенноскандинавскому щиту, сложенному древнейшими кристаллическими породами архейского и протерозойского возраста, перекрытыми тонким слоем четвертичных отложений. Кристаллические породы представлены эффузивными, интрузивными и метаморфическими комплексами. Наиболее распространены архейские граниты и гранито-гнейсы.

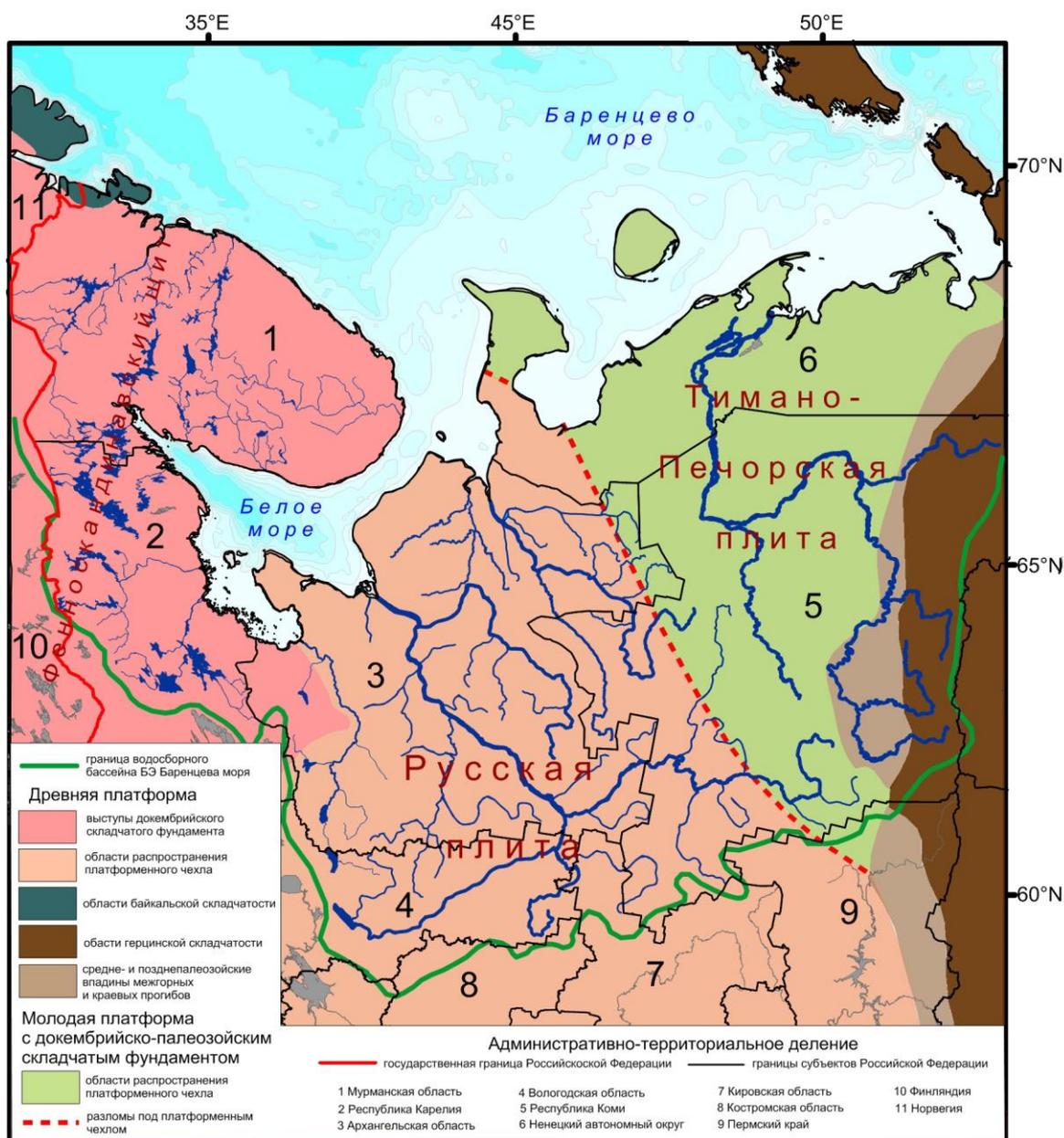


Рис. 1.1. Геологическое строение водосборного бассейна БЭ Баренцева моря

Основные элементы рельефа обусловлены сочетанием древних тектонических процессов с процессами четвертичного периода. Рельеф водосбора БЭ Баренцева моря претерпел большие изменения в периоды мощных материковых оледенений. Основное влияние на формирование современного рельефа оказало последнее из них – Валдайское, закончившееся 10-11 тыс. лет назад. Четвертичные отложения представлены ледниковыми образованиями – морена, водно-ледниковые формы. Также представлены послеледниковые образования – морские и озёрные отложения, торфяники.

Западная часть Кольского полуострова и скандинавская часть водосбора имеют сложный расчленённый рельеф, основные формы которого сформировались в доледниковое время. Основные горные системы расположены западнее меридиана рек Умба-Воронья. Абсолютные высоты достигают 1200 м. Хибинский и Ловозерский массивы, Волчья тунды, Мончетундра, Чунатундра и другие глыбовые горные массивы чередуются с глубокими впадинами озёр. Для восточной половины Кольского полуострова характерен более спокойный волнистый рельеф с преобладающими высотами 150-250 м. Среди волнистой равнины возвышается гряда Кейвы (397 м), состоящая из отдельных цепей, вытянутых с северо-запада на юго-восток вдоль центральной части полуострова.

Территория Карелии характеризуется средними высотами 150-200 м и относительными колебаниями до 100-120 метров. Наибольшие высоты здесь приурочены к возвышенности Маанселькя достигающей в северо-западной части 657 метров. На юго-востоке к ней примыкает Западно-Карельская возвышенность с максимальной отметкой 417 м. К востоку от возвышенностей простираются обширные холмисто-грядовые низменные равнины, переходящие в Прибеломорскую низменность, к юго-востоку от которой с северо-запада на юго-восток протянулся кряж Ветренный Пояс (344 м).

Водосбор в пределах Архангельской и Вологодской областей приурочен к Русской плите. Геологическое строение характеризуется мощным осадочным чехлом (десятки и даже сотни метров), сложенным суглинками ледниковой морены, песчано-глинистыми отложения морских трансгрессий, и палеолимническими и флювиогляциальными отложениями (Филатов, Тержевик, 2007). В состав осадочных отложений входят легкоразмываемые и карстующиеся породы, образующие карстовые формы рельефа, особенно развитые в междуречье рек Онега и Северная Двина.

Рельеф территории водосбора, приуроченной к Русской и Тимано-Печорской плитам преимущественно ледниково-аккумулятивный.

Осадочный чехол представлен преимущественно карбонатными породами (известняками и доломитами) палеозойского возраста. Четвертичные отложения представлены моренами, озёрными и морскими осадками. В целом территория представляет собой обширную волнистую равнину со слабо выраженным уклоном к Белому и Баренцеву морям, с платообразными возвышенностями (Коношская, Няндомская). Субмеридионально простирается Тиманский кряж (высоты до 471 м над уровнем моря), на северо-востоке – хребет Пай-Хой и его продолжение в виде островов Новой Земли являются восточной границей БЭ Баренцева моря. К востоку от Тиманского кряжа расположена обширная заболоченная Печорская низменность, большая часть которой занята Большеземельской и Малоземельской тундрами, а центральная часть – моренными грядами.

Особенности климата. Вследствие обширности территории климатические условия водосбора разнообразны. Климат региона находится под влиянием переноса воздушных масс из Атлантики и Арктики. По климатическому районированию Б.П. Алисова (1956) север Кольского полуострова относится к Атлантической области субарктического пояса. Вся остальная территория входит в Атлантико-Арктическую область умеренного пояса. Северное положение обуславливает значительное влияние холодных арктических воздушных масс и малое количество солнечной радиации. Климат смягчается проникновением тёплых влажных воздушных масс из северной Атлантики и тёплыми течениями у берегов Кольского полуострова. Самая высокая средняя температура января (-6°C) наблюдается на севере полуострова Рыбачий, где особенно сильно проявляется тепляющее влияние Нордкапского течения. На побережье Кольского полуострова средняя температура января составляет $-7...-10^{\circ}\text{C}$; во внутренних районах Кольского полуострова и на северо-западе Карелии она составляет $-12...-13^{\circ}\text{C}$ (Атлас Арктики, 1985). Похолодания до $-35...-40^{\circ}\text{C}$ вызваны вторжением воздуха из центральных районов Арктики.

Приход весны, обозначаемый стабильным переходом средней суточной температуры через 0°C, происходит в первой декаде апреля в самых южных районах водосбора, в конце апреля – на северо-западе, в первой декаде мая – на востоке Кольского полуострова. Позднее всего, переход температуры воздуха через 0° происходит в северо-восточной части водосбора (в районе хребта Пай-Хой это происходит в начале июня).

Моря оказывают большое влияние на температурный режим водосбора. Весной влияние обоих морей наиболее существенно. На востоке Кольского полуострова значительно холоднее, чем на западе, что вызвано наличием льдов в Белом море и близостью кромки льда на юго-востоке Баренцева моря (Яковлев, 1961).

Лето на всем водосборе прохладное и дождливое. Наибольшая температура воздуха наблюдается в районах, наиболее удалённых от Белого и Баренцева морей. На побережье Кольского полуострова преобладают северные ветры, но при значительном поступлении солнечной радиации арктический воздух быстро прогревается. Средняя температура июля здесь составляют 8-12°C. Во внутренних районах Кольского полуострова она достигает 14-15°C, на юге Карелии и Вологодской области – 16-17°C (Атлас Арктики, 1985).

Среднее многолетнее значение температуры воздуха составляет 0°C на побережье Баренцева и Белого морей, -2.0°C в центральной части Кольского полуострова, -1.0°C в районе Канина Носа, 2.4-2.6°C – в центральных районах Вологодской области. Продолжительность безморозного периода увеличивается с севера на юг от 50-60 дней в центральных районах Мурманской области до 120 дней на территории Вологодской области (Nazarova, 2015).

Годовая сумма осадков составляет 500-700 мм, в горах — до 1000 мм. Водосбор БЭ Баренцева моря находится в зоне избыточного увлажнения. Это обусловило хорошо развитую речную сеть, обилие озёр и болот.

Гидрографическая сеть. Развитая речная сеть характеризуется ярко выраженным контрастом между западной и восточной частями водосбора. Реки западной части небольшие, имеют слабо развитые долины, и на своём протяжении часто образуют множество крупных и мелких озёр. В восточной части водосбора крупные озёра практически отсутствуют, речные системы имеют большие площади водосборных бассейнов, хорошо развитые речные долины.

На водосборе отмечается чередование свободных и ограниченных геолого-геоморфологических условий развития гидрографической сети и русловых процессов. Доли врезанных и широкопойменных русел в регионе практически равны. Кроме того, в бассейне р. Северная Двина карстовые явления в известняках и гипсах создают сеть подземных водоёмов и многочисленных ключей (Gladkov, 1994; Grishanin, 1997).

На территории Карелии и Кольского полуострова преобладают малые реки, длина которых не достигает 10 км. Площадь водосбора у подавляющего большинства рек также мала. Крупнейшими притоками Белого моря в этой части водосбора являются реки Кемь, Выг, Ковда, Варзуга, Умба, Поной. Крупнейшие реки Кольского полуострова, впадающие в Баренцево море – Тулома, Печенга, Воронья.

Молодостью гидрографической сети Карелии и Мурманской области и близким залеганием кристаллического фундамента объясняются небольшие глубины рек, неразвитость речных долин, ступенчатый характер продольного профиля и большие падения.

Водосбор характеризуется обилием озёр. Преобладают озёра тектонического и ледникового происхождения. Ледниковые озёра расположены в понижениях между моренными грядами и холмами, как правило, небольшие по площади (98% имеет площадь менее 1 км²), неглубокие (5-10 м) и зачастую бессточные. Крупные озёра, как правило, имеют тектоническое происхождение. Тектонические озёра отличаются

сложной береговой линией и значительными глубинами, имеют вытянутую форму.

Крупные водоёмы Кольского полуострова - озёра Имандра, Нотозеро, Умбозеро, Ловозеро имеют тектоническое происхождение. На территории Карелии связанные в систему озёра Куйто, Выгозеро, Сегозеро, Топозеро, Пяозеро, имеют тектоническое происхождение.

Все реки водосбора БЭ Баренцева моря имеют преимущественно снеговое питание. Однако из-за медленного таяния снегов таёжной зоны и зоны тундры, весеннее половодье растянуто во времени.

Поскольку питание рек и озёр региона глубинными подземными водами незначительно, решающая роль в формировании гидрохимического режима принадлежит почвам и подстилающим их границам. Таёжные и болотные реки имеют высокую цветность за счёт повышенного содержания гуминовых веществ (Ресурсы..., 1963; Папина, 2001; Перельман, 1979).

В восточной части водосбора, включающей Архангельскую и Вологодскую области, НАО республику Коми, речная сеть хорошо развита и представлена крупными реками, обеспечивающими более 80% объёма речного стока в БМЭ. Крупнейшие реки восточной части водосбора – Печора, Северная Двина, Мезень и Онега. Реки Печора и Северная Двина формируют в устьях разветвленные дельты, Онега и Мезень имеют широкие мелководные эстуарии.

Озёра восточной части водосбора в основном ледниковые. В зоне многолетней мерзлоты распространены также термокарстовые озёра. Площадь озёр обоих видов обычно не превышает 0.5 км². На низменном побережье Баренцева и Белого морей неравномерно распределены заболоченные территории.

Природные зоны и растительность. На территории водосбора находится несколько природных зон – от южной тайги до тундры. Территория Карелии, Архангельская область и большая часть Республики Коми расположены в зоне тайги.

Хвойные леса занимают около 90% лесной площади Карелии (Филатов, Тержевик, 2007) и около 81% лесной площади Архангельской области (Правительство Архангельской области - <https://old.dvinaland.ru/economy/timber/>). К числу главных пород, формирующих леса, относятся сосна обыкновенная и ель обыкновенная. Встречаются также ель европейская, ель сибирская, лиственница, пихта. Среди лиственных пород распространены берёза (бородавчатая и пушистая), осина, ольха клейкая.

В скалах царствуют мхи и лишайники преимущественно накипного характера. Встречаются также листоватые и кустистые лишайники, папоротники и цветковые растения (Сонина, 2014). По долинам крупных рек располагаются луговые сообщества (Громцев, 2008).

Пресноводная растительность республики Карелия и Архангельской области довольно скудна, несмотря на обилие водоёмов. Прибрежная растительность характеризуется наличием камышей, тростника, хвощей, осок. Среди плавающих видов можно отметить кубышки (малую и желтую), кувшинку четырёхгранную. Согласно исследованию (Наумова, Гончарова, Наумова, 2015) тростники и камыши способны улучшать качество воды по бактериологическим показателям и снижать содержание тяжёлых металлов в воде.

На территории Кольского полуострова выделяется три геоботанические зоны: тундровая (примерно 20% территории полуострова), лесотундровая (20%) и таёжная (60%). В горных районах области наблюдается вертикальная климатическая зональность и высотная поясность.

1.2. Белое море

Географическое положение и морфометрические характеристики.

Белое море расположено на окраине европейской части России между Кольским полуостровом и полуостровом Канин, принадлежит к бассейну Северного Ледовитого океана.

С трех сторон света Белое море ограничено материком. На севере же Белое море свободно сообщается в Баренцевым, официально северная граница Белого моря была установлена декретом правительства РСФСР по линии, соединяющей м. Святой нос и м. Канин Нос в 1923 году (Гидрометеорология..., 1991а). В указанных границах площадь моря равна 91 тыс.км², объём – 5400 км³. Наибольшая протяжённость моря с севера на юг - 600 км (м. Канин Нос – устье р. Кемь), с запада на восток – 450 км (между г. Архангельск и г. Кандалакша) (Филатов, Тержевик, 2007).

Белое море принято делить на три района: Воронка, Горло, Бассейн и четыре залива: Мезенский, Двинский, Онежский, Кандалакшский. Их морфометрические характеристики рассчитывались неоднократно с различной точностью [Бабков, 1998; Белое море..., 1995; Комплексные исследования..., 2011). Последние результаты расчётов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Морфометрические характеристики районов Белого моря (Комплексные исследования..., 2011)

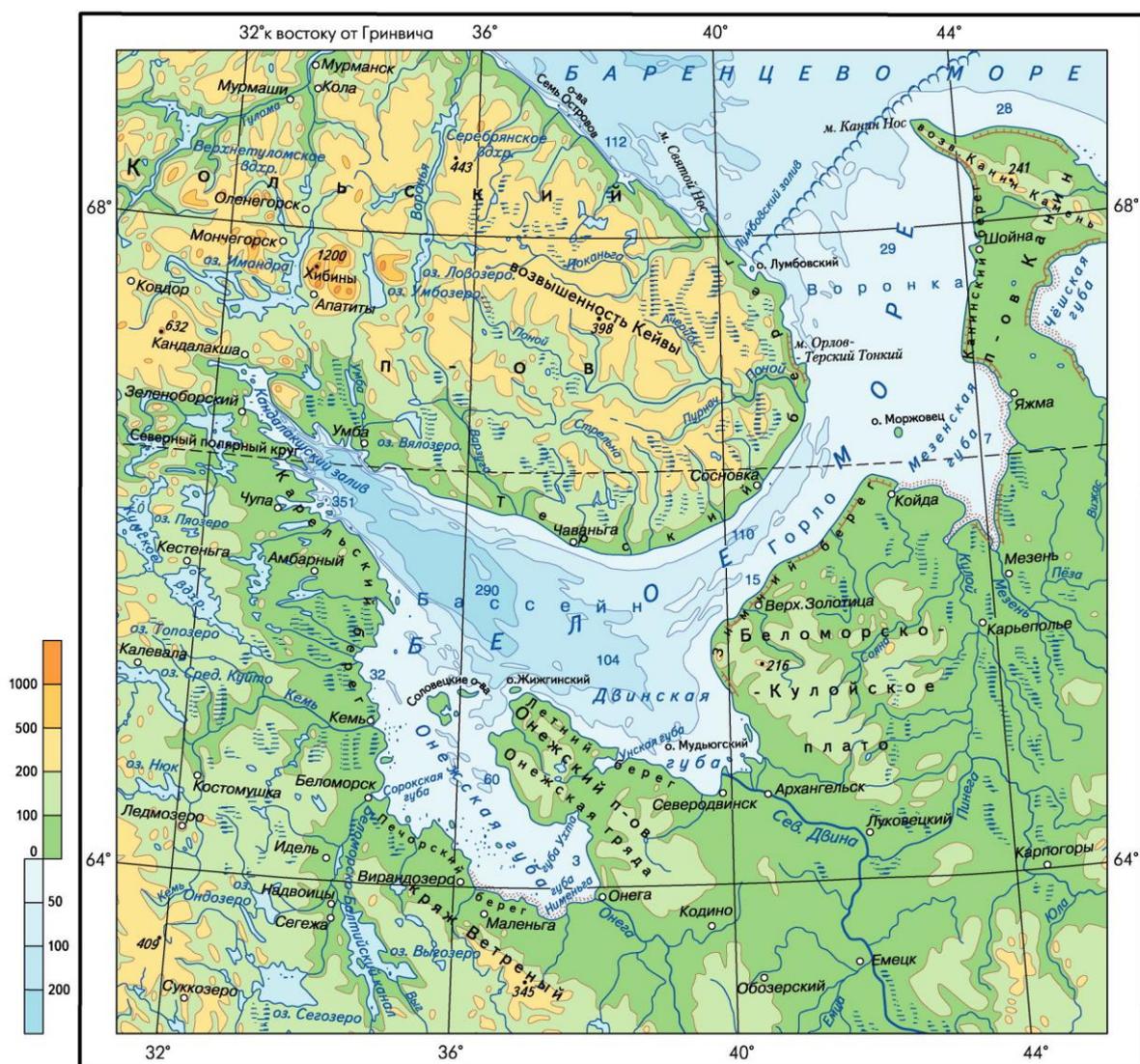
| Район Белого моря | Площадь, тыс.км ² | Объём, км ³ | Средняя глубина, м |
|---------------------|------------------------------|------------------------|--------------------|
| Воронка | 24.6 | 855 | 34 |
| Горло | 6.9 | 380 | 37 |
| Бассейн | 22.5 | 2700 | 125 |
| Мезенский залив | 6.6 | 75 | 13 |
| Двинский залив | 9.1 | 420 | 49 |
| Онежский залив | 12.1 | 235 | 20 |
| Кандалакшский залив | 6.6 | 710 | 100 |

Геологическая и геоморфологическая характеристика. Белое море занимает окраинную материковую депрессию на юго-восточной периферии Фенноскандинавского кристаллического щита, на его границе с Русской плитой на юге и со складчатыми структурами Тимано-Канинской области на востоке.

Положение Белого моря на стыке щита и плиты определили резкие различия в строении его западных и восточных берегов. Западному побережью свойственна сильная расчленённость береговой линии, связанная с разломами и разрывными нарушениями пород, а также их естественной трещиноватостью. Это преимущественно область денудации. Обнажения древних кристаллических пород выходят к морю.

Восточное побережье является преимущественно областью аккумуляции. Пологие, выровненные берега сложены рыхлыми четвертичными отложениями (суглинками, песками, глинами), залегающими на осадочных породах палеозоя (сланцах, песчаниках, известняках). (Невесский, Медведев, Калининко, 1977).

Рельеф дна Белого моря характеризуется сильными перепадами глубин (рис. 1.2). Наиболее мелководна северная часть моря, представляющая собой обширное равнинное мелководье. Глубины основной части Мезенского залива и одной трети Воронки не превышают 20 м. Мелководен также и Онежский залив. Его глубина колеблется от 5 до 25 м, максимальной отметки в 60 м достигает лишь в отдельной котловине в устье залива. Рельеф дна залива сложный, с множеством мелей, луд, корг и банок.



Масштаб 1: 5 000 000

Рис. 1.2. Батиметрическая карта Белого моря (Национальный атлас России.
URL: <https://национальныйатлас.рф/cd1/322-323.html>)

Самой глубоководной частью моря является центральная впадина Бассейна, протянувшаяся с северо-запада на юго-восток из Кандалакшского в Двинский залив. В пределах впадины имеются три котловины, разделённые порогами. Глубина центральной впадины превышает 100 м, а в котловинах – 250 м. В одной из котловин отмечена максимальная для Белого моря глубина – 351 м.

Существующие различия в геологическом строении и рельефе дна в различных частях моря оказывают существенное влияние на гидрологический режим водоёма.

Особенности климата на Белом море. Основными факторами формирования климата Белого моря являются частичное его расположение за полярным кругом, внутриконтинентальное положение и господство воздушных масс из Северной Атлантики. Воздушные массы из Северной Атлантики преобладают в течение всего года. Они создают высокую облачность, значительную влажность воздуха, значительное количество осадков и неустойчивые погодные условия (Филатов, Тержевик, 2007).

Годовой ход температуры различен в разных районах моря. Самый холодный месяц на море – февраль ($-9\dots-11^{\circ}\text{C}$), в вершинах Онежского и Двинского заливов – январь. Самым теплым месяцем в году является в южной половине моря – июль ($12-15^{\circ}\text{C}$), на севере – август ($9-10^{\circ}\text{C}$).

Осадки над акваторией моря распределены неравномерно. Меньше всего осадков выпадает над центральной частью Бассейна и Воронки – около 300 мм/год. Изогиеты 400 и 450 мм повторяют береговые очертания Белого моря над акваторией на небольшом удалении от побережья. Самое большое количество осадков выпадает над Двинским и Онежским заливами (500-600 мм/год) (Гидрометеорология..., 1991а).

Белое море ежегодно покрывается льдами. Опресненные воды в устьевых взморьях начинают замерзать в октябре-ноябре. В центральной части моря образование льда происходит несколько позднее.

Большое влияние на ледовые процессы в Белом море оказывает приток теплых баренцевоморских вод. Адвекция тепла из Баренцева моря составляет до 26% от всего тепла, получаемого Белым морем за год (Гидрометеорология..., 1991а).

Гидрологический режим Белого моря. Рельеф дна Белого моря определяет особенности его гидрологического режима. Для Белого моря характерно наличие двух типов вертикального распределения солёности и температуры: стратифицированного и однородного. Отсутствие выраженной стратификации наблюдается в мелководных районах моря – Воронке, Горле, Мезенском и Онежском заливах, где происходит интенсивное

перемешивание водной толщи от поверхности до дна. В районе центральной впадины (Бассейн, Двинский и Кандалакшский заливы) водная толща стратифицирована. Вопрос о том, сколько слоев воды в Белом море стоит выделять является спорным. В ранних работах по гидрологии Белого моря (Бруевич, 1960; Книпович, 1906) выделялось два слоя – поверхностный, затрагиваемый термической конвекцией, и глубинный, не затрагиваемый конвекцией, однородный и сохраняющий стабильные термохалинные характеристики в течение года. Позже был выделен третий слой – промежуточный, в теплый период года питаемый водами из Горла. Концепция о трехслойной структуре водных масс в Белом море предложена К.В. Беклемишевым и А.Н. Пантюлиным на основании T,S-анализа (Беклемишев, Пантюлин, 1975). В трехслойной модели Белое море было описано и в монографическом справочнике, выполненном в рамках проекта «Моря СССР» и являющемся одним из авторитетнейших изданий по Белому морю в последние два десятилетия (Гидрометеорология..., 1991а; Гидрометеорология..., 1991б). До настоящего времени, решение о том, в двухслойной или трехслойной модели описывать структуру Белого моря, зачастую диктуется мнением конкретного автора по этому вопросу и целями конкретного исследования.

Основными источниками формирования водных масс Белого моря служат баренцевоморские воды и материковый сток. Речной сток оказывает существенное воздействие на качество вод Белого моря. Особенно ощущается его сильное влияние в заливах. Большой объем речного стока снижает солёность в районах впадения крупных рек и изменяет температурный режим вод.

Согласно трехслойной модели моря (Гидрометеорология..., 1991а), зимой выделяются три водные массы: баренцевоморская, Воронки и Горла, а летом – 5 водных масс (баренцевоморская, Горла, поверхностная Бассейна, промежуточная, глубинная) и распреснённые воды заливов (рис. 1.3).

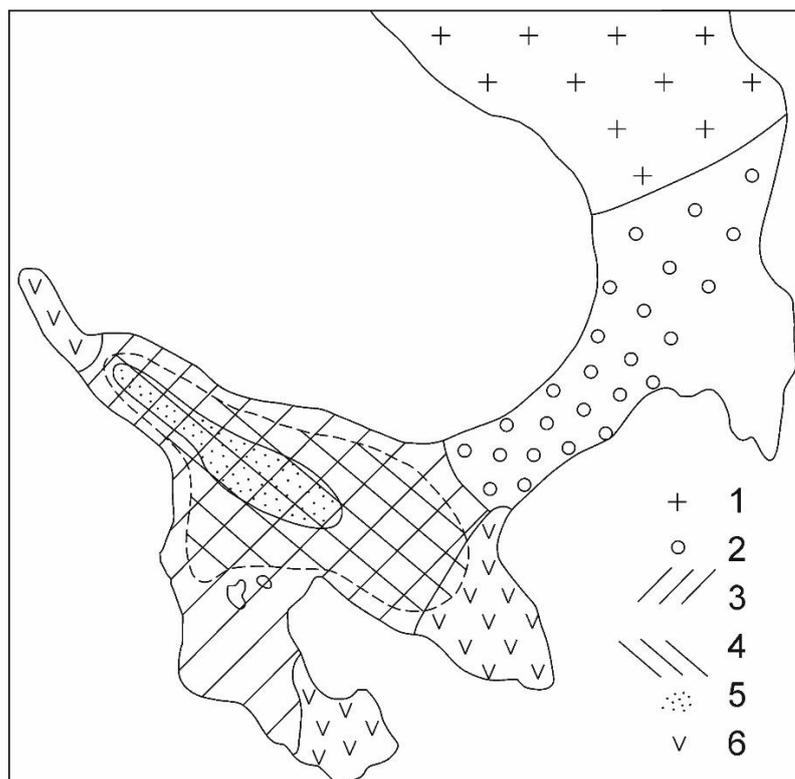


Рис. 1.3. Карта распределения водных масс Белого моря летом:
 1 – баренцевоморская; 2 – водная масса Горла; 3 – поверхностная водная масса Бассейна; 4 – промежуточная; 5 - глубинная; 6 – распреснённые воды заливов (Гидрометеорология..., 1991а)

В Белом море существует система постоянных течений. Горизонтальная циркуляция вод Белого моря складывается под совокупным воздействием ветра, речного стока, приливов и компенсационных потоков. Вдоль правых побережий заливов проходят сточные течения, направленные в сторону открытого моря. Они образуют циркулярный поток, движущийся против часовой стрелки. Скорость постоянного вдольберегового потока 10 – 15 см/с. Лишь в узкостях проливов и в районе мысов скорость увеличивается до 30 – 40 см/с. В центральной части моря есть система циклонических круговоротов, приуроченных к депрессиям дна. Водообмен между Белым и Баренцевым морями также находится под влиянием материкового стока, подверженного сезонным колебаниям. Сточное течение – поверхностное, а входящие потоки тяжёлых вод из Баренцева моря в Белое движутся под ним. При зимнем снижении речного стока сточное течение ослабевает, и

баренцевоморские воды проникают в Бассейн (Дерюгин, 1923; Тимонов, 1947).

Периодические приливно-отливные течения имеют правильный полусуточный характер с двумя периодами полной и двумя периодами малой воды. Скорости приливных течений могут достигать 260 см/с в Горле и Мезенском заливе, 80 - 100 см/с в Онежском заливе, 30 – 35 см/с в Кандалакшском заливе (Бергер, 2007; Филатов, Тержевик, 2007). В Бассейне скорости приливных течений сопоставимы со скоростями постоянных течений (Гидрометеорология..., 1991а; Добровольский, Залогин, 1982).

Непериодические течения возникают вследствие ветровых сгонно-нагонных явлений. При нагонах уровень отдельных районов моря повышается на 0.7 – 0.9 м, а при сгонах падает на 0.5 – 0.7 м. Максимальная величина нагона бывает осенью при ветрах северных румбов, максимальные сгоны наблюдаются при юго-западных ветрах.

А.Д. Наумов и В.В. Федяков (1993) на основании обобщения ряда работ предложили схему течений Белого моря в следующем виде (рис. 1.4).

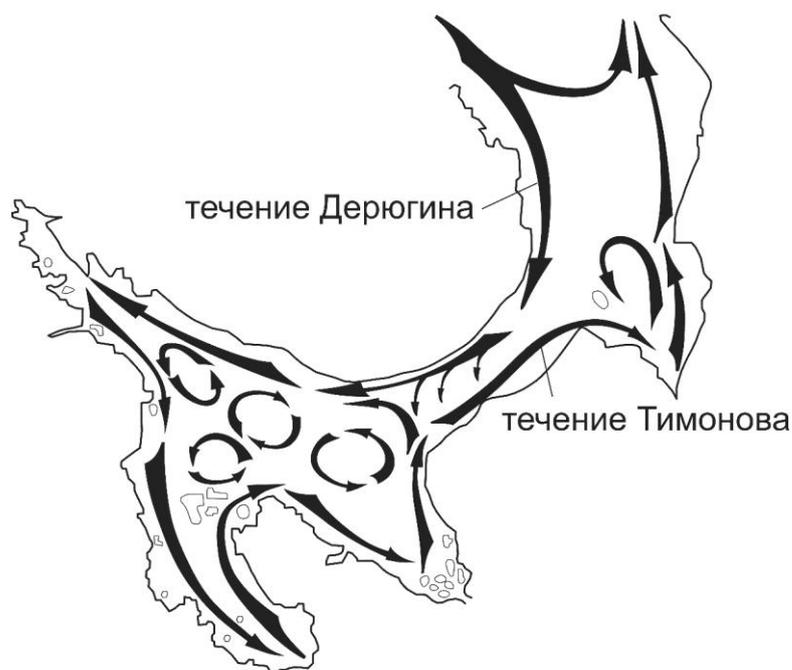


Рис. 1.4. Схема течений Белого моря (Наумов, Федяков, 1993)

1.3. Баренцево море

Географическое положение и морфометрическая характеристика.

Баренцево море целиком расположено за полярным кругом. Общепринятыми границами являются: на западе – линия м. Южный (арх. Шпицберген) – о. Медвежий – м. Нордкап; на юге – берег материка и линия м. Святой Нос — м. Канин Нос, отделяющая его от Белого; на востоке море ограничено западным побережьем островов Вайгач и Новая Земля и далее линией м. Желания — м. Кользат; на севере граница моря проходит по северной окраине островов архипелага Земли Франца-Иосифа и архипелага Шпицберген. Его площадь равна 1424 тыс. км², объём 316 тыс. км³, средняя глубина 222 м, максимальная глубина 600 м. Юго-восточная часть Баренцева моря носит название Печорское море. Официальные границы акватории Печорского моря были приняты 28 ноября 1935 года Постановлением ЦИК СССР (Павлидис и др., 2007). С северо-запада Печорское море ограничивается линией о. Колгуев – м. Черный на Новой Земле, а с юго-запада линией о. Колгуев - м. Святой Нос на Тиманском берегу Малоземельской тундры (Добровольский, Залогин, 1982).

Геологическая и геоморфологическая характеристика. По происхождению и геологической истории Баренцево море относится к эпиконтинентальным, или платформенным морям с широким сообщением с океаном.

Дно Баренцева моря — сложнорасчленённая подводная равнина с волнистой поверхностью, покатой к западу и северо-востоку. В рельефе дна выделяют следующие элементы (Гидрометеорология..., 1992):

- Желоба, входящие в Баренцево море из соседних морей
- Замкнутые впадины
- Мелководья, возвышенности, банки

Преобладают глубины до 200 м, исключение составляют Центральная впадина, где глубины увеличиваются до 400 м, и Медвежинский желоб с глубинами до 600 м. В целом, западная часть моря имеет большие глубины, чем восточная (рис. 1.5). Подводный склон Мурмана быстро понижается до 100-150 м, а затем образует террасу.

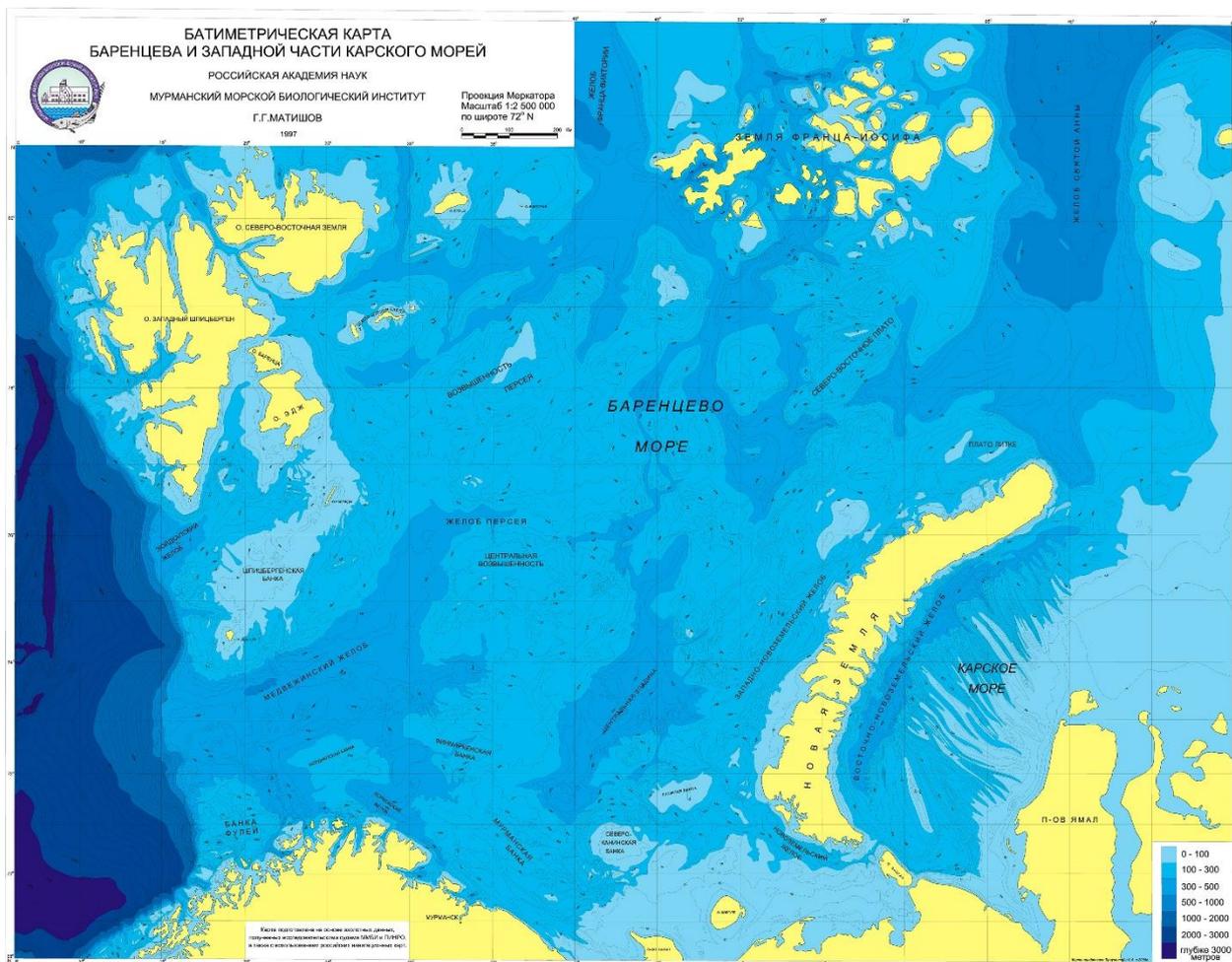


Рис. 1.5. Рельеф дна Баренцева моря (Матишов, 1997)

Юго-восточная часть Баренцева моря мелководна, рельеф дна ровный, преобладают глубины менее 100 м. Наибольшие глубины в восточной части моря расположены в пределах центральной впадины. Северная часть Баренцева моря глубоководна - глубины достигают 450 м, с отдельными поднятиями до глубин менее 200 м. Наиболее глубоководная часть Баренцева моря – Медвежинский желоб с глубинами до 600 м отделен от Гренландского моря порогом глубиной 400 м.

Пересеченный рельеф дна, наряду с климатом, существенно влияет на гидрологические процессы, происходящие в море.

Особенности климата на Баренцевом море. Климат Баренцева моря – полярный морской, характеризуется продолжительной зимой, коротким холодным летом, высокой влажностью и малой годовой амплитудой температуры воздуха. Большая меридиональная протяжённость моря, поступление тёплых атлантических вод через западную границу и приток холодных вод из арктического бассейна создают значительные климатические различия от места к месту. Взаимодействие тёплых морских и воздушных западных течений, и холодных северных полярных течений создает крайне неустойчивую погоду на Баренцевом море.

Суровость климата возрастает с запада на восток и с юга на север. Средняя годовая температура в юго-западной части моря до параллели 74° положительна, на о. Медвежьем -1.6°C, на Шпицбергене -5.2°C, на Земле Франца-Иосифа -10.5°C (Гидрометеорологические условия..., 1985).

Летом над морем формируется устойчивый антициклон. В июле-августе температура воздуха над западной частью моря равна 8-9°C, на юго-востоке - 7°C, на севере – 1-5°C.

Весна (май-июнь) и осень (октябрь-ноябрь) на Баренцевом море отличаются сильными ветрами, частыми осадками в виде дождя и снега.

В зимний период над центральной частью моря развиваются штормовые ветры со скоростями до 25 м/с и более. Самый холодный месяц в году над акваторией моря – март. Средняя температура марта в районе Шпицбергена -22°C, в центральной и юго-западной частях моря -2.4°C, в юго-восточной части моря -7°C (Атлас СССР, 1983).

Благодаря тепловой подпитке Атлантическими водами, Баренцево море отличается наиболее тёплым климатом среди шельфовых морей Северного Ледовитого океана. Почти 3/4 его поверхности ежегодно покрывается льдом, но полностью оно никогда не замерзает (Добровольский, Залогин, 1982; Жизнь и условия..., 1985). Однако, с начала 1980-х годов отмечались

отрицательные аномалии ледовитости. За период с 1980 по 2013 средняя ледовитость моря составляла всего 30% (Жичкин, 2015). Согласно обзорным ледовым картам Северного Ледовитого океана, составленным в ААНИИ, после 2013 года отрицательные аномалии ледовитости сохраняются (Обзорные карты состояния ледяного покрова Северного Ледовитого океана. URL: http://www.aari.ru/odata/_d0015.php).

Гидрологический режим Баренцева моря. Гидрологический режим моря обусловлен взаимодействием вод различного происхождения: тёплых вод, приносимых реками и североатлантическими течениями; холодных субполярных и полярных вод. В зоне атлантических вод на юго-западе моря сезонная изменчивость гидрофизических параметров невелика, температура воды в течение года на всех глубинах остается положительной, ледяной покров отсутствует, штормовая активность повышена. В северной части моря, в зоне вторжения вод из арктического бассейна, теплосодержание вод незначительное. В зимний период почти вся водная толща имеет отрицательную температуру, льды встречаются в течение всего года. Мелководный юго-восточный район (Печорское море) зимой сильно выхолаживается до дна, покрывается льдом. Летом же, напротив, акватория Печорского моря хорошо прогревается, температура поверхностного слоя достигает 16 °С (Гидрометеорологические условия..., 1985).

Материковый сток играет слабую роль в формировании режима Баренцева моря. Объём речного стока в море (включая сток с архипелагов) не превышает 290 км³ в год. При этом 63% речного стока приходится на район Печорского моря. Определяющее влияние на формирование гидрологического режима Баренцева моря оказывает водообмен с соседними акваториями, главным образом поступление тёплых атлантических вод, годовой приток которых составляет около 74 тыс. км³. В целом для моря характерен перенос вод системами постоянных тёплых и холодных течений, взаимодействие которых приводит к формированию многочисленных

фронтальных зон на фоне устойчивого циклонического движения вод. На рис. 1.6 показана общая схема течений и фронтальных зон Баренцева моря.

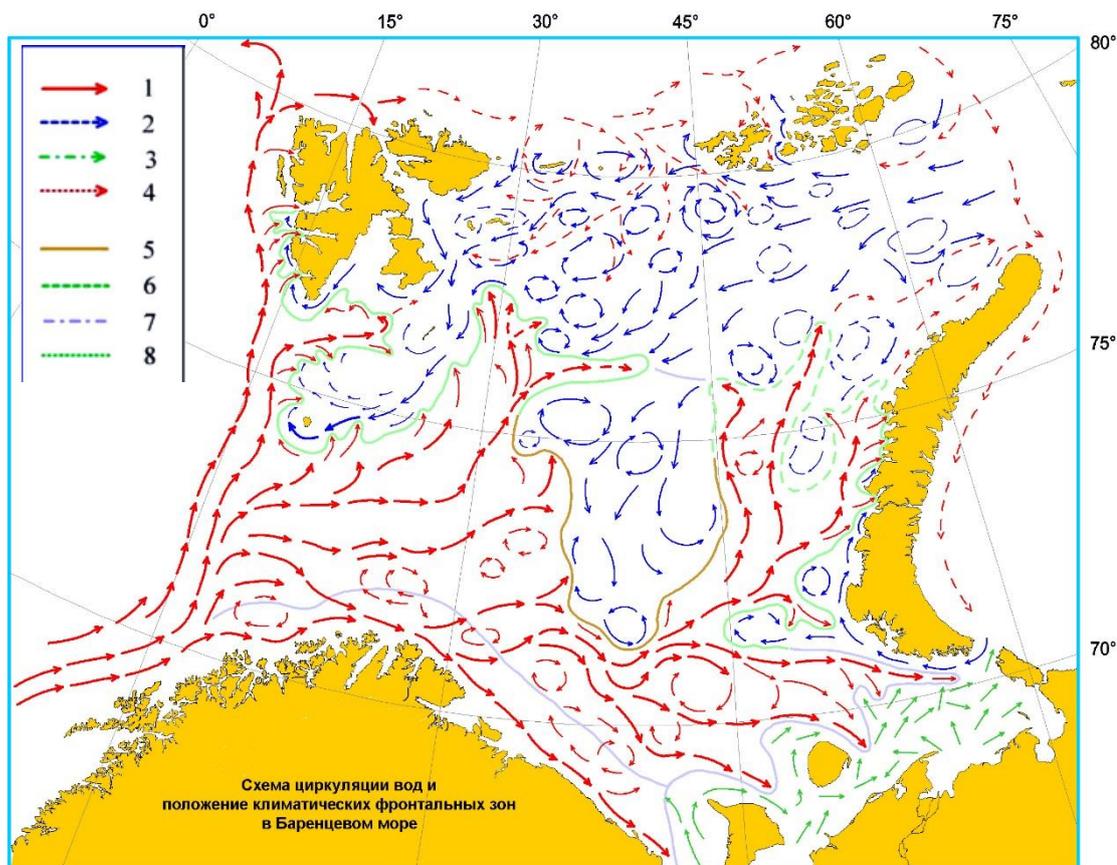


Рис. 1.6. Течения Баренцева моря (Составили: Матишов Г.Г., Жичкин А.П., Моисеев Д.В., 2010) Условные обозначения: течения: 1 –теплые; 2 – холодные; 3 –местные прибрежные течения; 4 –распространение глубинных атлантических вод; Фронтальные зоны: 5 –термические; 6 –термохалинные; 7 –халинные; 8-слабовыраженные, неустойчивые климатические фронтальные зоны

В Баренцевом море общепризнано выделять три крупные водные массы – атлантическую, арктическую и баренцевоморскую, а также узкие полосы прибрежных вод, формирующихся при непосредственном влиянии речного стока (Гидрометеорология..., 1990; Добровольский, Залогин, 1982).

В ПИНРО (Воды Баренцева моря..., 2016) была предложена подробная схема водных масс Баренцева моря, включающая четыре основных типа вод и ряд подтипов: атлантические (подтип атлантические трансформированные), баренцевоморские, арктические, прибрежные

(подтипы: норвежские, мурманские, беломорские, печорские, новоземельские) (рис. 1.7).

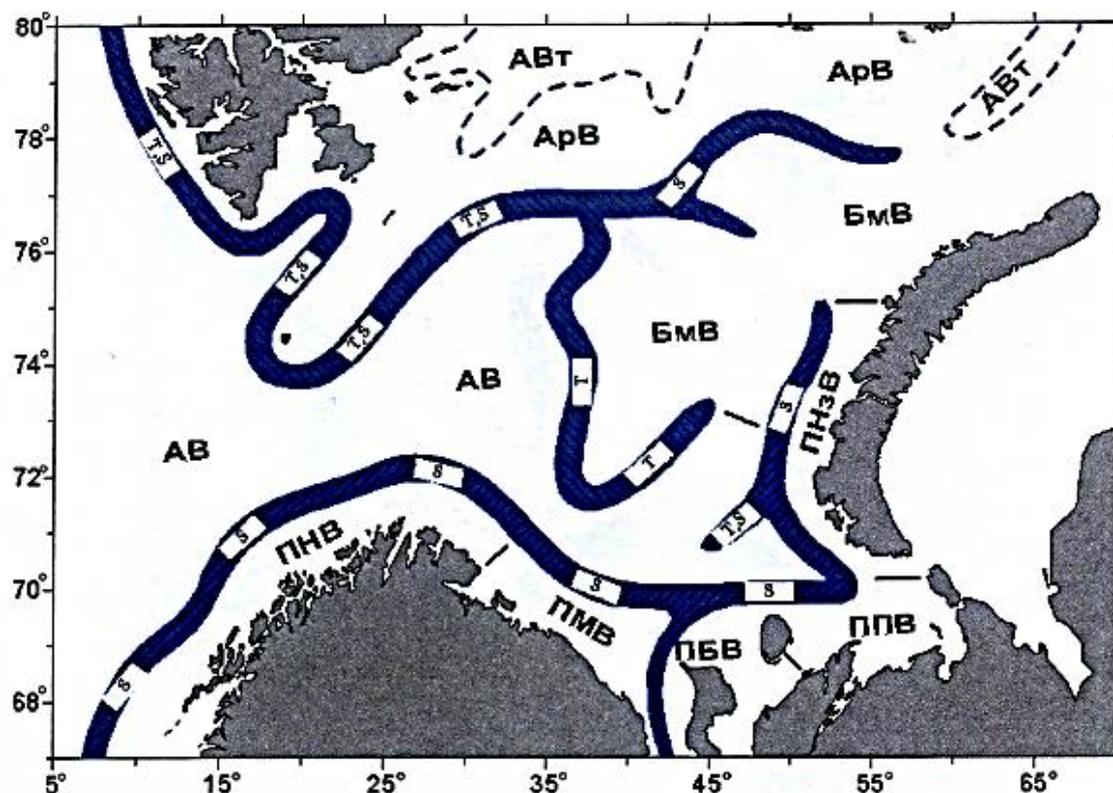


Рис. 1.7. Фронтальные зоны и основные типы вод на акватории Баренцева моря. Фронтальные зоны: Т – температурная, S – халинная, Т, S – термохалинная. Водные массы: АВ – атлантическая; АВт – атлантическая трансформированная; АрВ – арктическая; БмВ – баренцевоморская; ПНВ – прибрежная норвежская; ПМВ – прибрежная мурманская; ПБВ – прибрежная беломорская; ППВ – прибрежная печорская; ПНЗВ – прибрежная новоземельская (Воды Баренцева моря..., 2016)

Наряду со схемами водных масс Баренцева и Белого морей была предложена объединённая схема водных масс большой морской экосистемы (БМЭ) Баренцева моря (включая Белое море), построенная с учётом особенностей прибрежных зон и сезонных различий (рис. 1.8) (Комплексные исследования..., 2011). Она включает 5 водных масс открытого моря и 7 прибрежных.

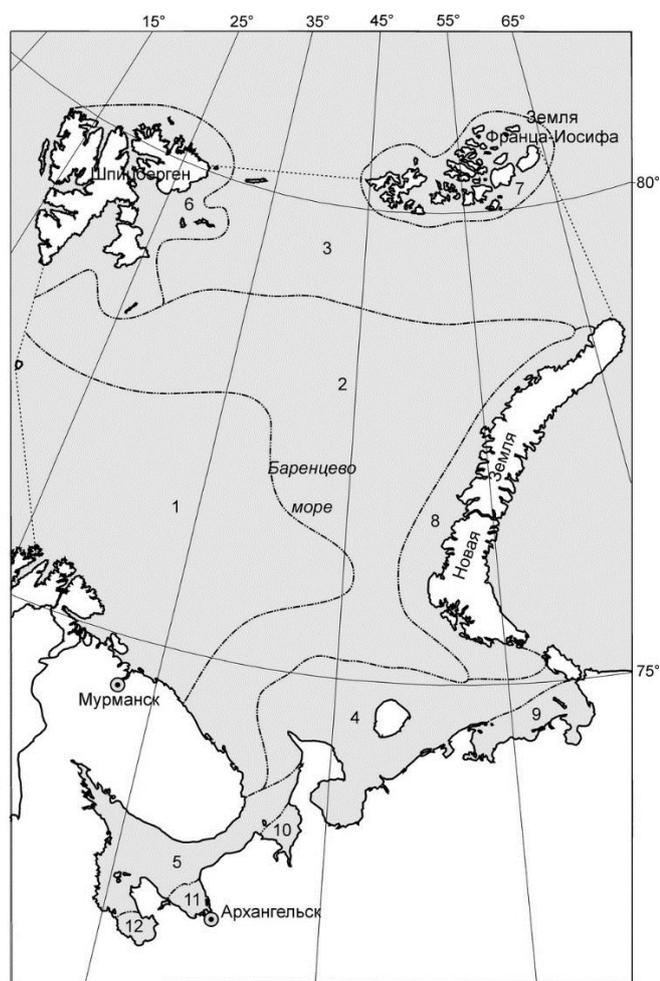


Рис. 1.8. Водные массы БМЭ Баренцевоморского шельфа и Белого моря (лето, пов.слой). 1. Атлантическая, 2 – баренцевоморская, 3 – арктическая, 4 – канино-колгуевская, 5- беломорская, 6 – шпицбергенская, 7 – Земли Франца-Иосифа, 8 – новоземельская, 9 – печорская, 10 – мезенская, 11 – двинская, 12 – онежская (Комплексные исследования..., 2011)

В целом, предложенные схемы не противоречат друг другу, а генерализируют представления о водных массах БЭ Баренцева моря. Для целей настоящей работы, являющейся результатом широких обобщений, предпочтительна менее детализированная схема. Если обратиться к карте солёности, то становится очевидным, что градиенты солёности в районе побережья Кольского полуострова даже в поверхностном слое в летний сезон не превышают 0.005 ‰/км. В то время как в Печорском море градиенты солёности значительны (рис. 1.9).

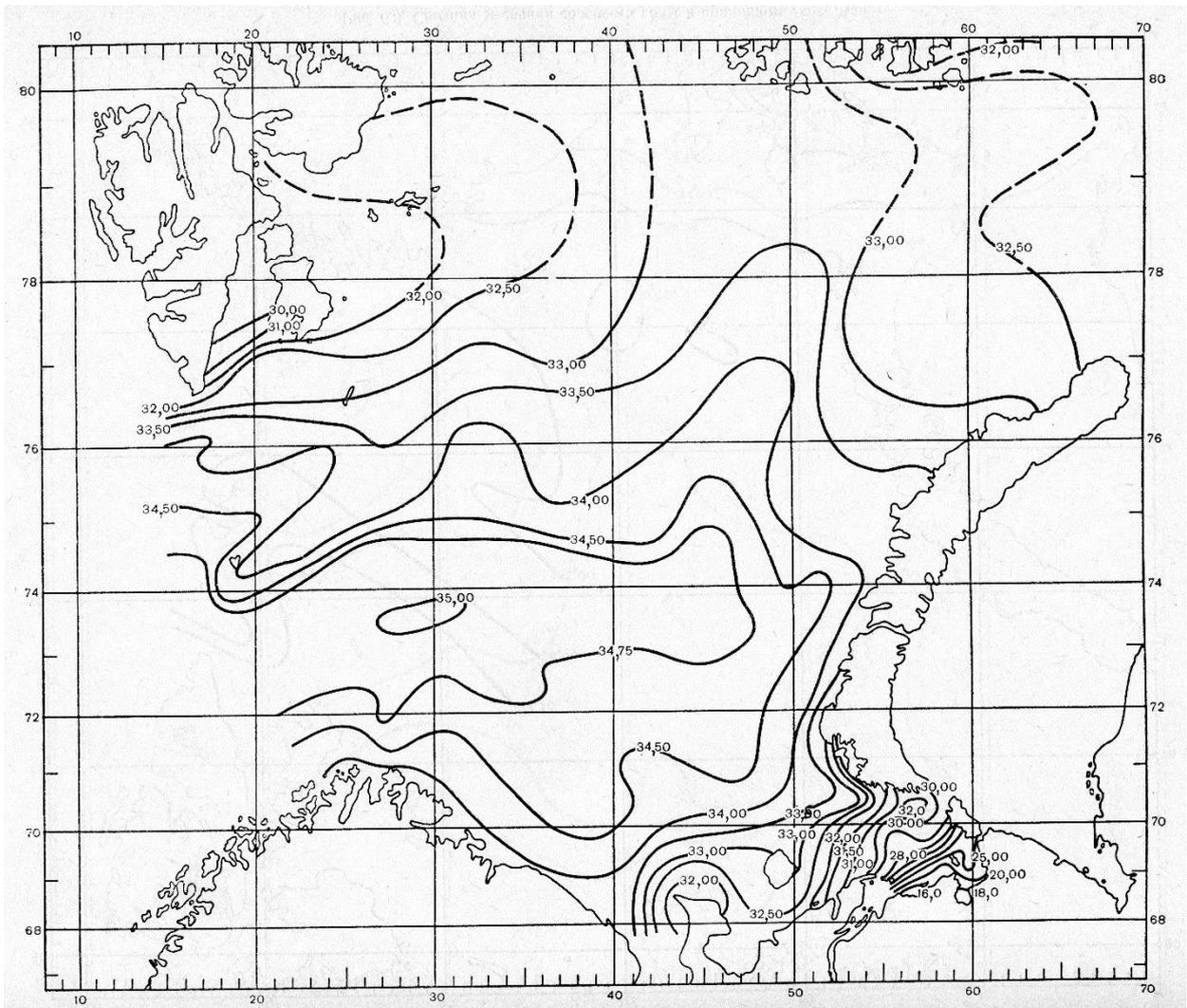


Рис. 1.9. Средняя месячная солёность в поверхностном слое Баренцева моря. Август (Гидрометеорология..., 1990)

Летнее положение водных масс позволяет наиболее полно учесть воздействие речного стока. Зимой речной сток и границы прибрежных водных масс смещаются ближе к побережью. Поэтому если руководствоваться в работе зимним или средним положением границ водных масс, то часть зоны интенсивного воздействия речного стока окажется выведена из расчётов. Речные воды далее всего от берега распространяются в поверхностном слое. В работе расчёты будут производиться в границах водных масс, показанных на рис. 1.8.

Наглядное представление о различиях океанологических характеристик водных масс дают диапазоны изменений температуры и солёности

поверхностного слоя в годовом ходе (табл. 1.2). Все табличные данные отнесены к условным центральным точкам водных масс.

Таблица 1.2

Диапазоны изменений среднемесячных значений температуры и солёности поверхностного слоя водных масс БМЭ Баренцева и Белого морей в годовом цикле (Комплексные исследования..., 2011)

| Водная масса | Температура, °С | Солёность, ‰ |
|--------------------------------|-----------------|--------------|
| Баренцевоморская атлантическая | 3...9 | 34.5-35.0 |
| Баренцевоморская | 0...7 | 34.5-35.0 |
| Баренцевоморская арктическая | -1.9...1 | 33.0-34.5 |
| Канино-колгуевская | -1.9...8 | 33.0-34.5 |
| Печорская | -1.9...8 | 32.0-34.0 |
| Новоземельская | -1.9...7 | 33.0-34.5 |
| Земли Франца-Иосифа | -1.9...0 | 34.0-34.5 |
| Шпицбергенская | -1.9...2 | 34.0-35.0 |
| Беломорская | -1.3...12 | 25.5-27.0 |
| Мезенская | -1.0...10 | 27.0-28.5 |
| Двинская | -1.0...12 | 21.0-26.0 |
| Онежская | -1.0...12 | 26.0-27.0 |

Специфику протекания физических процессов в море во многом определяет сложный рельеф дна. Он оказывает существенное влияние на формирование системы тёплых и холодных течений, положение полярного гидрологического фронта (особенно в западных районах моря) и образование локальных фронтальных зон на склонах мелководных банок.

2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕЧНЫХ И МОРСКИХ ВОД

Проблема исследования временной изменчивости речного стока с различных территорий является одной из основных в современной гидрологии. Актуальна оценка роли речного стока и его колебаний в трансформации состояния водной среды устьевых областей. Значимость этой оценки возрастает в связи с ростом антропогенной нагрузки на внутренние водоёмы и окраинные моря. Привлечение новых методов анализа существенно расширяет возможности расчёта и прогноза необходимых характеристик режимных.

Воздействие речного стока на морские экосистемы – это многоаспектный процесс. В зависимости от решаемой задачи он изучается исследователями с позиций гидродинамики; протекающих химических процессов; седиментогенеза в устьевой области и т.д. Масштаб исследований также различается от изучения отдельных рек до совокупного влияния речного стока на Мировой океан.

2.1. Процессы смешения речных и морских вод в устьях рек

В середине XX века в гидрологии начало развиваться учение о районах взаимодействия речных и морских вод. В России эти районы принято называть устьевыми областями рек (УОР). Словосочетание было введено в науку в качестве термина И.В. Самойловым. Суть термина была передана следующим образом: УОР - это сложный географический комплекс, имеющий специфические закономерности развития и состоящий из части долины нижнего течения, смежного морского побережья и взморья – в пределах пространства, на котором происходят устьевые процессы (Самойлов, 1952). Впоследствии, определение УОР, её границы и структура непрерывно уточнялись. В зарубежной литературе большее распространение получил термин «эстуарий», в значении близком к отечественному определению УОР. Отечественными исследователями он чаще используется для обозначения устьевых областей по форме напоминающих воронку. В работе эти термины будут использоваться как равнозначные.

Целенаправленные исследования процессов, происходящих в устьевых областях, начались в 1950-1960 годах. Процессы перемешивания речных и морских вод изучались в США, Англии, Нидерландах в районах крупных портовых городов (Лондон, Нью-Йорк, Амстердам, Балтимор и др.). В этот период публикуется много работ, посвящённых гидрофизическим особенностям эстуариев. В первых работах того периода были сделаны попытки дать определение эстуарию и обозначить его границы. В работах Кетчума, Притчарда, Хансена и Раттрей (Hansen, Rattray, 1966; Ketchum, 1951; Pritchard, 1955) были описаны основные особенности формирования гидрологического режима устьевых областей: градиенты солёности и плотности в направлении от речного края к морскому и от поверхности ко дну, наличие эстуарной циркуляции. Отмечалась роль речного стока и приливного воздействия в формировании морфологических особенностей устьев, были предложены различные классификации эстуариев.

Зона смешения речных и морских вод представляет собой зону контакта двух водных масс с различными физико-химическими свойствами. Во всех устьях рек, впадающих в водоём с солёной водой, образуется хорошо выраженная зона смешения, в пределах которой солёность постепенно возрастает от речной (0.001-0.5‰) до морской (25-40‰). Кроме того, изменяется и температура воды, в зависимости от сезона.

Начиная с работ Д. Притчарда (Pritchard, 1952, 1955, 1967), выполненных в 1950–1960-х гг. в США, в зоне смешения речных и морских вод выделяют три типа вертикального перемешивания и стратификации вод: I – полное (хорошее) перемешивание и слабая стратификация; II – частичное (умеренное) перемешивание и умеренная стратификация; III – слабое перемешивание и сильная стратификация, клин осолонённых вод. Соответственно этим типам вертикального перемешивания и стратификации вод изменяются и условия распространения речных вод.

Установление дальности растекания речных вод по морской акватории является проблемной задачей для современной науки, так как для её решения необходимо оценить множество факторов и условия их взаимодействия. Дальность растекания речных вод по морской акватории зависит как от гидрологических характеристик самой реки (морфология устьевой области, моментальный расход воды и др.), так и от особенностей гидрологии моря (очертания берегов и рельеф дна, приливно-отливные колебания, особенности циркуляции). Увеличение солёности и изменение температуры воды может продолжаться и мористее непосредственно устьевой области. Влияние речного стока на качественные характеристики морских вод прослеживается на значительных расстояниях от побережья.

Речная вода низкой солёности, выходя из устья реки на акваторию моря, часто образует хорошо выраженный шлейф. Структура зоны смешения речных и морских вод может быть различна. В устье с соляным клином верхний пресноводный слой отделён от нижележащего слоя резким галоклином. Следовательно, в шлейфе плотность воды существенно ниже, а

его свободная поверхность лежит выше уровня окружающей морской воды, заставляя шлейф растекаться. Растекание шлейфа приводит к его постепенному истончению. Иногда шлейф может быть отделён от окружающей воды резким фронтом.

Другой тип эстуариев – частично стратифицированные. Они характеризуются наличием двухслойной структуры водной толщи. В верхнем слое располагаются вытекающие потоки воды пониженной солёности, а в нижнем – втекающей воды высокой солёности. Поток вытекающих из эстуария вод – это смесь речных и морских вод, поэтому он может превышать поступление пресной речной воды в эстуарий. Текущая в верхнем слое вода распространяется в виде шлейфа, так же как в эстуариях с солёностным клином.

В эстуариях третьего типа вертикальное перемешивание может быть настолько интенсивным, что стратификация вод полностью стирается. Однородная по вертикали вода внедряется в прибрежные воды главным образом благодаря горизонтальному турбулентному перемешиванию. В этом случае также возможно возникновение фронтов между прибрежными и морскими водами (Боуден, 1988).

Особенности смешения речных и морских вод в зависимости от морфологического строения устья реки в разных физико-географических зонах довольно полно были рассмотрены Повалишниковой Е.С. (1995). Первичная водная масса формируется на водосборе реки и подвергается трансформации при контакте с морской водной массой. Дифференцировать ядра речных и морских вод было предложено по линиям их 95% содержания в смеси. Содержанию морской воды в смеси равному 5% соответствует абсолютное значение солёности 0.5-2.2‰ в зависимости от солёности моря.

Процессы проникновения морских вод в устья рек были рассмотрены М.В. Михайловой (2013). Была рассчитана предельная дальность проникновения осолонённых вод в устья крупных рек, в том числе Мезени,

Онеги, Северной Двины и Печоры. Согласно расчётам, дальность составила 33, 10, 45 и 10 км соответственно.

Оригинальный метод исследования был применен Крыловым С.С. (Крылов и др., 2011, 2014). Для определения границ и характера взаимодействия речных и морских вод в эстуарии р. Кереть Кандалакшского залива Белого моря был использован метод подповерхностной радиолокации. Метод основан на изучении отражения коротких электромагнитных импульсов от границ внутри среды, разделяющих области с разными электрическими свойствами. Большое количество детальной информации, полученной при помощи георадара, сопоставлялось с гидрологическими и океанографическими данными, полученными стандартными методами наблюдения синхронно с радиолокационной съемкой. Полученные результаты помогли выявить особенности процесса смешения речных и морских вод на разных этапах приливно-отливного цикла. К сожалению подобные съёмки на других реках до настоящего времени не проводились.

Вышеупомянутые работы детально рассматривают ход физического процесса смешения речных вод с морскими, в той или иной степени учитывая морфометрические особенности устья и фазы приливного цикла. В работах дано детальное описание самого процесса смешения, а не его результата – возникновения прибрежных водных масс с новыми качественными характеристиками, отличными от речных или морских вод. То есть, интересы данных исследований ограничиваются непосредственно зонами взаимодействия и смешения речных и морских вод.

Упомянутые работы рассматривают гидродинамические процессы, происходящие в устьевых областях рек. Здесь исходная речная вода подвергается сложному воздействию разнообразных сорбентов, организмов, биофильтрации, удалению почти всех взвешенных веществ. В процессе смешения большое значение имеют коагуляция и флокуляция, сорбция, а также биологические процессы – биоассимиляция, биофильтрация и др. (Лисицын, 1994). В самом общем виде, под границей речных вод в море

понимается зона перехода гидрокарбонатного типа вод в хлоридный. Считается, что трансформация речных вод в морские заканчивается при солёности более 25‰ (Русанов, 1978). С геохимических и седиментационных позиций взаимодействие реки и моря рассмотрено в рамках учения о маргинальном фильтре океана.

2.2. Маргинальный фильтр океана

В 1926 году В.И. Вернадский (Вернадский, 1960) обратил внимание на то, что миграции химических веществ и изменение их концентраций происходит неравномерно, а приурочено к определённым зонам - барьерам в водной среде. В 1961 году А.И. Перельман ввёл в науку термин «геохимический барьер». Под геохимическим барьером он понимал участок земной коры или зоны гипергенеза, где на коротком расстоянии происходит резкое снижение интенсивности миграции тех или иных химических элементов и, как следствие, их накопление. Одним из геохимических барьеров он назвал систему река-море (Перельман, 1979).

Зоны смешения речных и морских вод в устьях рек – своеобразный фильтр взвешенного и растворённого вещества, поступающего в океан с континентов. Позже академик А.П. Лисицын назвал эту зону «маргинальным фильтром» и описал процесс «лавиной седиментации» - стремительного осаждения взвешенных частиц при встрече речной и морской воды. Система маргинального фильтра не только удаляет взвесь, но и захватывает растворённые формы элементов и соединений из речной воды и селективно извлекает ряд элементов, трансформируя состав исходной воды (Лисицын, 1994).

В.В. Гордеев (2009) выполнил сопоставление вклада растворённых и взвешенных форм элементов в речных и морских водах, чем показал, что между речной и морской водой существуют кардинальные геохимические различия (табл. 2.1, табл. 2.2)

Таблица 2.1

Соотношение взвешенных форм к сумме взвешенных и растворённых форм элементов в речном стоке (в %)

| $Me_{взв.}/Me_{взв.}+Me_{раств.}$ | Элемент |
|-----------------------------------|--|
| <10 | Cl, I |
| 10-50 | S, Na, Ca, Br, Sb |
| 50-70 | Mg, C _{орг.} , N, B, As, Mo, Sr, Cd, F |
| 70-90 | K, Ba, Li, Ag, U, Cu, Zn |
| 90-95 | P, Au, Ni |
| 95-99 | Si, Co, Rb, Zn, Th, V, Mn, Cr, Pb, Cs, Ga |
| >99 | Al, Fe, Ti, Hf, Tu, Er, Yb, La, Nd, Gd, Ce, Ho, Pr, Sm, Tb, Nb, Sc |

Таблица 2.2

Соотношение взвешенных форм к сумме взвешенных и растворённых форм элементов в океанской воде (в %)

| $Me_{взв.}/Me_{взв.}+Me_{раств.}$ | Элемент |
|-----------------------------------|---|
| <0,1 | Na, K, Mg, Si, P, Li, Rb, Cs, Sr, Ba, Sb, U, V, Y |
| 0,1 – 1,0 | Cd, Ga, Cu, Ni, Mo, Zr |
| 1,0 – 10, 0 | Co, Zn, Ag, Mn, Ti, Sc |
| >10 | Fe, Al, Pb |

Al – алюминий; As – мышьяк; B – бор; Ba – барий; Br – бром; C – углерод; Ca – кальций; Ce – церий; Cd – кадмий; Cl – хлор; Co – кобальт; Cu – медь; Cs – цезий; Er – эрбий; F – фтор; Fe – железо; Ga – галлий; Gd – гадолиний; Hf – гафний; Ho – гольмий; I – йод; K – калий; La – лантан; Li – литий; Mg – магний; Mn – марганец; Mo – молибден; N – азот; Na – натрий; Nb – ниобий; Ni – никель; P – фосфор; Pb – свинец; Pr – празеодим; Rb – рубидий; S – сера; Sb – сурьма; Si – кремний; Sr – стронций; Sc – скандий; Sm – самарий; Th – торий; Ti – титан; U – уран; V – ванадий; Y – иттрий; Zn – цинк; Zr – цирконий.

Общим направлением химических процессов, протекающих в системе река-море, является переход растворённых форм элементов во взвешенные и осаждение речной взвеси в донные осадки. До 90-95% взвеси и взвешенных

форм элементов и от 5-10 до 80% для разных элементов их растворенных форм осаждаются в устьях рек (барьер река-море) и в конусах выноса, а также по периферии океана и участия в пелагической океанской седиментации не принимает (Лисицын, 1977). В реках преобладают взвешенные вещества, в океане – их растворённые формы. Имеющиеся данные позволяют утверждать, что среди растворённых форм многих элементов наибольшее значение имеют геохимически-подвижные соединения, а именно комплексные соединения с органическими веществами и гидроокисные соединения железа и марганца, карбонаты и сорбированные элементы. Растворённая форма даже наиболее «терригенного» элемента-гидролизата алюминия тесно связана с биологическим циклом в океане (Гордеев, 2009).

С геохимической точки зрения доминирование растворённых форм означает резкое усиление геохимической подвижности элементов в океане по сравнению с речным стоком. Это также означает, что геохимия речных вод радикально отличается от геохимии океанских вод, при этом водоразделом между ними является зона маргинального фильтра.

Граница «река-море» – это полоса, которая соответствует зоне смешения речных вод с морскими. Со стороны моря она заканчивается там, где солёность не зависит от речного стока и совпадает с изогалиной, характерной для вод данного моря. Согласно существующей классификации Белое море относится к внутренним «замкнутым» морям и является зоной интенсивного контакта суши и моря, характеризующейся интенсивным круговоротом основных солей, биогенных веществ, микроэлементов и поступлением огромной массы ЗВ с водосбора. В Белое море впадают три крупные реки (Северная Двина, Онега и Мезень) и множество небольших хозяйственно-значимых рек. Объём их годового стока составляет около 240 км³. Поэтому, для Белого моря роль геохимического барьера «река-море» огромна. По сути, Белое море является огромным маргинальным фильтром, геохимической барьерной зоной, в которой действует не один, а множество

различных геохимических барьеров, усиливая или ослабляя действия друг друга (Скибинский, 2005).

Баренцево море, в отличие от Белого, в районе Мурманского берега имеет узкую барьерную зону «река-море». Резко увеличивающиеся глубины на побережье способствуют быстрому разбавлению вод небольших рек Кольского полуострова в большом объёме морских вод. На расстоянии 100 км от берега влияние речного стока уже не ощущается. Следовательно, осаждение взвешенных форм элементов происходит очень интенсивно в ограниченной по площади прибрежной зоне. Это может вызывать большие контрасты растворённых форм элементов у побережья Кольского полуострова и на небольшом удалении от берега. Эту особенность следует учитывать при определении путей поступления загрязняющих веществ в морскую среду. Влияние речного стока в прибрежных водах мурманского берега, вероятно, будет убывать быстрее, чем воздействие атмосферного переноса.

Дно, находящееся на относительно небольшой глубине, налагает более существенные ограничения на движение воды, чем в глубоководных районах. Течения вблизи дна, как правило, довольно сильны, и придонное трение, которое в открытом океане играет незначительную роль, становится здесь существенным (Боуден, 1988). В мелководном Печорском море при обильном речном стоке, формируется широкая зона смешения. Чем шире зона воздействия речного стока, тем дальше от побережья существует возможность встретить терригенные элементы.

Устья крупных рек в основном располагаются на значительном расстоянии друг от друга и не имеют общего маргинального фильтра. Маргинальные фильтры малых близко расположенных рек и ручьев могут соприкасаться, образуя единый маргинальный фильтр, простирающийся вдоль береговой черты. Для существования подобного маргинального фильтра необходимы достаточный объём стоковых вод и достаточная густота речной сети (Хоменко, Лещев, 2010). В западном секторе Российской

Арктики, являющегося зоной избыточного увлажнения, можно ожидать наличия таких объединённых маргинальных фильтров.

Функционирование маргинального фильтра для каждой отдельной реки носит индивидуальный характер, определяемый объёмом речного стока, химическим составом речных и морских вод, а также особенностями рельефа морского дна в месте впадения реки. Однако, геохимические свойства самих химических элементов являются первостепенным фактором, определяющим относительное прохождение конкретных химических элементов в морскую среду или их осаждение в районе маргинального фильтра (Гордеев, 1983, стр.133).

Итак, маргинальный фильтр океана представляет собой барьерную зону глобального масштаба, задерживающую главную часть осадочного терригенного материала на пути с континента в океан и при этом разграничивающую пресноводную (речной сток) и морскую (океан) гидросферы не только географически, но и по интенсивности протекающих в них процессов.

Важно отметить, что функционирование маргинальных фильтров в летний и в зимний период идёт различным образом. Зимний режим изучен значительно хуже, чем летний. Различия связаны, в основном, с образованием ледяного покрова. Известно, что под ледяным покровом речные воды могут распространяться на значительные расстояния. Льды защищают пресноводный слой от перемешивания и поэтому именно в зимнее время пресные воды проникают дальше всего. Осаждение вещества в этот период идет менее интенсивно, а его разнос более интенсивно в связи с особенностями гидродинамики под ледяным покровом. В таких условиях осадочный материал из фильтров ледовых зон может распространяться на большие расстояния (Лисицын, 1994). Дальний разнос вещества осуществляется как по поверхности океана (со льдами), так и в придонных слоях (с водами сточных течений). Ввиду этого, в зимний период может происходить загрязнение промышленными сбросами, приносимыми с

речным стоком, акваторий, значительно удалённых от побережья. Вместе с этим, речной сток в зимний период ослабевает, что сглаживает его опресняющее влияние и уменьшает способности транспорта взвешенных и растворённых веществ. Незамерзающий Мурманский берег благодаря отсутствию льда не испытывает дальнего разноса речных вод и загрязнителей в зимний период.

2.3. Методология оценки воздействия материкового стока на морские акватории

Материковые водосборы и моря являются автономными, но взаимосвязанными природными системами. Будучи местом конечного преобразования и депонирования химических элементов, океаны являются зависимыми природными системами по отношению к материковым водосборам. Процессы, происходящие на водосборах, определяют количество веществ, привносимое в морскую среду. Вместе с тем, конечная концентрация веществ в океанах и морях определяется не только объёмом их поступления, но и характером и интенсивностью процессов, происходящих в морских экосистемах. Очевидно, что для оценки воздействия речного стока на качество морской водной среды необходимо рассмотреть каждую из составляющих отдельно, и лишь потом переходить к оценкам их взаимодействия, учитывая также наличие маргинальных фильтров на границе река-море.

Вопросы экологической географии моря подробно освещены в работе В.В. Денисова (Денисов, 2002). Большое внимание уделено теоретическим вопросам оценки состояния морской среды. Автор признаёт исключительно важным определить нормы характеристик для оцениваемой природной системы и выделяет два типа норм:

1. Норма, определяемая структурно-функциональными характеристиками самого объекта, вне взаимодействия с человеком (норма состояния)
2. Норма, определяемая целями и возможностями управления конкретным объектом (норма воздействия)

Таким образом, в качестве ключевого критерия оценки состояния морской среды может выступать норма состояния, а именно норма естественного состояния (НЕС). НЕС характеризует наиболее вероятное состояние экосистемы, сформировавшейся и поддерживающей свой самовосстановительный потенциал физическими, химическими и

биологическими процессами. На НЕС морской среды мы и будем ориентироваться в работе.

Исследование воздействия материкового стока на морскую среду удобно осуществлять в рамках бассейнового деления территории. Водосборный бассейн является особой пространственной единицей, внутри которой происходит движение вещества и энергии. Бассейны морей и рек обладают четко выраженными границами – водоразделами, что делает их удобным объектом исследования. Так как водоразделы являются самыми возвышенными точками и линиями на местности, то часто именно они наименее преобразованы деятельностью человека и являются своеобразными «экологическими рубежами». Кроме того, зачастую водоразделы частично или полностью совпадают с границами административных единиц, что делает их удобным пространством при исследовании антропогенного воздействия (Корытный, 2001).

Уровень загрязнённости рек и их способность к самоочищению трудно поддаются количественной оценке ввиду сложности процессов, их определяющих, и недостатка данных, характеризующих каждый из этих процессов. Несмотря на существование целого ряда классификаций речных вод по степени загрязнённости (СЭВ, СанПиН), чаще всего для оценки качества воды используется индекс загрязнённости воды (ИЗВ), ориентированный на выявление степени превышения ПДК по 6 ингредиентам. Расчёт ИЗВ ведётся по следующей формуле:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \quad (1),$$

где C_i – концентрация каждого из 6 учитываемых ингредиентов (кислород, БПК₅ и 4 вещества с наибольшими превышениями ПДК);

ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация по соответствующему веществу.

Разновидностью ИЗВ также является Формализованный суммарный показатель химического загрязнения воды (ПХЗ-10). При определении ПХЗ-10 вместо 6 учитывается 10 показателей.

С 2002 года руководящим документом РД 52.24.643-2002 «Руководящий документ. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» был рекомендован новый показатель – удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды (УКИЗВ).

В отличие от ИЗВ он включает, кроме определения кратности превышения ПДК, ещё и определение повторяемости случаев превышения нормативных значений. Классификация качества воды, проведенная на основе значений УКИЗВ, позволяет разделять поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязнённости.

В расчёте УКИЗВ участвуют минимум 15 ингредиентов установленного перечня, а при необходимости могут быть добавлены другие специфичные для водного объекта вещества. Для расчёта УКИЗВ производят следующие действия:

1. Находят кратность превышения ПДК для каждого ингредиента по формуле:

$$K_i = C_i / \text{ПДК}_i \quad (2),$$

где K_i – кратность превышения i -ого ингредиента;
 C_i – концентрация i -ого ингредиента (загрязняющего вещества), мг/л;
 ПДК_i – предельно допустимая концентрация для i -ого ингредиента.

2. Вычисляют повторяемость случаев превышения ПДК для каждого ингредиента:

$$H_i = N_{\text{пдк}_i} / N_i \quad (3),$$

где H_i – повторяемость случаев превышения ПДК для i -ого ингредиента;
 $N_{\text{пдк}_i}$ - число случаев превышения ПДК по i -му ингредиенту;
 N_i - общее число измерений i -го ингредиента.

3. Находят общий оценочный балл для каждого ингредиента:

$$B_i = K_i \times H_i \quad (4)$$

4. Вычисляют УКИЗВ по формуле:

$$\text{УКИЗВ} = \frac{\sum B_i}{n} \quad (5),$$

где n – число учитываемых в оценке ингредиентов

Однако, индексы загрязненности, учитывающие гидрохимические показатели, не лишены недостатков, а именно:

- Условность имеющихся данных о концентрациях ЗВ. Наблюдения за состоянием загрязнения морских и материковых водных объектов проводит преимущественно Гидрометслужба. Результаты, представленные в ежегодниках, обобщены в виде средних и максимальных концентраций ЗВ. Количество съёмок по отдельным акваториям морей и речным системам обычно составляет 2-4 раза в год. Вычисленные по такому количеству съёмок осреднённые данные слабо отражают реальную обстановку. Кроме того, такие наблюдения неоднородны по срокам и количеству, что не позволяет по ним отследить сезонную динамику химических показателей. Таким образом, одно из ключевых требований к проведению мониторинга - стандартизация наблюдений в пространстве и во времени (Дженюк, 2015) - не всегда соблюдается.

- Само понятие ПДК является весьма условным. Нормативы ПДК отдельных веществ рассмотрены с точки зрения возможного влияния этих веществ на человека и не учитывают действие этих веществ на природные экосистемы.

Даже с учетом вышесказанного, использование УКИЗВ является наиболее приемлемым при исследовании качества морских и поверхностных вод, так как этот показатель рассчитывается по результатам мониторинга в большом числе пунктов, обеспечивая тем самым возможность сравнения разных водных объектов. Расчёт УКИЗВ выполнен во многих «Ежегодниках качества поверхностных вод», что делает его доступным для широкого круга исследователей.

Степень антропогенного влияния на морскую среду посредством речного стока в первую очередь можно определить по результатам гидрохимических наблюдений в устьях рек и прибрежной акватории морей, о недостатках которых было сказано выше. Наряду с прямыми наблюдениями для определения степени загрязняющего воздействия речного стока на морскую водную среду возможно применение косвенных показателей антропогенной нагрузки на водосборный бассейн. Косвенными показателями могут служить: данные об объёмах водозабора из рек и количестве сброшенных сточных вод различных степеней очистки, количестве населения на водосборе или его средней плотности, количестве предприятий-водопользователей и их валовом доходе, площади распаханых земель и другие.

В работе (Кадашова, 2011), помимо расчета ИЗВ по данным натуральных наблюдений, для оценки влияния материковых вод на водную среду Белого моря был использован показатель антропогенной нагрузки на водные ресурсы (АНВР), рассчитываемый как отношение плотности населения к среднегодовому слою стока. Однако, расчёты проводились в границах административных единиц, а не водосборных бассейнов, что затрудняет использование рассчитанных значений для оценки влияния на конкретные морские акватории. Тем не менее, далее в упомянутой работе, показатель АНВР корректируется с учётом зон опасности для моря. Зонирование территории водосбора было проведено по степени удалённости административных единиц от побережья Белого моря. Несмотря на важность учёта фактора удаленности, отсутствие описания методики расчёта удаленности площадных объектов (коими являются административные районы) от моря снижает ценность такой оценки. Таким образом, показатель АНВР, по нашему мнению, подходит для оценки нагрузки на водные ресурсы административных районов и корректировки хозяйственной деятельности в их пределах, но слабо отражает степень антропогенной нагрузки на конкретные участки акватории моря.

В упомянутой работе, также был предложен показатель потенциальной экологической опасности районов для Белого моря (ПЭОР), рассчитываемый как отношение объёма сброса сточных вод в административном районе к удаленности района от моря. Объём сточных вод – является наиболее информативным косвенным показателем уровня загрязнения воды, после натуральных гидрохимических исследований. Опять же, отсутствие методики вычисления удалённости района от моря, создаёт впечатление необоснованности расчёта. Выгодным представляется приложение данной методики расчёта к точечным источникам загрязнения, расстояние от которых до побережья очевидно. Вероятно, автору пришлось прибегнуть к осреднению в связи с недостатком информации о точечных сбросах.

В качестве базового показателя для оценки и сравнительного анализа интенсивности воздействия на водные объекты в результате сброса загрязнённых сточных вод давно используется коэффициент разбавления сточных вод, рассчитываемый как отношение объёма сброшенных в водные объекты бассейна загрязнённых сточных вод к общему объёму стока в пределах данного бассейна (Коронкевич, Зайцева, Черногаева, 2003). Коэффициент разбавления сточных вод характеризует степень качественного истощения водных ресурсов. При этом степень загрязнённости сточных вод не учитывается. Очевидно, что при одинаковой кратности разбавления сточных вод, образовавшиеся в результате воды могут сильно отличаться между собой по качеству.

Кроме объёма сбросов ЗВ в поверхностные водные объекты, на количество загрязнителей, достигающих моря, влияет скорость самоочищения речных вод. Установление скорости самоочищения речных вод с опорой на фактические значения загрязнённости вод и донных осадков в начальном и конечном створе исследуемого участка реки было предложено в работе (Ваганова, Давыдова, 2012). Скорость самоочищения (СС) речной воды рассматривается как причина различий качества воды на различных участках реки. Для расчёта степени самоочищения автор использовал

натурные данные о содержании конкретных загрязняющих компонентов. Степень самоочищения рассчитывалась отдельно по каждому компоненту с использованием формулы:

$$CC = 100 \times (C_n - C_k) / C_n \quad (6),$$

где CC – степень самоочищения, %;
 C_n – содержание компонента в начальном створе участка реки, мг/л;
 C_k – содержание компонента в конечном створе участка реки, мг/л.

Очевидно, что CC на участке реки опосредованно зависит от длины выбранного участка. В указанной работе была рассчитана CC для верхнего и среднего течения р. Свияга по различным тяжёлым металлам. Длина исследуемых участков не была равной, что приводит к невозможности сравнения их по степени самоочищения между собой, а даёт лишь возможность сравнения степени самоочищения одного участка от различных компонентов.

Если при использовании такого подхода признать необходимость выбора речных участков равной длины, то информативность показателя CC увеличится, давая возможность сравнивать различные участки различных рек между собой. Это, в свою очередь, позволит использовать полученные данные для картографирования рек по CC . К сожалению, использование метода, так или иначе, будет ограничено отсутствием натурных данных на искомых створах рек.

Другой подход рассматривает скорость самоочищения речной воды не как причину различий в качестве воды на различных участках реки, а как следствие воздействия на речные воды природных факторов. Природные особенности водосбора могут усугублять либо нивелировать техногенные воздействия. Материковые водные объекты способны как частично или полностью ассимилировать антропогенные ЗВ, так и, напротив, выносить с водосбора в моря природные вещества, негативно влияющие на качество морской среды. Способность рек к самоочищению определяется природными особенностями их водосборов: слагающими породами, рельефом,

озёрностью, лесистостью, температурой воды, особенностями ледового режима, другими биотическими и абиотическими факторами. Работы, посвящённые роли частных природных особенностей водосбора в самоочищении рек, многочисленны.

В качестве особенностей водосбора, определяющих условия самоочищения водных объектов, чаще всего предлагают интенсивность перемешивания воды, температуру воды, степень разбавления загрязняющих веществ, состав почв, характер наземной и водной растительности (Скорняков, Даценко, Масленникова, 1997; Стурман, 2003; Горшкова, Тремасова, 2016).

В некоторых случаях, при исследовании условий самоочищения рек привлекают метеорологические параметры: температуру воздуха, количество осадков, упругость водяного пара и другие. Часто использование метеорологических параметров обусловлено недостатком данных о гидрологическом режиме реки. Однако, при интенсивном водообмене влияние гидрометеорологических факторов не столь значительно, а изменение качества воды определяется в первую очередь факторами гидрологического режима водоёма или водотока (Даценко, 2015).

Существенна роль гидробионтов и водных растений в процессах очищения воды. На самоочищение поверхностных водных объектов влияет видовой состав организмов и густота их заселения. Способность высших водных растений улучшать качество природных вод неоднократно была подтверждена (Еськов, Розенберг, 2010; Воскобойников, Пуговкин, 2012; Торгашкова, Левина, Исмаилова, 2014; Наумова, Гончарова, Наумова, 2015; Торгашкова, Левина, Гахраманов, 2015). Известна также способность пресноводных двустворчатых моллюсков, в частности *Unio pictorum* извлекать из воды тяжёлые металлы (Шаплыгина, Курочкина, Насибулина, 2016).

Среди методик оценки устойчивости природных систем наибольшее распространение получили методики, основанные на индикаторном подходе

и индексах состояния, а также моделях-классификациях, которые, в основном, имеют в основе балльный или балльно-индексный подход (Дмитриев, Фрумин, 2004). Оценка состояния природных систем, таким образом, сводится к обоснованному отбору информативных признаков, нахождения оценочных шкал для этих признаков и определения классов, отражающих состояние исследуемых систем.

Совокупный учёт особенностей водосборов, влияющих на способность рек к самоочищению, возможен в рамках многокритериальных и интегральных оценок.

Интегральная оценка – это нахождение обобщённого показателя состояния системы, рассчитываемого на основе разнородных данных. Интегральная оценка объединяет в одно целое ранее разнородные многокритериальные оценки с учетом их относительного вклада в общую оценку.

Многокритериальные оценки, в свою очередь, опираются на небольшое количество критериев, влияющих на определенный аспект состояния системы. Наличие множества критериев приводит к вопросу об их относительной значимости для исследуемой системы. Учет значимости достигается использованием весовых коэффициентов.

Один из самых распространённых методов многокритериального оценивания сложных систем - метод сводных показателей. Он предполагает линейную свертку показателей по формуле:

$$Q(q; w) = \sum_{i=1}^m q_i \cdot w_i \quad (7),$$

где Q – сводный показатель оценки,

q_i – отдельные исходные показатели оценки,

w_i – соответствующие весовые коэффициенты.

Значения w должны удовлетворять условиям:

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1; w_i \geq 0$$

Далее несколько найденных сводных показателей оценки ($Q_1, Q_2 \dots Q_n$) объединяются в составе интегрального показателя исследуемого объекта или процесса.

Как показал анализ работ по оценке состояния различных природных систем, отсутствие общепризнанного стандарта построения интегральных и многокритериальных оценок затрудняет сравнение результатов таких оценок между собой и с результатами натурных наблюдений. Как отмечают авторы статьи (Дмитриев и др., 2020), в большинстве работ отсутствует этап разработки гипотез и проверка адекватности предложенной модели.

Возможно поэтому, хотя востребованность многокритериальных оценок геосистем растёт, их применимость на практике по-прежнему остаётся невысокой, так как методология таких исследований требует дальнейшей разработки и стандартизации.

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Междисциплинарный характер работы предполагает обращение к большому объёму разнородных данных. В работе были использованы следующие виды данных: океанографические, гидрологические, метеорологические, данные морских и речных гидрохимических наблюдений, сведения о водопользовании и некоторые другие узкоспециальные данные.

Получение гидрометеорологической информации в настоящее время является вопросом проблемным. В открытом доступе находятся лишь архивные данные (до 1990 года). Океанографические же данные, по сути своей, не могут быть представлены в большом объеме, для всех сезонов года и с хорошим покрытием акватории моря ввиду трудности выполнения таких исследований. Поэтому отбор данных об океанографических характеристиках за короткий отрезок времени (1980-1990), перекрывающийся с наличествующим периодом климатических и гидрологических наблюдений на суше, покажет очень редкую сетку морских станций. В таких условиях, достичь полного согласования периодов данных для океанологических, гидрологических и метеорологических характеристик не представляется возможным. Однако, рассматриваемые параметры можно считать стабильными на продолжительных отрезках времени. Исходя из этих же рассуждений, было сделано допущение, что природные условия конца 20 века могут быть использованы в качестве характеристик для расчёта современной ассимиляционной ёмкости системы «река-морской залив».

Так как итогом работы должна стать характеристика современного уровня загрязнения морских вод и рекомендации по развитию природопользования на водосборе Баренцева и Белого морей, были использованы современные данные о населении и производстве.

3.1. Океанографическая база данных и методы работы с данными

Все расчёты выполнялись при использовании объединённой открытой базы океанографических данных, опубликованной в качестве приложения к атласу (Атлас климатических..., 2014). Достоверность данных атласа обеспечена контролем качества, проведённым при составлении атласа в соответствии со схемой, принятой Лабораторией морского климата NODC (Ingleby, Huddleston, 2007; Johnson and other, 2009).

В базе данных было найдено 238286 станций, расположенных на акватории Баренцева и Белого морей и выполненных в период с 1870 по 2013 годы. Были отобраны измерения за период с 1980 по 2013 годы, так как именно в этот период поступление данных было регулярным и стандартизированным. Выборка включила 108465 станций. Также привлекались обобщённые данные крупных работ по Белому морю (Гидрометеорология..., 1991; Бабков, 1998; Атлас..., 2014; Толстикова, 2016).

Солёность даже поверхностного слоя изучена весьма неравномерно. Менее всего имеется данных для зимних месяцев, что связано с трудными условиями исследования арктических морей в зимний период. Расположение станций на акватории морей по месяцам показано на рис. 3.1.

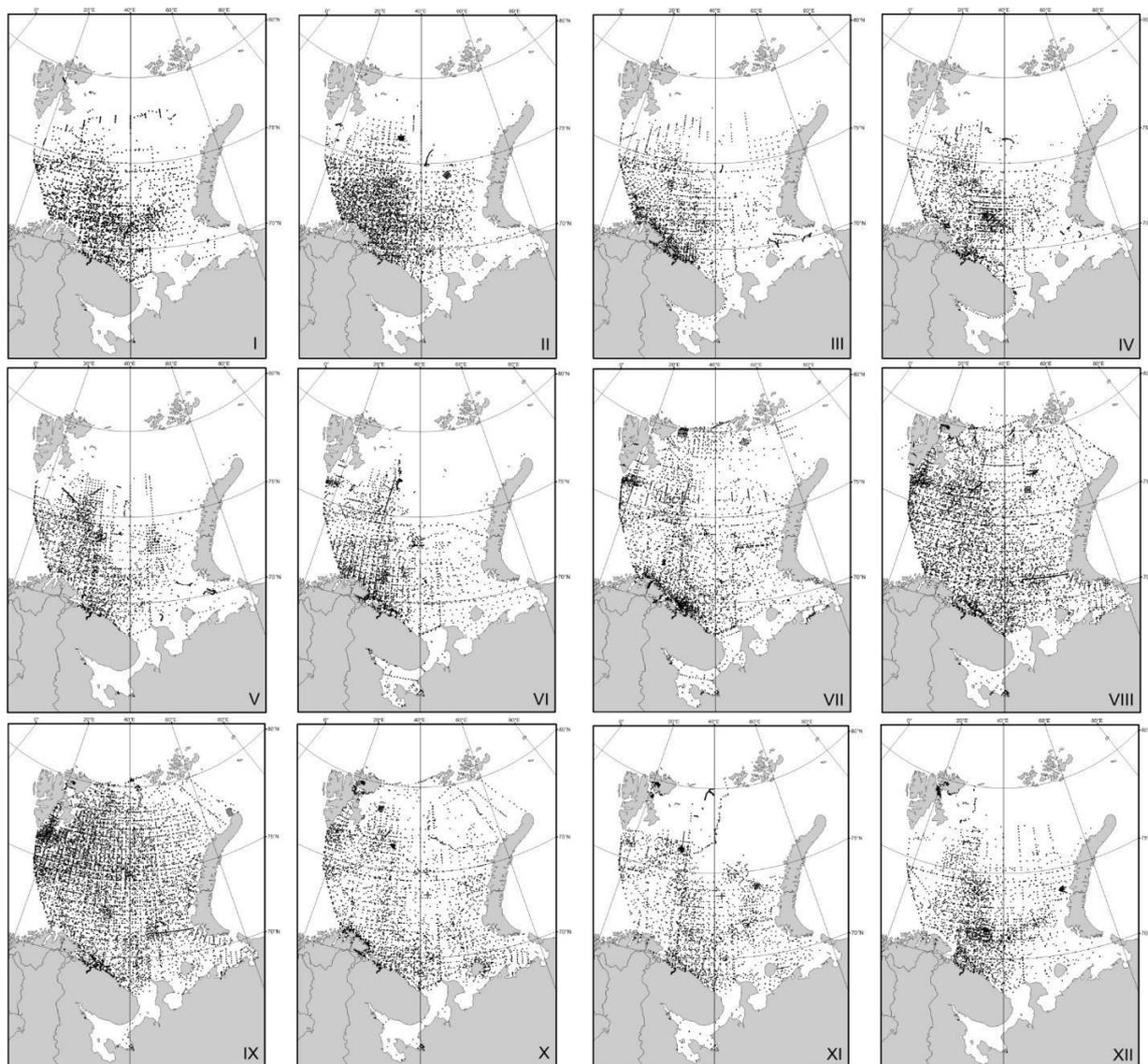


Рис. 3.1. Расположение станций на акватории Баренцева и Белого морей по месяцам

Распределение отобранных станций по годам и месяцам показано на рис. 3.2.

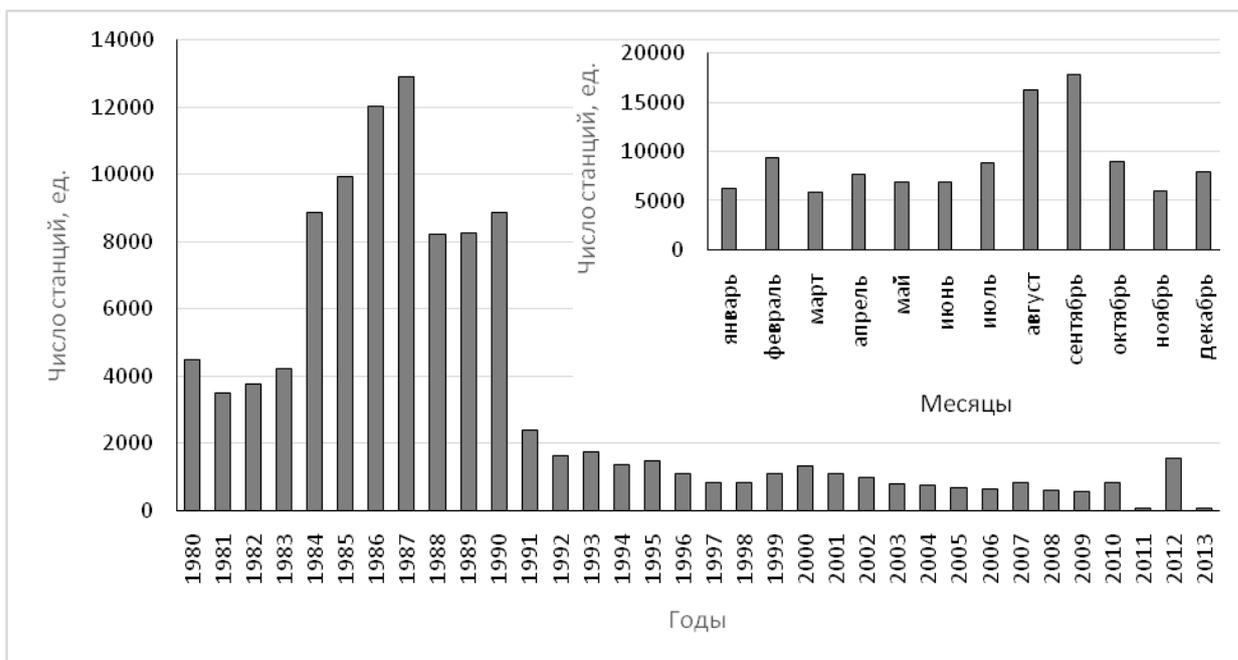


Рис. 3.2. Количество станций на акватории Баренцева и Белого морей по месяцам и по годам за период с 1980 по 2013 годы

Результаты измерений на станциях использовались для расчёта средних многолетних показателей солёности водных масс. Для расчётов была использована солёность поверхностного слоя воды (горизонт от 0 до 1 м) (Руководство..., 1977). При годовом осреднении исключаются сезонные вариации стока, осадков и испарения, которые во многих случаях могут быть значительными. Кроме того, в первую очередь поверхностный слой является зоной непосредственного влияния речного стока.

Ввиду сильной пространственной неоднородности сетки станций, была применена методика формирования поквadratных массивов данных судовых наблюдений с последующим осреднением в пределах выбранных квадратов. Были сформированы 1°-ные сферические трапеции, условно называемые в океанологической практике квадратами. Средние многолетние значения солёности в осенне-зимний и летне-весенний (календарные) сезоны определялись как среднее арифметическое всех значений S в пределах данного квадрата. Если количество измерений в квадрате менее 5, то осреднение данных не производилось и считалось, что в данном квадрате в данном сезоне вообще нет данных. Пропуски заполнялись с использованием

опубликованных осредненных данных других авторов (Бабков, 1998; Бергер, 2007; Толстикова, 2016). По сезонным значениям вычислялись средние многолетние. Далее, определялись площади квадратов, находящиеся в пределах средних многолетних границ водных масс и рассчитывалась средняя взвешенная (по площади) многолетняя солёность водных масс.

В рамках работы был разработан и применён новый метод (см. пункт 5.1), основанный на использовании солёности, как консервативного показателя генетической принадлежности морской воды. Он исходит из предположения о том, что величина солёности является результатом изменения содержания пресной воды в водной массе (Булавина, Дженюк, 2017). Исходящий из тех же положений, но отличный от предложенного, метод расчёта был использован в ААНИИ для вычисления содержания пресной воды в слое выше залегания изогалины 34.8‰ в Арктическом бассейне (Вязилова и др., 2015). В сочетании с методом водного баланса новый метод был использован в приложении к экологической оценке (см. пункт 5.5).

3.2. Данные метеорологических наблюдений и наблюдений на речных гидропостах, методы работы с ними

Для оценки гидрологического режима рек водосбора Баренцева и Белого морей были использованы материалы Государственного водного кадастра, а также данные отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов ААНИИ, находящиеся в открытой электронной базе данных «A Regional, Electronic, Hydrographic Data Network For the Arctic Region», доступной по адресу <http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/Tiles/arctic10.html>. Были отобраны данные наблюдений на всех доступных гидропостах рек (и их притоков) Онега, Выг, Кереть, Кемь, Ковда, Нива, Умба, Северная Двина, Мезень, Печора, Поной, Воронья, Кола, Тулома, Варзуга, Териберка и Чаваньга, выбранным в качестве репрезентативных. Были получены временные ряды данных о средних месячных расходах воды разной длительности (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Пункты и длительность наблюдений на реках

| Река | Пункт наблюдения | Координаты, гр.мин. | | Расстояние, км | | Период наблюдений |
|-----------|------------------------------------|---------------------|---------|----------------|----------|-------------------|
| | | Широта | Долгота | От истока | От устья | |
| Онега | д. Череповская | 62.09 | 39.22 | 125 | 291 | 1941-1999 |
| | д. Казаково | 62.35 | 39.51 | 187 | 229 | 1929-1999 |
| | д. Порог | 63.49 | 38.28 | 385 | 31 | 1943-1999 |
| Выг (ББК) | Палакоргская ГЭС | 64.13 | 34.20 | 44 | 44 | 1967-1988 |
| | Маткоженская ГЭС | 64.26 | 34.30 | 67 | 21 | 1956-1988 |
| | Рук. Сорока - Выгостровская ГЭС | 64.29 | 34.40 | 77 | 11 | 1962-1973 |
| | Рук. Сорока – Беломорская ГЭС | 64.31 | 34.42 | 82 | 6 | 1964-1973 |
| Кереть | ж/д мост | 66.12 | 32.54 | 42 | 38 | 1931-1988 |
| Кемь | с. Подужемье | 64.92 | 34.27 | 173 | 18 | 1917-1966 |
| | Юшкозерская ГЭС | 64.50 | 32.02 | 2 | 189 | 1981-1999 |

Продолжение таблицы 3.1

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|------|-----------|
| | Путкинская ГЭС | 64.56 | 34.29 | 185 | 5.7 | 1968-1988 |
| | с. Юшкозеро | 64.47 | 32.10 | 22 | 172 | 1928-1987 |
| Ковда | пос. Софпорог | 65.48 | 31.25 | 0.4 | 233 | 1925-1988 |
| | Кумская ГЭС | 66.22 | 31.06 | 87 | 146 | 1963-1988 |
| | Иовская ГЭС | 66.17 | 30.39 | 154 | 79 | 1951-1988 |
| | Между порогами Кузьмин и Семежье | | | 227 | 6 | 1925-1955 |
| | Княжегубская ГЭС | 66.50 | 32.20 | 231.8 | 1.2 | 1956-1988 |
| Нива | Нива ГЭС-1 | 67.23 | 32.33 | 18 | 18.2 | 1925-1999 |
| | Нива ГЭС-3 | 67.12 | 32.28 | 30 | 6.2 | 1950-1999 |
| Умба | Исток | 67.32 | 34.19 | 0.5 | 123 | 1935-1992 |
| | пор. Паялка | 66.41 | 34.19 | 119 | 3.7 | 1930-1992 |
| Северная Двина | д. Абрамково | 62.02 | 45.07 | 216 | 528 | 1877-1988 |
| | д. Звоз | 63.16 | 42.02 | 468 | 276 | 1939-1988 |
| | с. Усть-Пинега | 64.08 | 41.55 | 607 | 137 | 1881-1999 |
| Мезень | д. Макариб | 63.38 | 49.27 | 285 | 681 | 1931-1988 |
| | с. Большая Пысса | 64.10 | 48.50 | 511 | 455 | 1961-1995 |
| | д. Малонисогорская | 65.00 | 45.37 | 780 | 186 | 1920-1999 |
| Печора | с. Усть-Унья | 61.48 | 57.55 | 166 | 1643 | 1975-1996 |
| | д. Якша | 61.49 | 56.51 | 303 | 1506 | 1913-1998 |
| | с. Троицко-Печорск | 62.43 | 56.13 | 450 | 1359 | 1938-1999 |
| | с. Усть-Щугор | 64.16 | 57.37 | 773 | 1036 | 1914-1996 |
| | д. Мутный Материк | 65.57 | 55.10 | 1199 | 610 | 1980-1991 |
| | с. Оксино | 67.35 | 52.10 | 1668 | 141 | 1916-1998 |
| Поной | с. Краснощелье | 67.21 | 37.02 | 136 | 290 | 1940-1992 |
| | с. Каневка | 67.08 | 39.40 | 312 | 114 | 1933-1992 |
| | с. Поной | 67.07 | 41.12 | 413 | 13 | 1935-1976 |
| Воронья | Исток | 68.51 | 35.36 | 3 | 152 | 1935-1992 |
| | ст. Голицыно | 69.05 | 35.78 | 135 | 20 | 1935-1967 |
| | Серебрянская ГЭС- 1 | 68.81 | 35.53 | 107 | 48 | 1959-1992 |
| Кола | Исток | 68.21 | 33.16 | 1 | 82 | 1948-1992 |
| | 1429-й км Октябрьской ж/д | 68.50 | 33.05 | 75 | 8 | 1928-1992 |

| | | | | | | |
|-----------|--|-------|-------|-----|-----|-----------|
| Тулома | Верхнетуломская ГЭС | 68.36 | 31.45 | 1 | 63 | 1934-1992 |
| | Нижнетуломская ГЭС | 68.50 | 32.49 | 54 | 10 | 1956-1985 |
| Варзуга | с. Варзуга | 66.24 | 36.38 | 231 | 23 | 1935-1992 |
| Териберка | Верхнетериберская ГЭС | 69.04 | 34.59 | 115 | 12 | 1984-1992 |
| | пгт Териберка (5 км к ю-з от поселка) | 69.12 | 35.08 | 122 | 5 | 1932-1982 |
| Чаваньга | с. Чаваньга | 66.08 | 37.45 | 49 | 3 | 1963-1992 |
| Пинега | д. Согры | 62.38 | 46.39 | 119 | 660 | 1953-1988 |
| | пос. Северный | 63.00 | 46.47 | 243 | 536 | 1964-1988 |
| | д. Засурье | 63.35 | 45.36 | 385 | 394 | 1959-1999 |
| | с. Кулогоры | 64.43 | 43.29 | 654 | 125 | 1914-1999 |

Также были использованы морфометрические данные и характеристики водного баланса озёр (Озёра Карелии, 2013).

По данным наблюдений гидрологической сети были рассчитаны средние годовые и месячные объёмы стока, а также годовые и месячные нормы стока для указанных рек. Расчёты производились согласно нормативным документам (СП 33-101-2003; Методические рекомендации..., 2005). Нормы стока рассчитывались за период 1961 по 1990.

Одним из ключевых условий формирования речного стока является климат. Речной сток, являясь функцией климатических факторов, наследует от них устойчивый характер временного распределения как в точке на поверхности Земли, так и в пределах речного бассейна. Поэтому при изучении колебаний речного стока были рассмотрены также местные климатические характеристики исследуемой территории. Такой подход позволяет более полно раскрыть закономерности сезонных и многолетних колебаний речного стока, а также выявить изменения объёмов стока, не связанные с климатом (например, антропогенные).

Для анализа влияния климатического режима водосбора на распределение речного стока были использованы данные наблюдений, проведённых на 21 гидрометеорологической станции Северо-Западного, Северного и Мурманского территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в период продолжительностью 90 лет: 1926–2015 гг. (захватывающий два стандартных климатических периода: 1931-1960, 1961-1990). Данные гидрометеорологических станций (суточного разрешения) получены из электронной базы данных ЦОД ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск (Булыгина и др.).

С использованием ежедневных данных были рассчитаны средние месячные и годовые температуры, среднее месячное и среднее годовое количество осадков, а также месячные и годовые нормы температур и осадков для каждой из метеостанций. Расчёты проводились согласно рекомендациям ВМО (Руководство..., 2014; Руководящие указания..., 2017). Под климатической нормой понималось среднее многолетнее значение за 1961-1990 гг.

При наличии пробелов в ежедневных данных, среднемесячные показатели не рассчитывались, а возникшие пробелы средних месячных значений заполнялись по методу аналогий. В качестве аналогов использовались ряды данных с ближайшей к месту восстановления метеостанции, на которой в восстанавливаемый период велись наблюдения. У всех отобранных пар коэффициент парной корреляции для рядов средних месячных температур выше 0.8. Методом аналогии были восстановлены не только пробелы в рядах наблюдений за температурой, но также произведено удлинение рядов на тех метеостанциях, где они оказались короче. Для всех метеостанций достигнута продолжительность рядов температур с 1926 по 2015 годы (на 11 метеостанциях имелись данные наблюдений, на 9 станциях данные с 1926 года до начала наблюдений были восстановлены) (табл. 3.2)

Характеристики рядов-аналогов, использованных для восстановления рядов средних месячных температур на метеостанциях

| Станция восстановления | Станция аналог | Период восстановления | Диапазон колебаний коэффициентов парной корреляции (по месяцам) |
|------------------------|----------------|------------------------|---|
| Мурманск | Кандалакша | 1926-1935 | 0.91 – 0.97 |
| Умба | Кандалакша | 1926-1936 | 0.81-0.97 |
| Калевала | Кемь | 1926-1935 1941-1946 | 0.83-0.99 |
| Мезень | Архангельск | 1926-1965 | 0.94-0.98 |
| Реболы | Кемь | 1926-1935 1941-1945 | 0.85-0.98 |
| Онега | Архангельск | 1926-1935 | 0.95-0.99 |
| Петрозаводск | Кемь | 1926-1935 | 0.88-0.96 |
| Печора | Усть-Цильма | 1926-1943 | 0.96-0.98 |
| Вологда | Шенкурск | 1926-1938 | 0.90-0.95 |

В отличие от температуры воздуха, для осадков характерна более выраженная пространственно-временная неоднородность. Коэффициент парной корреляции для рядов месячных сумм осадков для отобранных пар метеостанций находится в пределах 0.3-0.6. Немногочисленные пропуски в рядах наблюдений за осадками были заполнены при использовании рядов-аналогов, но удлинения рядов наблюдений (ввиду довольно низкого коэффициента корреляции) не производилось. В результате, для разных станций получены ряды месячных сумм осадков разной длительности, но не короче 80 лет для всех станций.

Для определения средних месячных и годовых значений температуры и осадков в местах гидрологических постов, в различных частях водосбора и в среднем по водосбору в качестве расчётного использован метод тяготеющих площадей (полигонов Тиссена). Полигоны Тиссена - это полигональные области, образуемые на заданном множестве точек таким образом, что расстояние от любой точки области до данной точки меньше, чем для любой другой точки множества. Задача построения зон близости требует определения всех точек плоскости, для которых расстояние до объектов множества является минимальным. Границами полигонов Тиссена являются

отрезки перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в триангуляции Делоне, которая построена относительно того же точечного множества. Полигонам присваиваются атрибуты точечных объектов. Полигоны Тиссена разделяют территорию на области близости к заданным точкам, и поэтому могут рассматриваться в качестве окрестностей этих точек.

В качестве входных точек были выбраны метеостанции Мурманск, Кандалакша, Кемь-порт, Калевала, Онега, Умба, Вологда (Прилуки), Архангельск, Карпогоры, Шенкурск, Сыктывкар, Нарьян-Мар, Печора, Усть-Цильма, Мезень и Ухта. Для расчета также были использованы данные метеостанций, расположенных за пределами водосбора, но являющихся ближайшими доступными источниками информации о климате на границах водосбора. Это метеостанции: Салехард, Киров, Пермь, Реболы, Петрозаводск.

Соседние станции на схеме соединялись прямыми линиями, согласно правилам построения триангуляции Делоне. Построения выполнялись вручную с использованием алгоритмов построения триангуляции Делоне слиянием (Скворцов, 2002). Далее через середины сторон треугольников Делоне проводились перпендикуляры до их пересечения. В результате такого построения перпендикулярные линии становятся границами полигонов, любая точка внутри которых ближе к данной станции, чем к любой другой (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Метеостанции в бассейне Баренцева и Белого морей и границы тяготеющих площадей

Все климатические характеристики на станции присваивались всему полигону и были использованы в качестве характеристик климатического режима над гидрологическими постами, попавшими внутрь этого полигона.

Для оценки климатического режима в среднем по водосбору и в среднем в бассейнах отдельных рек (т.е. площадных объектов) рассчитывались средние взвешенные температуры и количества осадков по формулам:

$$\bar{x} = \frac{x_1 \times f_1 + x_2 \times f_2 + \dots + x_n \times f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} \quad (8),$$

где \bar{x} – среднее взвешенное количество осадков для исследуемого водосбора, мм;

x_n – количество осадков, тяготеющее к n-й метеостанции, мм;

f_n – площадь полигона, тяготеющего к n-й метеостанции, км².

$$\bar{t} = \frac{t_1 \times f_1 + t_2 \times f_2 + \dots + t_n \times f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}, \quad (9),$$

где \bar{t} – средняя взвешенная температура для исследуемого водосбора, °С;
 t_n – температура, тяготеющая к n-й метеостанции, °С;
 f_n – площадь полигона, тяготеющего к n-й метеостанции, км².

В случае, если полигон не полностью располагался в пределах исследуемого водосбора, то учитывалась только площадь той части полигона, которая располагалась в пределах водосбора.

Для водосборов отдельных рек и в целом для исследуемого водосбора таким образом были рассчитаны нормы (месячные, сезонные, годовые) температуры и осадков. Для оценки многолетней динамики метеорологических параметров на водосборах рек рассчитывались средние взвешенные температуры и количества осадков во все годы наблюдения и строились графики их изменения. Анализ внутригодовых изменений метеорологических параметров проводился по двум сезонам: осенне-зимний (сентябрь-февраль), весенне-летний (март-август). Рассчитывались средние сезонные значения температуры воздуха и сезонное количество осадков за каждый год, строились графики межгодовой динамики средних сезонных значений.

Для оценки изменений и изменчивости климата и гидрологических характеристик были использованы статистические методы обработки данных. Полученные временные ряды гидрологических и климатических характеристик, в зависимости от частных задач, подвергались трендовому, корреляционному и автокорреляционному анализу.

3.3. Материалы и методика интегральной оценки потенциального воздействия речного стока на морскую водную среду

Была разработана методика интегральной оценки потенциального воздействия речного стока на морскую водную среду (Булавина, 2018в; Матишов, Дженюк, Булавина, 2018). Предложенная методика применена для анализа водосбора БЭ Баренцева моря. Основные положения методики и результат её применения изложены в пункте 5.4.

Материалы. Оценка воздействия речного стока на морские воды при отсутствии или недостаточности натуральных данных о качестве речных и морских вод (для исследуемого региона ощущается нехватка данных), должна опираться на те оценочные параметры, которые хорошо обеспечены данными наблюдений. Это параметры, доступные прямому наблюдению из космоса или получаемые при расшифровке спутниковых снимков. Это сведения о рельефе, растительности и поверхностных водных объектах. Общедоступны также данные о социальных и экономических характеристиках речных водосборов: плотность населения, количество предприятий-водопользователей и их валовый доход, площадь распаханых земель и другие.

В качестве источников данных о поверхности водосбора Баренцева и Белого морей были использованы обобщенные картографические данные о рельефе, лесистости и озёрности исследуемых территорий (Атлас СССР, 1983). Плотность населения на водосборах рек рассчитана как отношение количества человек, проживающих на водосборе, к площади водосбора. Число жителей на водосборах отдельных рек было рассчитано по данным всероссийской переписи населения в 2010 году (Всероссийская перепись. http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm), площади водосборов вычислены при использовании ГИС MapViewer.

Для оценки объёмов сброса сточных вод в поверхностные водные объекты были проанализированы официальные данные о водопользовании (Федеральное агентство водных ресурсов. <http://voda.mnr.gov.ru/>) и отобраны

договоры на пользование поверхностными водными объектами, расположенными на территории Баренцево-Беломорского водосбора. На водосборе функционирует множество предприятий, использующих поверхностные водные объекты на основании договоров водопользования. Одно крупное предприятие может осуществлять множество типов водопользования на десятках водных объектов, а небольшие предприятия обычно эксплуатируют 1-2 водных объекта (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Количество действующих договоров на пользование поверхностными водными объектами и типы водопользования на водосборе Баренцева и Белого морей (составлено по данным (Федеральное агентство водных ресурсов. <http://voda.mnr.gov.ru/>) по состоянию на март 2017 года)

| Тип водопользования | Количество действующих договоров | | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|-------|
| | Мурманская область | Республика Карелия | Архангельская область и НАО | Вологодская область | Республика Коми | Всего |
| Забор (изъятие) водных ресурсов из поверхностных водных объектов | 77 | 26 | 199 | 2 | 84 | 388 |
| Использование акватории водного объекта, в т. ч. для рекреационных целей | 39 | 9 | 261 | 18 | 42 | 369 |
| Использование водного объекта без забора (изъятия) водных ресурсов для производства электроэнергии | 16 | 10 | 0 | 0 | 0 | 26 |
| Использование водного объекта для размещения и строительства гидротехнических сооружений, мостов, переходов, трубопроводов | 2 | 2 | 129 | 66 | 132 | 331 |

| | | | | | | |
|--|-----|----|-----|-----|-----|------|
| Использование водного объекта для размещения причалов, судоподъемных и судоремонтных сооружений | 4 | 5 | 7 | 0 | 0 | 16 |
| Использование водного объекта для размещения стационарных и/или плавучих платформ и искусственных островов, плавательных средств | 1 | 7 | 24 | 0 | 1 | 33 |
| Сброс сточных вод и (или) дренажных вод | 155 | 14 | 165 | 134 | 129 | 597 |
| Сплав леса | 0 | 0 | 23 | 0 | 2 | 25 |
| Другие | 0 | 0 | 22 | 4 | 5 | 31 |
| Всего | 294 | 73 | 830 | 224 | 395 | 1816 |

Обычно забор чистой воды происходит из одного водного объекта, а сброс сточных вод производят в несколько других водных объектов. Сбросы сточных вод с предприятия распределяются между несколькими водными объектами для того, чтобы не создавать высоких концентраций загрязняющих веществ. Так количество договоров на сброс сточных вод обычно превышает количество договоров на забор водных ресурсов.

Типы водопользования, признанные на законодательном уровне, являются очень широкими и не всегда точно отражают способ использования водных объектов. Так, например, к типу «использование акватории водного объекта, в т. ч. для рекреационных целей» принадлежит очень большое количество видов водопользования. Знакомство с предприятиями, осуществляющими данный тип водопользования, дает понять, что их воздействие на водные объекты сильно различается. Такой тип водопользования осуществляют санатории, дома отдыха, туристские организации с одной стороны, и ЦБК, ЛДК, центры судоремонта и прочие предприятия промышленности с другой. Поэтому качество и масштаб воздействия на водные объекты организаций, осуществляющих этот типа

водопользования, трудно поддается оценке. Значительное количество договоров водопользования этого типа действует в Архангельской области и НАО и лишь 5% из них заключено с организациями, предоставляющими санаторные и туристские услуги.

Большое количество договоров на использование водных объектов для размещения и строительства гидротехнических сооружений, мостов, переходов, трубопроводов в республике Коми, Архангельской и Вологодской областях объясняется прохождением на их территории трубопроводов, пересекающих множество мелких рек, для каждой из которых существует отдельный договор водопользования.

К категории «другие» были отнесены редко встречающиеся на водосборе типы водопользования. В эту категорию были отнесены такие типы водопользования как разведка и добыча полезных ископаемых на акватории объекта, проведение дноуглубительных работ, подъем затонувших судов.

Среди договоров водопользования были отобраны договоры на сброс сточных вод (597 договоров, заключенных с 419 предприятиями). Договоры были разделены по принадлежности мест сброса к речным бассейнам.

В отчетах предприятий-водопользователей о режиме их водопользования были найдены данные об объеме сбросов сточных вод не по всем отобраным 419 предприятиям. Часть предприятий представляет собой мелкие организации, оказывающие различные услуги. Именно для этой части водопользователей информация о сбросах сточных вод, как правило, отсутствует. Вероятно, что их вклад в общий объем сточных вод не сравним с вкладом крупных промышленных предприятий, кроме того, частично учтен, так как большинство из них подключены к городским водоканалам (предоставляющим полную информацию об объемах сброса сточных вод), а договор на сброс сточных вод относится только к дренажным (ливневым) водам.

Промышленные предприятия-водопользователи предоставляют подробную информацию о режиме водопользования и объемах сброса сточных вод различной степени очистки на своих официальных сайтах. Крупнейшие предприятия-водопользователи и объекты водопользования приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Крупнейшие предприятия-водопользователи в Баренцево-Беломорском бассейне и эксплуатируемые ими водные объекты (составлено по данным (Федеральное агентство водных ресурсов. <http://voda.mnr.gov.ru/>) по состоянию на март 2017 года)

| Водопользователь | Водный объект | |
|--|--|--|
| | Изъятие природных вод | Сброс сточных вод |
| ОАО «Оленегорский горно-обогатительный комбинат» | Озеро Ках-озеро (басс.Кола) | Болото на водосборе озера Имандра, болото на водосборе озера Ках-озеро (басс.Кола), озеро без названия бассейна оз.Ках-озеро (басс.Кола) |
| ОАО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат» | Озеро Ковдор (басс.Нива) | Река Можель (басс.Нива), озеро Ковдор (басс.Нива), р.Верхняя Ковдора (басс.Нива) |
| АО «Апатит» | Имандровское водохранилище (басс.Нива), оз.Большой Вудъявр (басс.Нива) | Оз. Большой Вудъявр (басс.Нива), р.Белая (басс.Нива), р.Жемчужная (басс.Нива), оз. Китчапахк (басс.Умба), р.Вуоннемйок (басс.Умба) |
| ООО «Ловозерский горно-обогатительный комбинат» | оз.Ильма | р.Сергевань (басс.Воронья) |
| АО «Кольская горно-металлургическая компания» | оз.Сопчъявр, оз.Куэтс-ярви, вдхр.Селиакка-ярви | р.Колос-йоки (басс. оз.Куэтс-ярви, Баренцево море), оз.Нюдь-ярв (басс. Нива), р.Быстрая (басс.Поной), р.Хауки-лампи-йоки (басс. Кейно-йоки, Печенга) |
| Кольская АЭС | Имандровское водохранилище, Глубокая губа | вдхр.Имандровское, губа Молочная (басс.Имандра) |

| | | |
|---|--|--|
| АО "Сибирско-Уральская Алюминиевая компания" (Кандалакшский алюминиевый завод) | Договоры на изъятие природных вод отсутствуют | Ручей без названия бассейна Кандалакшского залива Белого моря |
| ОАО «Территориальная генерирующая компания № 1» | вдхр.Янискоски, вдхр.Серебрянской ГЭС-2, вдхр.Нижне-Териберское, вдхр.Пинозерское, вдхр.Имандровское, вдхр.Серебрянской ГЭС-1, вдхр.Верхне-Териберское, ББК, вдхр.Кумское, р.Кемь | р.Териберка, Водохранилище Серебрянской ГЭС-2, вдхр.Нижне-Териберское, р.Воронья, болото на водосборе оз.Ривдозеро (басс.Умба), вдхр.Пинозерское (басс.Нива), вдхр.Плесозерское (басс.Нива), губа Кандалакшская Кандалакшского залива Белого моря, вдхр.Хевоскоски (басс.Патсойоки), губа Княжая Кандалакшского залива Белого моря, вдхр.Княжегубское, р.Иова (Ковда) |
| ФГУП «Мурманскводоканал» | Баренцево море Кольский залив, р. Кола, Верхне-Тулумское вдхр., Нижне-Тулумское вдхр., оз.Первое, р.Лавна (басс.Большая Лавна), оз.Большое | р. Кола, Нижне-Тулумское вдхр., руч. Варяжский, руч. Малый Кротовый (басс.Тулума) |
| ОАО «Сегежский ЦБК» | р.Сегежа, оз.Выгозеро (басс. Выг) | оз.Выгозеро (басс. Выг) |
| МУП «Горводоканал» г. Беломорск | р.Нижний Выг | р.Нижний Выг |
| ОАО «Центр судоремонта Звездочка» | Водоток прот. Поперечная Паля (басс. Северная Двина) | Река Лая (басс.Сев.Двина) Водоток рук. Корабельный (басс.Северная Двина) |
| ОАО «Архангельский ЦБК» | Водоток рук.Мечка (басс.Полой Мечка) | Водоток рук. Мечка (басс.Полой Мечка), р. Северная Двина |
| ОАО "Группа "Илим" (г. Коряжма) | р. Вычегда (басс.Сев.Двина) | р. Вычегда (басс. Сев.Двина), р.Копытовка (басс.Сев.Двина) |

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| МУП «Водоканал» МО г. Архангельск | р. Северная Двина, оз.Большое Коровье, р.Ижма, р.Хабарка, оз.Холмовское | р. Северная Двина |
| ОАО «Печоранефть» | оз.Круглое, оз.Щучье, Безымянные озера бассейна р.Печора | Руч. Безымянный (басс. р.Печора) |
| АО «Воркутауголь» | Договоры на изъятие природных вод отсутствуют | р.Воркута, р.Юнь-Яга, р.Печора |
| ООО «ЛУКОЙЛ» | р.Печора Малые реки бассейна р.Печора | Малые реки бассейна р.Печора Болота на водосборе р. Печора |

Для исключения не учёта крупных источников сточных вод, проводилось сравнение данных, полученных в результате подсчётов, с официальными осреднёнными данными о сбросах сточных вод по регионам (Государственный доклад..., 2016а; Государственный доклад..., 2010а; Качество поверхностных..., 2016).

4. ФОРМИРОВАНИЕ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЧНОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ

Особенности влияния речного стока на качество вод Баренцева и Белого морей определяются свойствами внутригодовых и многолетних колебаний водности рек. Эти свойства изменяются в пределах водосборов морей. Поэтому для установления режимобразующей роли стока их необходимо выявить и обобщить на уровне гидрологического районирования водосбора.

Контрасты в особенностях строения гидрографической сети и в гидрологическом режиме рек между озёрно-речными системами водосбора западной части Белого моря и Мурманского берега Баренцева моря (далее – западная часть водосбора), с одной стороны, и реками восточной части Белого и юго-востока Баренцева морей (далее – восточная часть водосбора), с другой стороны, диктуют необходимость отдельного рассмотрения этих районов (рис. 4.1).

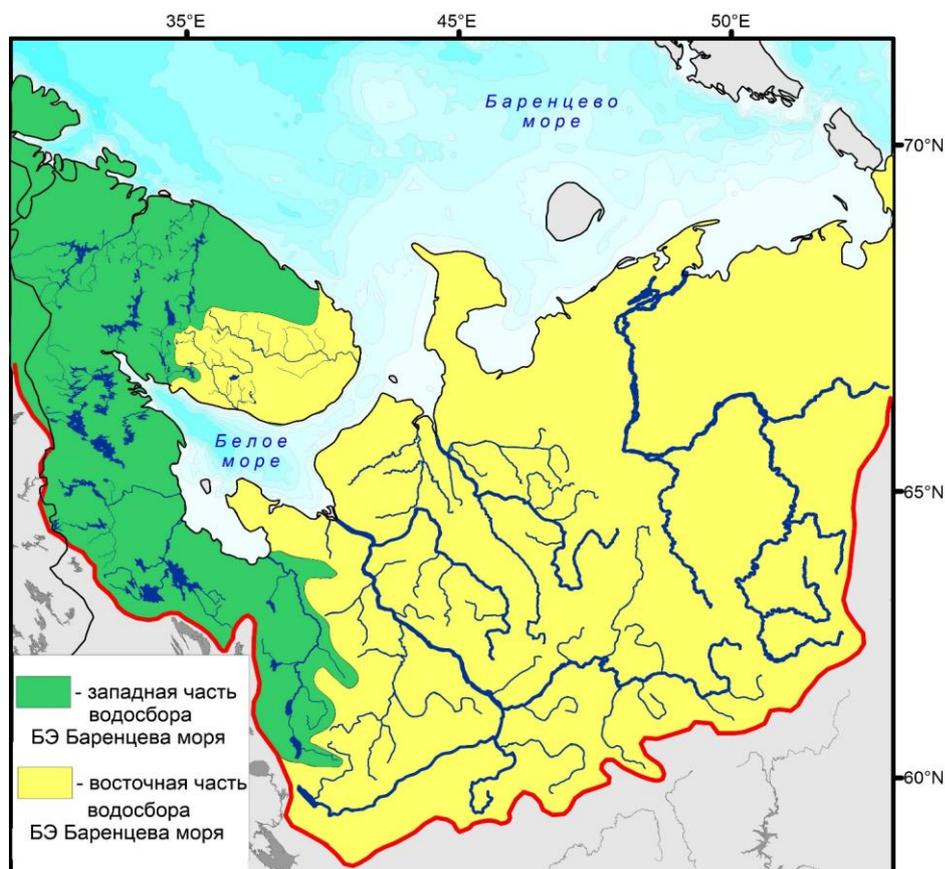


Рис. 4.1. Материковый водосбор БЭ Баренцева моря

Западная и восточная части водосбора выделены и рассмотрены в качестве самостоятельных объектов на основании ряда признаков. В первую очередь, это особенности гидрографической сети региона. Если в восточной части водосбора сток сосредоточен в крупных реках (Северной Двине, Мезени, Печоре), и озёрность незначительна (1-2%), то в западной части водосбора реки в той или иной степени зарегулированы озёрами и водохранилищами. Это не может не сказываться на распределении водных запасов, распространении загрязняющих веществ и самоочищении вод (Дмитриева, 2012). Различия в объёме стока западных и восточных рек и в его внутригодовом распределении существенны, и их следует учитывать при изучении влияния речного стока на водную среду Баренцева и Белого морей.

Ещё одним основанием для выделения западной части водосбора стали особенности его геологического строения. Водосбор БЭ Баренцева моря лежит в пределах трех крупных геологических структур: Фенноскандинавского щита, в составе которого доминируют кристаллические породы архейского возраста; Русской плиты, сложенной преимущественно осадочными образованиями карбона, перми и мезозоя; и Печорской плиты. Причём западная часть водосбора практически целиком приурочена к Фенноскандинавскому щиту, восточная часть (за исключением Поной-Варзугского района) приурочена к плитам. Это обуславливает характер и определяет густоту озёрно-речной сети, а также определяет состав и геохимические особенности донных отложений (Лаврова, 1947).

Кроме того, основанием для выделения западной и восточной частей водосбора послужили особенности гидрологии морей. Относительная изолированность западной части Белого моря возникает в связи с направлением морских течений. В Горле Белого моря смешиваются воды, поступающие из Баренцева и Белого морей. В результате в Горле температура и солёность вод от поверхности до дна почти одинаковы, а на границе Горла с Бассейном формируется гидрологический фронт (Филатов,

Тержевик, 2007). Это создает относительную изолированность вод западной части моря.

Речной сток существенно влияет на гидрологические процессы, происходящие в Белом море. Летом сточное течение, имеющее северо-восточное направление, наиболее интенсивно и препятствует проникновению перемешанных вод из Горла в Бассейн. Однако во все сезоны года в придонных слоях заток баренцевоморских вод с течением Дерюгина в Бассейн полностью не прекращается (Елисов, 1999). Воды Бассейна и всей западной части Белого моря, по сути, это трансформированные баренцевоморские воды. Воды сточного течения Тимонова, выходя из Белого моря, захватываются системой вдольбереговых течений Баренцева моря и переносятся на восток. Эти процессы создают некое единство между водами западной части Белого моря и западной части Баренцева моря, с одной стороны, и водами восточной части Белого и юго-востока Баренцева моря, с другой.

Исходя из вышесказанного, к западной части водосбора были отнесены реки, для которых соблюдены следующие условия:

1. Озёрное регулирование
2. Принадлежность к водосбору Мурманского берега Баренцева моря или водосборам Кандалакшского и Онежского заливов Белого моря
3. Приуроченность к Фенноскандинавскому щиту

Границы западной части водосбора были проведены по восточным границам водосборов рек Умба и Онега. Принадлежность р. Умба к водосбору западной части моря не вызывает сомнений: является озёрно-речной системой, располагается полностью в пределах Фенноскандинавского щита, впадает в Кандалакшский залив. Что касается р. Онега, то она совмещает в себе характеристики рек западной и восточной частей водосбора: сток реки находится под воздействием озёр только в верхнем течении, частично формируется в пределах Фенноскандинавского щита; река впадает в Онежский залив, отличающийся ограниченным водообменом.

Несмотря на то, что первые два условия соблюдены для Онеги лишь частично, принадлежность к бассейну Онежского залива имеет в данном случае решающее значение. Между Бассейном и Онежским заливом происходит постоянный водообмен, тогда как проникновение в залив вод из Двинского залива и Горла сильно затруднено (Бабков, 1998).

Реки Варзуга и Поной, а также небольшие реки Терского берега отнесены к восточной части водосбора, так как хоть они и расположены в пределах Фенноскандинавского щита, но остальные условия для них не соблюдаются.

Были рассмотрены особенности климатического режима материкового водосбора БЭ Баренцева моря и отдельных его частей (см. Приложение)

Анализ показал, что среднегодовые значения температуры воздуха за исследуемый период (1926-2015) имеют слабopоложительные тренды на всех исследуемых метеостанциях. Статистическая значимость линейных трендов многолетних колебаний температуры воздуха за исследуемый период по критерию Фишера при достоверном уровне 95% подтверждается не для всех метеостанций. Наиболее достоверно увеличение средней годовой температуры на метеостанциях Реболы, Онега, Петрозаводск, Вологда, со значимостью F 0.02, 0.03, 0.01 и 0.0006 соответственно.

Анализ многолетних изменений среднегодовой температуры приземного воздуха над территорией водосбора показал, что с середины 1970-х годов началось интенсивное и статистически значимое её повышение (рис. 4.2).

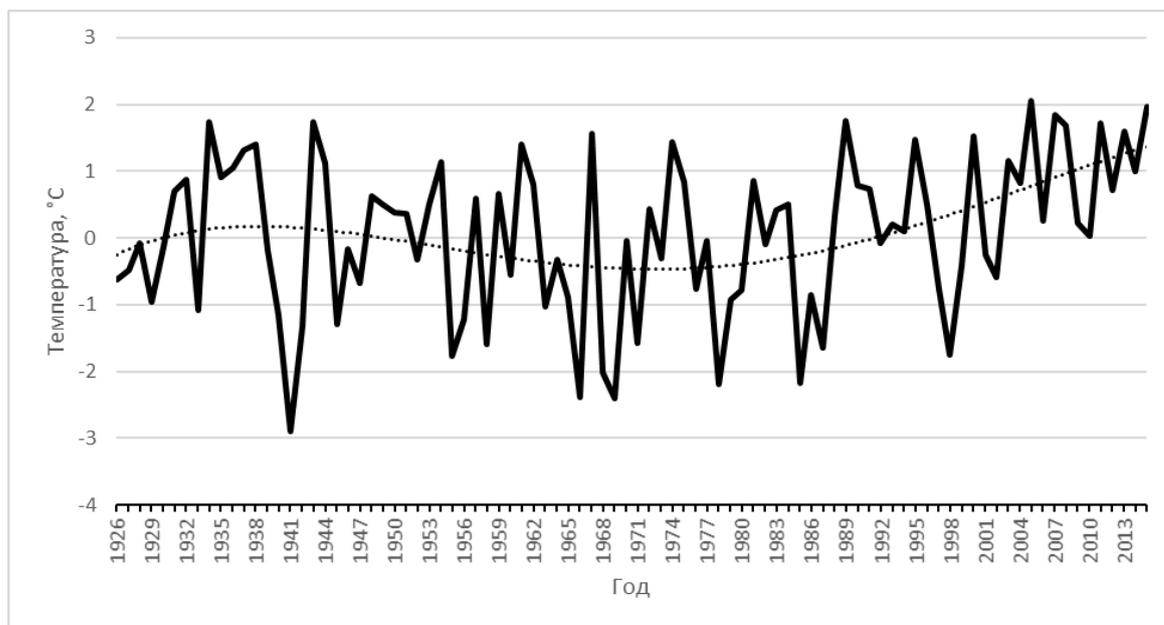


Рис. 4.2. Многолетние изменения среднегодовых значений температуры воздуха над водосборным бассейном Баренцева и Белого морей (полиномиальный тренд \wedge^4)

Рост температуры (средней по водосбору) за период с 1976 по 2015 составил $0.53^{\circ}\text{C}/10$ лет. При этом увеличение средних температур воздуха за холодное полугодие (октябрь-март) несколько выше ($0.63^{\circ}\text{C}/10$ лет). Средние температуры воздуха за тёплый период также имеют тенденцию к увеличению ($0.43^{\circ}\text{C}/10$ лет). Полученные результаты близки к результатам, полученным в (Смирнова и др., 2001).

За 1976–2015 гг. установлено также и увеличение годовых сумм осадков над водосбором (0.24 мм/мес/10 лет). Незначительные отрицательные тренды можно отметить в тёплое полугодие (часто тренд вовсе отсутствует), а положительные – в холодное полугодие (0.73 мм/мес/10 лет). Увеличение количества осадков в холодное полугодие статистически более достоверно.

Таким образом, на территории Баренцево-Беломорского бассейна отмечается фаза повышенной водности и общей увлажненности. Согласно оценкам ГГИ, можно ожидать дальнейшего роста количества осадков на территории питания рек Баренцево-Беломорского бассейна (Шикломанов, Георгиевский, 2003; Шикломанов, 2008).

4.1. Озерно-речные системы западной части Белого моря и Мурманского берега Баренцева моря

Главными озёрно-речными системами рассматриваемого региона являются системы рек Ковда (длина 233 км, площадь водосбора 26100 км², озёрность 16%), Кемь (194 км, 27700 км², озёрность 10%), Выг (Беломоро-Балтийский канал) (237 км, 27100 км², озёрность 14%), Кола (83 км, 3850 км², озёрность 6%), Тулома (267 км, 21700 км², озёрность 5%), Териберка (127 км, 2230 км², озёрность 7%), Воронья (155 км, 9940 км², озёрность 4%). Длина озёр, входящих в эти системы, достигает 67% от общей длины озёрно-речных систем (р. Ковда). Выделяется среди рек рассматриваемого региона р. Онега, имеющая малую озёрность водосбора (2%).

Расположение крупных озёр на водосборе обуславливает водность рек. Можно выделить три основных типа размещения крупных озёр на водосборе и по долине главной реки (Ресурсы поверхностных..., 1965):

1. Верховой, когда главные крупные озера лежат в верхней части водосбора, замыкая собой от трети до половины всего бассейна.
2. Каскадный, когда озёра равномерно распределены по длине главной реки.
3. Низовой, если главное озеро лежит в нижней части бассейна и река, вытекая из него, представляет собой короткий сточный канал.

В самом общем виде, без учета иных особенностей, кроме размещения озёр на водосборе реки, должно наблюдаться следующее. При верховом расположении озёр, их регулирующее влияние в нижнем течении не ощущается, и в замыкающем створе наблюдается ярко выраженная сезонность расходов воды. Обратная ситуация складывается при низовом расположении озёр, когда в верхнем и среднем течении ярко выражена сезонность стока, а в замыкающем створе распределение стока в течение года более равномерно. При каскадном расположении озёр сток распределён в течение года практически равномерно на всем протяжении реки.

Исследуемые реки были разделены по типам размещения озёр на водосборе (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Типы расположения озёр на водосборах рек бассейна западной части
Белого моря и Мурманского берега Баренцева моря**

| Речной бассейн | Крупные озёра и водохранилища | Тип озёрно-речной системы |
|----------------|---|---------------------------|
| Умба | Умбозеро, Канозеро | Каскадный |
| Нива | Имандра, Пинозеро, Плесозеро | Низовой |
| Кемь | Юшкозерское, Кривопорожское, Подужемское, Путкинское | Верховой |
| Ковда | Кумское, Иовское, Княжегубское | Каскадный |
| Кереть | Кереть | Верховой |
| Онега | Лача, Воже | Верховой |
| Выг | Выгозеро, Сегозеро, Ондозеро, Линдозеро | Верховой |
| Воронья | Ловозеро, Серебрянское (верхнее), Серебрянское (нижнее) | Каскадный |
| Тулома | Верхнетуломское | Верховой |
| Кола | Колозеро, Пулозеро, Мурдозеро | Верховой |

На режим рек влияет также ряд других факторов, наиболее существенным из которых являются различия в климате истока и устья. Например, река Умба имеет субмеридиональное направление течения с севера на юг. Длина р. Умба составляет 123 км. В верхнем течении реки самыми многоводными являются летние месяцы. На три летних месяца приходится 33% от годового стока, при этом самый многоводный месяц – июль (16% от годового). Это связано с установлением стабильных

температур выше 0°С лишь в июне и поздним началом таяния снежного покрова. В мае кратковременные оттепели слегка увеличивают сток. Майский сток здесь составляет 7% от годового. Устье реки находится южнее её истока. Здесь раньше устанавливаются положительные температуры воздуха, и половодье сдвигается на более ранние месяцы. Максимальные расходы воды наблюдаются с мая по июль. На майский сток приходится 16% от годового.

Так как большинство крупных рек рассматриваемого региона в той или иной степени искусственно зарегулированы, особое значение для понимания характера изменений стока в связи с климатическими процессами имеют более мелкие, но не подвергшиеся искусственной регуляции озёрно-речные системы.

Одной из таких систем является система р. Кереть. По данным наблюдений за 1931-1965 годы самыми многоводными месяцами для р. Кереть были май, июнь и июль (22%, 14% и 10% от годового стока соответственно). Самые маловодные месяцы – январь, февраль, март. В период наблюдений с 1966 по 1988 годы заметно увеличение стока р. Кереть в холодное полугодие, что соответствует установленному повышению количества осадков в холодное полугодие. Уменьшился процент стока за половодье. Майский сток составил всего 18% от годового по сравнению с 22% в предыдущий период наблюдений (1931-1965 годы), что связано с частичным таянием снега во время зимних оттепелей. Июльский сток увеличился на 7% благодаря обильным летним ливневым осадкам, наблюдавшимся в эти годы.

Существуют также различия в распределении стока р. Кереть внутри года в маловодные и многоводные годы. Различия в месячном стоке в % от годового в годы с различной водностью по данным справочника (Ресурсы..., 1972) показаны на рисунке 4.3. В очень маловодные годы сильнее выражено весеннее половодье и межень. С увеличением водности года сглаживается годовой ход распределения стока. Это связано с тем, что многоводные годы в

регионе в исследуемом периоде были также наиболее тёплыми в череде лет, т.к. связаны с интенсификацией циркуляционных процессов в Северной Атлантике. Господствующие атлантические воздушные массы приносят как влагу, так и тепло. Всё это способствует таянию снежного покрова в зимний период - увеличению меженного стока и уменьшению стока в половодье.

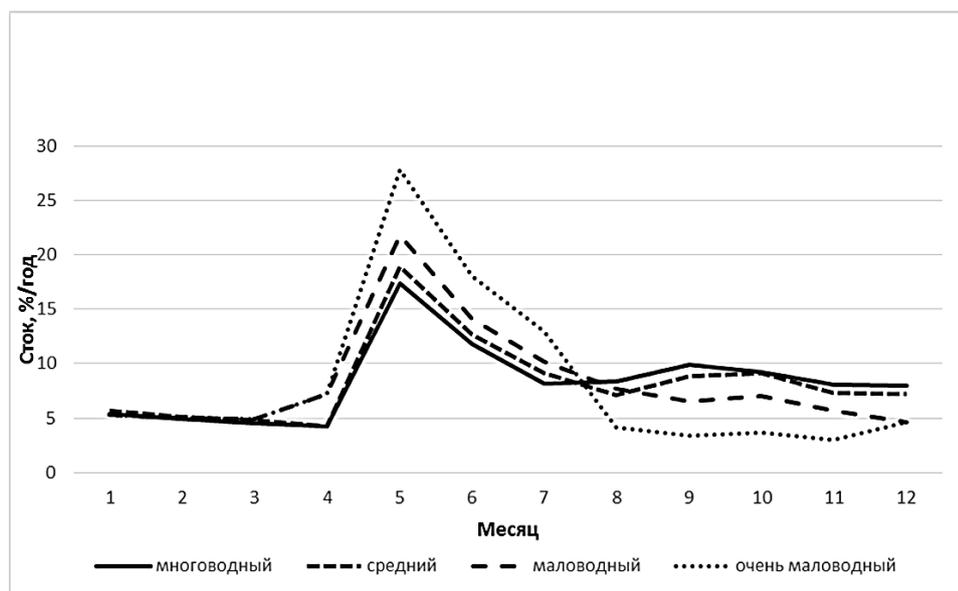


Рис. 4.3. Распределение стока р. Кереть по месяцам в % от годового в годы с различной водностью

Реки Кольского полуострова, не подвергшиеся искусственной регуляции и сохраняющие свой естественный режим, также имеют хорошо выраженное половодье, однако северное положение рек определяет некоторые его особенности. Естественный режим сохранили реки Поной, Кола и Варзуга. На этих реках фиксируется позднее начало половодья с пиком в конце мая – начале июня, меньшая интенсивность и некоторая «растянутость» половодья во времени.

На многих реках западной части водосбора Белого моря и Мурманского берега построены и функционируют каскады ГЭС. Облик этих рек сильно изменён человеком, а сток жёстко контролируется на каждом отрезке реки. Это приводит к более равномерному распределению стока в течение года, менее выраженным периодам половодья и межени, появлению

экстремально высоких или экстремально низких показателей расхода воды, нетипичных для сезона года.

Например, сток реки Ковда за период наблюдений имел тенденцию к увеличению, что объясняется общим увеличением водности рассматриваемого региона. Однако, обращают на себя внимание экстремально низкие или экстремально высокие показатели среднего расхода воды в некоторые месяцы, сильно отличающиеся от нормальных и не имеющие корреляционных зависимостей с климатическими показателями, такими как количество осадков и температура. Наиболее существенное отличие внутригодового распределения стока от нормальных показателей наблюдалось в 1961 и 1982 годах. В 1961 году аномально низкий расход воды наблюдался с января по июль. Это не может быть объяснено малым количеством осадков или аномально высокими температурами. Весь 1961 год был годом повышенной водности. Среднее месячное количество осадков на территории водосбора реки во все месяцы 1961 года было несколько выше многолетних норм. Температуры воздуха в период аномально низких расходов воды также не превышали средних многолетних. Столь значительное снижение расходов воды может быть объяснено лишь искусственным удержанием воды в водохранилище. В 1982 году создалась обратная ситуация, когда наблюдалось аномальное увеличение стока реки в мае и июне. Средний расход воды в июне 1982 года составил $1020 \text{ м}^3/\text{с}$ при норме $303 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 4.4). При этом в 1982 году аномально высокого количества осадков или низких температур, существенно снижающих потери воды на испарение, в летние месяцы не наблюдалось.

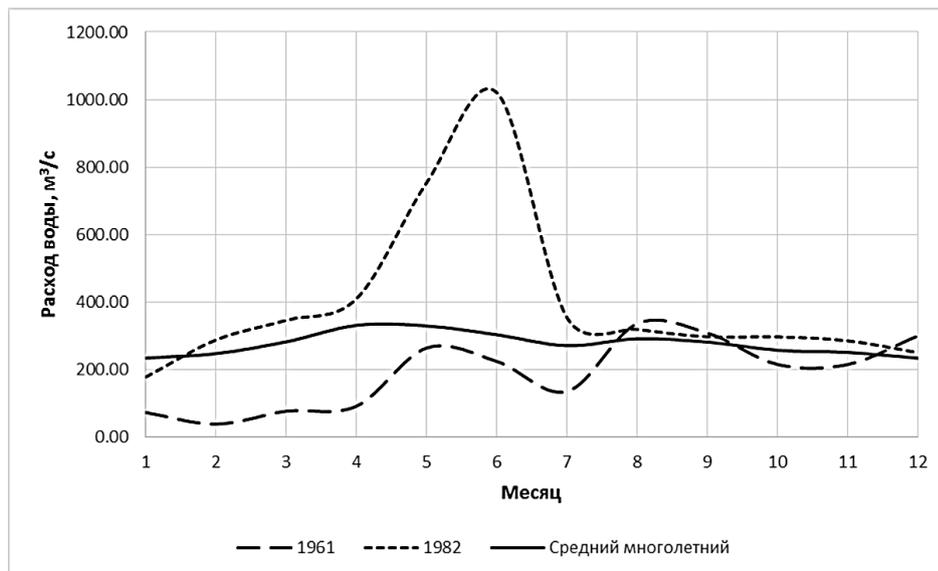


Рис. 4.4. Расходы воды р. Ковда в районе Князегубской ГЭС

В отличие от экстремальных величин расхода воды в отдельные месяцы, искусственность которых не вызывает сомнения, незначительное перераспределение стока внутри годовых интервалов трудно поддается оценке. Воздействие на сток искусственной регуляции и различных климатических колебаний могут иметь как схожий, так и разнонаправленный характер, что затрудняет определение причин изменений стока.

Анализ изменений режима рек, подвергшихся искусственному регулированию, показал, что изменения в среднегодовом стоке воды после постройки ГЭС незначительны (вероятно, связаны с климатическими колебаниями) или отсутствуют. Однако, внутригодовое распределение стока заметно изменилось после ввода ГЭС в эксплуатацию. Для рек региона, получивших гидроэнергетическое освоение, были рассчитаны объёмы стока по гидрологическим сезонам: весеннее половодье (апрель – июль), летне-осенний сезон (август-ноябрь), зимняя межень (декабрь-март). Так как сеть гидрологических постов претерпевала изменения после постройки ГЭС, то для сопоставления использованы посты наблюдений на самих ГЭС и гидрологические посты, ближайšie к ГЭС и существовавшие до их постройки. За начало регуляции каждой из рек принят год ввода в эксплуатацию первой ГЭС на этой реке. На всех зарегулированных реках

отмечается сокращение доли стока за половодье в среднегодовом стоке воды и увеличение меженного стока (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Объекты гидроэнергетики Баренцево-Беломорского региона и их влияние на режим рек

| Река | ГЭС | Расстояние от моря, км | Год ввода | Внутригодовое распределение стока | | | |
|------------|-------------------|------------------------|-----------|---|--------------------|---------------------|---------------|
| | | | | <u>до начала искусственного регулирования, %</u> | | | |
| | | | | <u>при искусственном регулировании, %</u> | | | |
| | | | | Пункт наблюдения | Весеннее половодье | Летне-осенний сезон | Зимняя межень |
| Тулома | Нижнетуломская | 10 | 1937 | Нижнетуломская ГЭС | — | — | — |
| | Верхнетуломская | 63 | 1963 | | 42.1 | 34.3 | 23.6 |
| Териберка | Верхнетериберская | 12 | 1984 | пос.Териберка/Верхнетериберская ГЭС | 63.7 | 26.6 | 9.7 |
| | Нижнетериберская | 0,2 | 1987 | | 53.3 | 28.4 | 18.3 |
| Воронья | Серебрянская-1 | 51 | 1970 | ст.Голицыно/Серебрянская ГЭС-1 | 60.3 | 31.0 | 8.7 |
| | Серебрянская-2 | 26 | 1972 | | 42.2 | 35.1 | 22.7 |
| Нива | Нива ГЭС-2 | 15,4 | 1934 | 1183 км Кировской ж/д / Нива ГЭС-3 | 42.6 | 28.0 | 29.4 |
| | Нива ГЭС-3 | 6,2 | 1950 | | 23.2 | 23.4 | 53.4 |
| | Нива ГЭС-1 | 27,9 | 1953 | | | | |
| Ковда | Княжегубская | 1,2 | 1955 | Между порогами Кузьмин и Семяжье/Княжегубская ГЭС | 45.0 37.4 | 35.6 32.7 | 19.4 30.0 |
| | Иовская | 79 | 1960 | | | | |
| | Кумская | 146 | 1965 | | | | |
| Кемь | Путкинская | 5,7 | 1967 | с.Подужемье/Путкинская ГЭС | 48.0 44.9 | 34.1 33.9 | 17.9 21.2 |
| | Подужемская | 20 | 1971 | | | | |
| | Юшкозерская | 189 | 1980 | | | | |
| | Кривопорожская | 51 | 1991 | | | | |
| Нижний Выг | Маткоженская | 21 | 1953 | пор.Маткожня/Маткоженская ГЭС | 46.2 33.6 | 32.9 34.5 | 21.0 32.0 |
| | Ондская | 76 | 1956 | | | | |
| | Выгостровская | 11 | 1961 | | | | |
| | Беломорская | 5,5 | 1962 | | | | |
| | Палокоргская | 44 | 1967 | | | | |

Наряду с искусственной регуляцией рек современные климатические тенденции (повышение среднегодовой температуры воздуха, участвовавшие зимние оттепели, увеличение количества жидких осадков в холодное полугодие) также способствуют увеличению зимнего и уменьшению весеннего стока.

Объём выноса с водосбора загрязняющих веществ (ЗВ) в различные сезоны года зависит не только от объёма речного стока, его сезонных колебаний и сбросов ЗВ в поверхностные водные объекты. Поступление ЗВ с речным стоком в морскую среду зависит от условий самоочищения рек. Важную роль в самоочищении озёрно-речных систем могут играть проточные озёра. Поэтому важно установить характер водообмена в крупных проточных озёрах. Для крупных озёр и водохранилищ исследуемых озёрно-речных систем был рассчитан коэффициент условного водообмена. Для расчётов были использованы данные справочников (Кашулин и др., 2010а, 2010б; Озёра Карелии, 2013). Результаты расчётов были опубликованы (Булавина, 2017б) и представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Характер водообмена в крупных озёрах и водохранилищах, расположенных в западной части водосбора БЭ Баренцева моря

| Крупные озёра и водохранилища | Площадь зеркала, км ² | Коэффициент условного водообмена | Классификационная категория по (Богословский, Филь, 1984) |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Бассейн р. Умба | | | |
| Умбозеро | 313 | 0.53 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Канозеро | 84.3 | 4.18 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Бассейн р. Нива | | | |
| Имандра | 876 | 0.47 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Пинозеро | 13.6 | - | - |
| Плесозеро | - | - | - |
| Бассейн р. Ковда | | | |
| Кумское | 1910 | 0.65 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Иовское | 294 | 4.22 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Княжегубское | 608 | 2.53 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |

| Бассейн р. Кемь | | | |
|---------------------------|------|-------|--|
| Нижнее Куйто | 141 | 3.1 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Среднее Куйто | 257 | 1.32 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Верхнее Куйто | 240 | 1.28 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Кривопорожское | 69.9 | - | |
| Подужемское | 12 | 406.5 | Сильно проточное (транзитное) |
| Бассейн р. Кереть | | | |
| Кереть | 223 | 0.38 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Бассейн р. Выг | | | |
| Выгозеро | 1251 | 0.79 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Сегозеро | 815 | 0.1 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Ондозеро | 182 | 1.32 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Линдозеро | 45.3 | 20.7 | Умеренно проточное (транзитно-аккумулятивное) |
| Бассейн р. Онега | | | |
| Лача | 356 | 7.4 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Воже | 422 | 3.5 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Бассейн р. Кола | | | |
| Колозеро | 66.3 | 0.38 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Пулозеро | 8.6 | - | |
| Мурдозеро | - | - | |
| Бассейн р. Тулома | | | |
| Верхнетуломское | 745 | 0.53 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Бассейн р. Воронья | | | |
| Ловозеро | 200 | 1.24 | Слабо проточное (аккумулятивно-транзитное) |
| Серебрянское (верхнее) | 566 | 0.8 | Слабо проточное (аккумулятивное) |
| Серебрянское (нижнее) | 26 | - | |

Итак, основная особенность изменений режима озёрно-речных систем водосбора западной части Белого и Мурманского берега Баренцева морей за исследованный период заключается в изменении распределения стока внутри года. Сокращение доли стока за половодье в среднегодовом стоке воды

является как следствием климатических изменений, так и результатом искусственной регуляции рек. При сохранении отмеченных климатических тенденций можно ожидать дальнейшего увеличения объёмов меженного стока и снижения объёмов стока за половодье.

На водосборах исследуемых рек преобладают слабо-проточные (аккумулятивно-транзитные и аккумулятивные) озёра. Слабый внешний водообмен является одним из факторов, способствующих накоплению и преобразованию в озёрах различных растворённых и взвешенных веществ, в том числе антропогенного происхождения. Большое количество таких озёр, расположенных на водосборах рек, может значительно снизить поступление твёрдого стока и растворённых химических веществ в море (Богословский, 1975).

4.2. Бассейны восточной части Белого и юго-востока Баренцева морей

Главными речными системами восточной части Белого моря являются системы рек Северная Двина (длина 744 км (с Сухоной – 1300 км)), площадь водосбора 357000 км²) и Мезень (966 км, 78000 км²). Суммарный сток двух этих рек составляет более 60% всех речных вод, поступающих в Белое море. Юго-восток Баренцева моря находится под влиянием одной из крупнейших рек России – р. Печора (1809 км, 322000 км²).

Реки водосбора восточной части Белого и юго-востока Баренцева морей не имеют на своём протяжении озёр (за исключением малого оз. Нижнекаменское на р. Поной и оз. Кубенское в бассейне Северной Двины), благодаря чему во время весеннего половодья большие объёмы воды сбрасываются в море в короткие сроки (рис. 4.5)

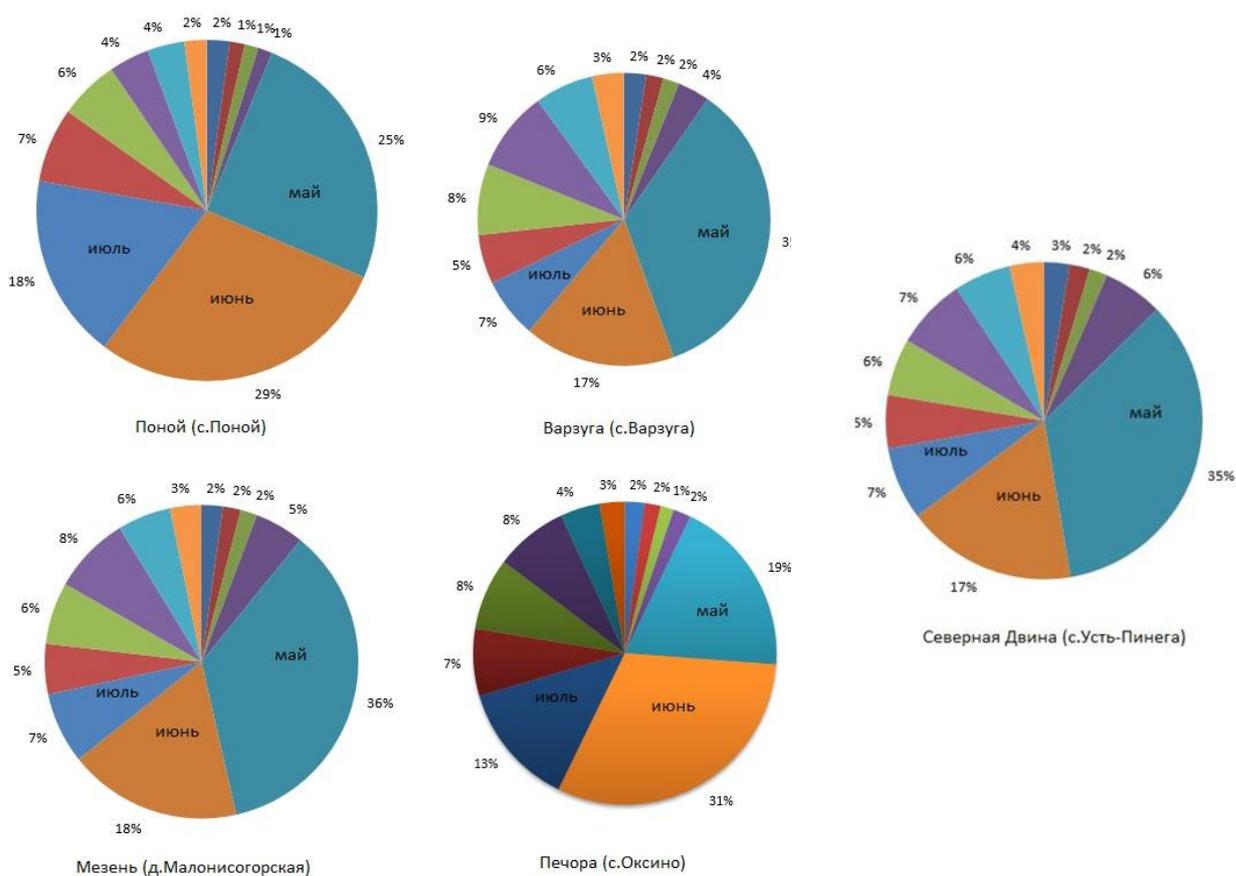


Рис. 4.5. Средний месячный сток в % от годового для рек водосбора восточной части Белого и юго-востока Баренцева морей

Был оценён годовой объём стока с территорий западной и восточной частей водосбора БЭ Баренцева моря. Для этого был рассчитан сток наиболее крупных рек и определён объём стока с неучтенных территорий, расположенных между бассейнами крупных рек. Принимая, что условия формирования речного стока в пределах западной и восточной частей водосбора однородны, в их границах были стоковые характеристики были осреднены. Был вычислен слой стока для крупных рек и определён средний слой стока для западной и восточной частей водосбора. Исходя из среднего слоя стока и зная площадь межбассейновых участков был вычислен годовой сток с их территории. Слой стока для рек с естественным режимом и с искусственным регулированием вычислялся одинаково, принимая, что в многолетнем цикле искусственное регулирование не оказывает влияния на объём стока.

Суммарный сток с неучтенных территорий бассейна западной части Белого моря по расчётным данным составляет 7.69 км³, восточной части Белого моря – 20.14 км³, мурманского берега Баренцева моря - 2.31 км³, юго-восточной части водосбора Баренцева моря – 39 км³. Данные представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Площади водосборов рек бассейна Баренцева и Белого морей и их вклад в величину годового стока

| Название реки | Площадь водосбора, км ² | Годовой приток в море, км ³ | Доля от общего объёма стока в систему морей Белое-Баренцево, % |
|---|------------------------------------|--|--|
| Реки водосбора западной части Белого моря | | | |
| Умба | 6250 | 2.47 | 0.48 |
| Нива | 12800 | 5.17 | 1.00 |
| Ковда | 26100 | 8.69 | 1.69 |
| Кемь | 27700 | 8.82 | 1.71 |
| Кереть | 3660 | 0.94 | 0.18 |
| Калга | 1590 | 0.32 | 0.06 |
| Воньга | 2580 | 0.69 | 0.13 |

| | | | |
|---|--------------|-------------------------------|-------|
| Шуя | 938 | 0.26 | 0.05 |
| Выг | 27100 | 8.27 | 1.61 |
| Онега | 56900 | 15.69 | 3.05 |
| Другие | 25382 | 7.69 | 1.49 |
| Итого | 191000 | 59.01 | 11.47 |
| Реки водосбора восточной части Белого моря | | | |
| Северная Двина | 357000 | 108.15 | 21.02 |
| Мезень | 78000 | 28 | 5.44 |
| Поной | 15500 | 5.32 | 1.03 |
| Кулой | 19000 | 6.63 | 1.29 |
| Другие | 59500 | 20.14 | 3.91 |
| Итого | 529000 | 168.24 | 32.70 |
| Реки западной части водосбора Баренцева моря | | | |
| Кола | 3850 | 1.38 | 0.27 |
| Тулома | 21700 | 7.61 | 1.48 |
| Териберка | 2230 | 1.04 | 0.20 |
| Воронья | 9900 | 3.69 | 0.72 |
| Другие | 89170 | 33.92 | 6.59 |
| Итого | 126850 | 47.64 | 9.26 |
| Реки восточной части водосбора Баренцева моря | | | |
| Печора | 322000 | 148.86 | 28.93 |
| Другие | 66890 | 30.76 | 5.98 |
| Итого | 388890 | 179.62 | 34.91 |
| Малые реки архипелагов | | | |
| Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Шпицберген | Около 120000 | 60 (Комплексные ..., 2011) | 11.66 |
| Итого | | | |
| Баренцево море | 635740 | 287.26 | 55.83 |
| Белое море | 720000 | 227.25 | 44.17 |

По данным работы (Филатов, Тержевик, 2007) суммарный сток рек в Белое море составляет 240 км^3 в год, что несколько выше рассчитанного нами – 227.25 км^3 в год. Это различие можно объяснить использованием нами более ранних данных о стоке рек и увеличением водности региона в текущем климатическом периоде. В более ранней работе, посвященной морям СССР (Добровольский, Залогин, 1982), суммарный годовой приток в Белое море с территории его водосбора был оценён в 215 км^3 .

Около 60% ($35.61 \text{ км}^3/\text{год}$) речного стока с западной части водосбора Белого моря приходится на мелководный Онежский залив, 34% ($19.83 \text{ км}^3/\text{год}$) выносится в Кандалакшский залив и лишь 6% ($3.57 \text{ км}^3/\text{год}$) попадает напрямую в бассейн.

На западную часть Белого моря приходится 26% от всего речного стока в Белое море, на восточную – 74%, что полностью соответствует соотношению площадей водосборов западной и восточной частей моря. Но если в восточной части моря сток имеет большие сезонные различия, то в западной части моря сток распределяется более равномерно в течение года, так как большой объём вод сосредоточен в озёрах.

Оценка стока в Баренцево море вызывает значительно больше затруднений в связи с меньшей изученностью рек водосбора, принадлежностью территории водосбора нескольким государствам, сложностью оценки объёма стока с арктических островов. Сток с архипелагов Новая Земля, Земля Франца-Иосифа и Шпицберген составляет около $60 \text{ км}^3/\text{год}$ (Комплексные..., 2011). Суммарный сток в Баренцево море оценен в 263 км^3 (Гидрометеорология..., 1990), что несколько ниже рассчитанного нами. Однако, это также можно объяснить увеличением водности региона в последние годы.

Сток между западной и восточной частями Баренцева моря также распределён неравномерно: 62% речного стока приходится на реки, впадающие в восточную часть моря, 17% - в западную и 21% - сток с архипелагов.

Большая разница в объёме стока в различные части морей может создавать существенные различия в уязвимости отдельных акваторий к деятельности на водосборе. Эти различия будут особо отчётливо заметны в период половодья, когда различия между стоком с восточной и западной частей объединённого водосбора особенно значительны.

5. РЕЧНЫЕ БАССЕЙНЫ КАК ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНУЮ СРЕДУ БЕЛОГО И ЮГО-ВОСТОКА БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ

5.1. Вклад речного стока в формирование водных масс Баренцева и Белого морей

В зависимости от соотношения составляющих пресноводного баланса складываются принципиально разные условия формирования полей солёности поверхностного слоя. В открытых частях океана и окраинных морях за пределами областей воздействия речного стока её пространственно-временная изменчивость невелика. Так, в поверхностном слое западной части Баренцева моря она устойчиво близка к 35‰ (рис. 1.9). В то же время, различия в солёности вод Печорского моря и участков Белого моря, объём речного стока в которое значителен, хорошо выражены.

В замерзающих морях определённый вклад в пресноводный баланс вносят процессы образования и таяния льда. При годовом осреднении они уравниваются, и только при однонаправленном переносе льдов через границы бассейна их вклад требует отдельной оценки.

Экологическое состояние прибрежных вод в значительной степени зависит от речного стока, так как он действует однонаправленно и сосредоточен на локальных участках. Объектом воздействия речного стока является морская водная масса (ВМ). В изолированных морях она ограничена узкостями проливов и подводными порогами, в морях со свободным водообменном – гидрологическими фронтами. Для оценки переносов и баланса загрязняющих веществ необходимо знать скорость обновления вод. В морских бассейнах можно выделить области аккумуляции (обновление раз в несколько лет) и проточности (смена вод несколько раз в год). Для объективных оценок состояния морской среды необходимы также данные об объёме морских вод в рассматриваемых границах, чему не всегда уделяется должное внимание (Дженюк, 2008).

Дефицит солёности (С) прибрежной ВМ (или всего изолированного бассейна) можно интерпретировать как показатель вклада пресных вод, участвующих в формировании морской среды. Можно оценить долевое участие пресных вод в морской ВМ как:

$$C = (S_0 - S_{\text{ВМ}}) / S_0 \quad (10),$$

где С – дефицит солёности, ед.;

S_0 – солёность ВМ океанического происхождения, епс;

$S_{\text{ВМ}}$ – солёность исследуемой опреснённой ВМ, епс.

Расчёты следует вести по средним характеристикам ВМ. В качестве S_0 принимается солёность ВМ, с которой непосредственно происходит водообмен. Водообмен – это совокупность физических процессов, приводящих к смене воды в водном объекте, замещению воды, находящейся в нем, водой, поступающей в него из сопредельных объектов. Величину водообмена определяют за единицу времени, чаще всего за год (*скорость водообмена*). В балансовых расчётах также важно знать время, за которое в процессе циркуляции обменивается объем воды, равный объему ВМ (*период полного водообмена*) и разность между объемом воды поступающим через морскую границу ВМ за определенный период времени и объемом воды, вынесенным через неё же за этот период (*результатирующий водообмен*).

Величина результирующего водообмена определяется объемом воды, поступающим с речным стоком и осадками, а также расходуемой на испарение, и может быть рассчитана по формуле:

$$W = F + 10^{-5} \times (P - E) \times Q \quad (11),$$

где W – результирующий водообмен, км³/год;

F – речной сток, км³/год;

(P – E) – разность осадки – испарение, измеряемая в см слоя (10⁻⁵ – переводный множитель);

Q – площадь ВМ, км².

Так как постоянство средних многолетних значений солёности при относительном постоянстве объёма ВМ обеспечивается компенсацией прихода пресных вод водообменом на морской границе водной массы, то результирующий водообмен можно выразить через дефицит солёности следующим образом:

$$W = V \times C \times N \quad (12),$$

где V – объём ВМ, км³;

C – дефицит солёности, ед.;

N – кратность полного водообмена ВМ, 1/год.

Уравняв правые части уравнений (11) и (12), можно найти кратность полного водообмена. Зная кратность водообмена и объём ВМ, легко найти скорость и период полного водообмена.

При проведении расчётов, описанных далее, а также в работе при участии автора (Булавина, Дженюк, 2017), были использованы средние многолетние показатели, так как водообмен и обновление водных масс проявляются на продолжительных отрезках времени.

Рассмотрим систему Баренцева и Белого морей. Воздействие речного стока распределено в ней крайне неравномерно. ВМ западной и центральной частей Баренцева моря имеют океаническое происхождение и отличаются высокой однородностью полей солёности при незначительных сезонных и многолетних изменениях. В заливах Белого моря и на юго-востоке Баренцева моря формируются прибрежные ВМ, в той или иной степени подверженные влиянию речного стока.

Оценка интенсивности водообмена для морских заливов, свободно сообщающихся с морем, путем натуральных измерений не представляется возможной. В таких условиях оценка водообмена через рассмотрение дефицита солёности водных масс заливов актуальна.

Речной сток между частями системы Баренцева и Белого морей распределён крайне неравномерно. В западную часть Баренцева моря, относительно более глубоководную, поступает всего 4% всех речных вод с

водосбора. В то же время большой объём материкового стока приурочен к относительно мелководным районам Печорского и Белого морей. Такое неравномерное распределение речного стока и особенности морских течений создают дефицит солёности в прибрежных районах и заливах.

Рассмотрим ВМ указанных заливов с позиции дефицита их солёности. Для этого необходимо определить их границы. В научной литературе классификация и описание ВМ Баренцева и Белого морей проводились неоднократно. ВМ заливов Белого и юго-востока Баренцева морей отделены фронтами и хорошо определяются во все сезоны года. Устойчивые солёностные фронты формируются у входов в Онежский и Двинский заливы Белого моря, температурный фронт - у входа в Мезенский залив (Филатов, Тержевик, 2007). Заметно снижение солёности воды и в вершине Кандалакшского залива. Опираясь на схему водных масс БЭ Баренцева моря (Комплексные..., 2011), в расчётах будем придерживаться следующих границ водных масс заливов (рис. 5.1).

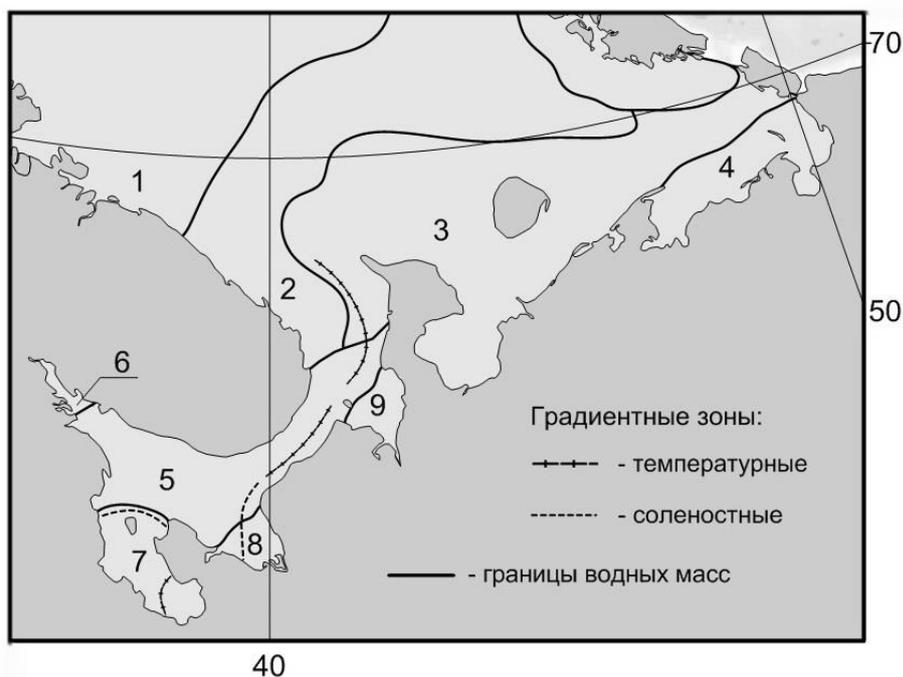


Рис. 5.1. Градиентные зоны и водные массы Баренцева и Белого морей по (Филатов, Тержевик, 2007; Комплексные..., 2011). Водные массы: 1 – атлантическая; 2- баренцевоморская; 3 – канино-колгуевская; 4 – печорская; 5 – беломорская; 6 – кандалакшская; 7 – онежская; 8 – двинская; 9 – мезенская.

Воды Печорского залива имеют пониженную солёность в течение всего года. Однако, зимой сток р. Печора сильно ослабевает и халинный фронт сильно смещается в сторону устьевого взморья. Среднегодовая граница Печорской ВМ показана с учётом морфометрии прибрежной зоны и направлений преобладающих поверхностных течений.

Оценка объёмов ВМ Белого моря проводилась неоднократно и с разной точностью. Объёмы ВМ Баренцева моря до настоящего времени не рассчитывались. Точность таких расчётов относительна, так как критерии разграничения ВМ не однозначны, а границы градиентных зон изменчивы во времени и не поддаются четкому определению. Тем не менее, для целей настоящей работы расчёты объёмов необходимы, так как позволяют оценить вклад речного стока в формирование каждой ВМ в отдельности.

В настоящей работе были выполнены расчёты объёмов воды, заключённых в границах, показанных на рисунке 5.1. Для вычисления объёмов воды, заключённых в указанных границах, были использованы топографические карты масштаба 1:1000000, полностью покрывающие Белое море и батиметрическая карта Баренцева моря масштаба 1:2500000 (ссылки). Было рассчитано распределение площадей по ступеням глубин для каждой водной массы, а затем вычислен их объём (табл. 5.1, табл. 5.2).

Таблица 5.1

Распределение площадей и объёмов водных масс Баренцева моря по ступеням глубин

| Показатели | Глубина, м | | | Всего |
|-------------------------------|------------|---------|---------|-------|
| | 0-100 | 100-300 | 300-500 | |
| Атлантическая | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 23.8 | 158.3 | 126.7 | 308.8 |
| Объём, тыс. км ³ | 1.2 | 31.7 | 50.7 | 83.5 |
| Баренцевоморская | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 67.5 | 303.7 | 67.5 | 438.7 |
| Объём, тыс. км ³ | 3.4 | 60.7 | 27.0 | 91.1 |

| Арктическая | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Площадь, тыс. км ² | 12.1 | 235.0 | 120.5 | 367.5 |
| Объём, тыс. км ³ | 0.6 | 47.0 | 48.2 | 95.8 |
| Земли Франца-Иосифа | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 8.8 | 35.2 | 26.3 | 70.3 |
| Объём, тыс. км ³ | 0.4 | 7.0 | 10.5 | 18.0 |
| Шпицбергенская | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 58.1 | 51.6 | 12.9 | 122.6 |
| Объём, тыс. км ³ | 2.9 | 10.3 | 5.2 | 18.4 |
| Новоземельская | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 28.7 | 38.2 | - | 66.9 |
| Объём, тыс. км ³ | 1.4 | 7.6 | - | 9.1 |
| Канино-Колгуевская | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 46.3 | - | - | 46.3 |
| Объём, тыс. км ³ | 2.3 | - | - | 2.3 |
| Печорская | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 8.4 | - | - | 8.4 |
| Объём, тыс. км ³ | 0.4 | - | - | 0.4 |
| Мурманская | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 4.2 | 0.7 | - | 4.9 |
| Объём, тыс. км ³ | 0.2 | 0.1 | - | 0.4 |
| Баренцево море | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 257.8 | 822.7 | 353.9 | 1434.4 |
| Объём, тыс. км ³ | 12.9 | 164.5 | 141.6 | 319.0 |

Распределение площадей и объёмов водных масс Белого моря по ступеням глубин

| Показатели | Глубина, м | | | | Всего |
|-------------------------------|------------|--------|---------|---------|--------|
| | 0-50 | 50-100 | 100-200 | 200-300 | |
| Беломорская | | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 23.8 | 10.2 | 6.9 | 4.2 | 45.1 |
| Объём, км ³ | 595.9 | 765.2 | 1029.3 | 1061.0 | 3451.5 |
| Мезенская | | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 5.9 | - | - | - | 5.9 |
| Объём, км ³ | 149.6 | - | - | - | 149.6 |
| Двинская | | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 3.9 | 1.3 | - | - | 5.2 |
| Объём, км ³ | 97.6 | 97.5 | - | - | 195.1 |
| Онежская | | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 14.5 | - | - | - | 14.5 |
| Объём, км ³ | 363.3 | - | - | - | 363.3 |
| Кандалакшская | | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 1.5 | 0.2 | - | - | 1.7 |
| Объём, км ³ | 36.6 | 15.7 | - | - | 52.3 |
| Белое море | | | | | |
| Площадь, тыс. км ² | 49.7 | 11.7 | 6.9 | 4.2 | 72.5 |
| Объём, км ³ | 1243.1 | 878.4 | 1029.3 | 1061.0 | 4211.8 |

Баренцево и Белое море сильно различаются по расчленённости рельефа дна и размерам. Поэтому для двух морей были выбраны разные опорные ступени глубин, и вычисления проводились отдельно. Канино-колгуевская и баренцевоморская ВМ частично вторгаются в общепринятые границы Белого моря. Устоявшиеся границы Белого моря не раз подвергались сомнению, и воды Воронки и даже Мезенского залива включали в состав Баренцева моря (Дерюгин, 1923; Бабков, 1998). Нам также представляется логичным включать каждую ВМ в состав одного моря, а не делить её условными границами морей, проведёнными путем соединения

выдающихся береговых точек. Исходя из этих соображений, канино-колгуевская и баренцевоморская ВМ целиком отнесены к Баренцеву морю. Таким образом, площадь и объём Баренцева моря увеличились на 17.5 тыс. км² и 873.3 км³ соответственно, а площадь и объём Белого моря на столько же уменьшились. Зная эти величины, при необходимости легко вычислить площади и объёмы морей в общепринятых границах.

Результаты наших расчётов (табл.5.1, табл.5.2) не выходят за пределы оценок площадей и объёмов морей, полученных другими авторами (Морской атлас, 1953; Фролов, 1971; Океанографическая..., 1974; Бабков, 1998; Филатов, Тержевик, 2007; Комплексные..., 2011).

Основными крупномасштабными факторами, формирующими гидрологический режим баренцево-беломорской системы, являются: приток вод атлантического происхождения через западную границу Баренцева моря; взаимодействие поверхностного слоя с атмосферой, конвективное перемешивание вод в холодный период года и материковый сток. Региональная специфика гидрологического режима обусловлена доминированием вклада тех или иных факторов в разных частях моря.

Количество осадков над акваториями Баренцева и Белого морей соизмеримо с расходом воды на испарение. Показатели осадков и испарения над акваториями заливов были сняты с карт атласа (Атлас океанов, 1980) и пересчитаны на площадь ВМ в исследуемых границах в км³/год (табл. 5.3)

Таблица 5.3

Годовое количество осадков и испаренной влаги с поверхности водных масс Баренцева и Белого морей

| Водная масса | Осадки, км ³ /год | Испарение, км ³ /год |
|---------------|------------------------------|---------------------------------|
| Онежская | 8.7 | 7.06 |
| Двинская | 3.12 | 2.53 |
| Мезенская | 3.54 | 2.87 |
| Кандалакшская | 1.02 | 0.83 |
| Печорская | 5.04 | 4.09 |

В таких условиях ведущим фактором формирования режима солёности является речной сток.

При сравнении объёмов ВМ с объёмом поступающего в них речного стока обнаруживается, что объём стока наиболее значителен по отношению к объёму печорской и двинской ВМ (табл. 5.4). Руководствуясь только этим соотношением, следовало бы предположить, что эти ВМ должны быть наиболее дефицитными по солёности.

Таблица 5.4

Соотношение между объёмом водных масс и объёмом поступающего речного стока

| Водная масса | Объём водной массы, км ³ | Объём стока, км ³ /год |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Печорская | 400 | 148 |
| Мезенская | 150 | 35 |
| Двинская | 195 | 143 |
| Онежская | 363 | 33 |
| Кандалакшская | 52 | 16 |

По материалам океанографической базы данных (Атлас климатических..., 2014) была рассчитана средняя многолетняя солёность ВМ Баренцева и Белого морей. При расчёте дефицита солёности для Баренцева моря отправной точкой служила солёность атлантической ВМ. Её качественные характеристики близки к океаническим, разбавление речным стоком минимально, а средняя солёность отличается постоянством и составляет 34.5 - 35 епс в течение всего года.

Воды, поступающие через западную границу Баренцева моря и имеющие повышенную температуру и солёность, частично переносятся системой течений на север, но большая часть атлантической воды переносится течениями на восток. Разница температур между тёплыми атлантическими водами и холодными водами центральной части Баренцева моря значительна. Благодаря этому здесь образуется Полярный фронт,

отделяющий атлантическую ВМ от баренцевоморской. Средняя солёность баренцевоморской ВМ несколько ниже, чем атлантической, и составляет 34,24 епс. При движении на юго-восток атлантические воды всё сильнее опресняются, захватывая прибрежные воды, разбавленные речным стоком. Существенное снижение солёности происходит при встрече со стоковым течением Тимонова, выносящим воды из Белого моря. К Печорскому морю подходит уже значительно опреснённая канино-колгуевская ВМ со средней солёностью 32.85 епс.

Из Баренцева моря вода попадает в Белое море с постоянным течением Дерюгина, которое движется вдоль Терского берега. К.М.Дерюгин (1923) считал Воронку и Мезенский залив частью Баренцева моря. Основанием для этого служит сходство вод, заполняющих эти районы и свободный водообмен с Баренцевым морем. Исходя из этого, дефицит солёности водной массы Мезенского залива был рассчитан относительно баренцевоморской ВМ, остальных заливов Белого моря – относительно беломорской ВМ.

Рассчитанные средние многолетние (1870-2013) характеристики исследуемых ВМ приведены в таблице 5.5. Так как в доступной нам базе данных количество станций на акватории Белого моря (особенно в зимний период) недостаточно для корректного осреднения, в некоторых случаях были использованы осреднённые данные годовой солёности других авторов (Бабков, 1998; Бергер, 2007; Толстиков, 2016).

Таблица 5.5

Средние многолетние характеристики водных масс заливов Белого и Баренцева морей

| Водная масса | Средняя годовая солёность, епс | Дефицит солёности, ед. | Содержание пресных вод в водной массе, км ³ | Период полного водообмена, год | Скорость водообмена, км ³ /год |
|---------------|--------------------------------|------------------------|--|--------------------------------|---|
| Печорская | 25.60 | 0.22 | 88.28 | 0.60 | 670.59 |
| Мезенская | 25.74 | 0.25 | 37.24 | 1.33 | 112.79 |
| Двинская | 16.77 | 0.38 | 74.42 | 0.69 | 282.99 |
| Онежская | 24.50 | 0.10 | 35.07 | 1.46 | 248.43 |
| Кандалакшская | 26.64 | 0.02 | 0.92 | 0.06 | 904.00 |

Двинская ВМ, является в среднем за год самой распреснённой, что полностью соответствует соотношению между её объёмом и объёмом поступающего в неё речного стока. Средняя годовая солёность печорской ВМ, несмотря на большой объём стока, оказалась сопоставима с солёностью ВМ Мезенского залива, испытывающего на себе постоянное мощное осолонение водами Баренцева моря. Дефицит солёности печорской ВМ оказался не столь значителен в годовом цикле ввиду больших сезонных колебаний стока р. Печора. Климат водосбора Печорского залива значительно более суров, чем климат водосборов заливов Белого моря. Летом печорская ВМ сильно опресняется речным стоком. Сток р. Печора зимой сокращается более чем в 20 раз: в мае Печора приносит 32000 м³/с, а в январе-марте расходы воды не превышают 1500 м³/с. Малые реки водосбора Печорского залива зимой полностью замерзают, и сток в эту область сильно ослабевает. Это обуславливает значительные колебания солёности печорской ВМ по сезонам года.

Другая ситуация складывается в более мягком климате водосбора Белого моря. Расходы рек этой области зимой сокращаются не столь значительно. Благодаря постоянной подпитке речными водами ВМ заливов сохраняют пониженную солёность в течение всего года.

Как видно из таблицы 5.5, наиболее застойными являются Онежский и Мезенский заливы. Этому способствует сочетание морфометрии и небольших объёмов речного стока. В Двинском заливе и устьевой области Печоры обновление вод происходит в 2-2.5 раза быстрее. Кандалакшский залив является практически проточным. Это служит подтверждением отсутствия необходимости выделения прибрежной ВМ Кандалакшского залива, что ранее было обосновано только экспертной оценкой (Комплексные..., 2011). Схожие результаты были получены в работе (Chernov, Tolstikov, Yakovlev, 2017) по результатам численного моделирования распространения примеси в Белом море. Было выявлено два района, удерживающих примесь существенно дольше по сравнению с

другими участками акватории - Онежский и Мезенский заливы. По результатам моделирования, сначала концентрированная примесь распределяется по всей акватории моря, затем наблюдается снижение концентрации в Кандалакшском и Двинском заливах. Вещество рассеивается и выносится из моря, оставаясь заметным в Онежском и Мезенском заливах, у Терского берега.

Оценка водообмена между исследуемыми заливами и акваторией открытого моря ранее не проводилась. Для оценки корректности наших результатов применительно к арктическим морям, рассчитаем при помощи показателя дефицита солёности водообмен между Белым и Баренцевым морем. Пресноводный баланс Белого моря составляет около 240 км^3 при объёме моря 6000 км^3 (Филатов, Тержевик, 2007). Принимая среднюю солёность Баренцева моря – 34 епс, а беломорских вод – 27 епс, получаем долю пресных вод около 21% и кратность водообмена 1 раз в 3.5 года. Это приводит нас к скорости водообмена около 1700 км^3 в год. Для Белого моря можно встретить оценки скорости водообмена от 2200 (Гидрометеорология..., 1991б) до 4000 км^3 в год (Елисов, 1985).

5.2. Источники загрязнения Баренцева и Белого морей

Моря, являясь зонами преобладания процессов аккумуляции, являются своеобразными «накопителями» загрязняющих веществ. В роли поставщиков загрязняющих веществ выступают материковый сток, воздушный перенос, судоходство и портовая деятельность, а также разработка подводных месторождений полезных ископаемых.

Вклад различных источников в загрязнение морей напрямую зависит от уровня социально-экономического развития и промышленной специализации регионов, расположенных в пределах их водосборов.

Хозяйственная деятельность на водосборе Баренцева и Белого морей имеет индивидуальные особенности специализации внутри отдельных административных единиц. В Мурманской области основными источниками загрязняющих веществ являются предприятия горнодобывающей и металлургической промышленности. В водные объекты Кольского полуострова поступают сточные воды со следующих предприятий: АО «Кольская ГМК», АО «Ковдорский ГОК», ООО «Ловозерский ГОК», АО «Олкон», АО «Апатит», КАЗ «СУАЛ». Атмосферные выбросы и сточные воды предприятий содержат большое количество тяжёлых металлов, диоксидов азота и серы.

На материковой части Европейского Севера России специализация производств иная. Ключевую роль в экономике Архангельской и Вологодской областей, а также республик Карелия и Коми играют предприятия целлюлозно-бумажной, лесной и деревообрабатывающей промышленности. Крупнейшими предприятиями лесопромышленного комплекса, расположенными на водосборе Белого моря, являются АО «Сегежский ЦБК», ООО «ЛДК Сегежский», ОАО "Архангельский ЦБК", АО "Монди Сыктывкарский ЛПК", ОАО "Группа "Илим" (г. Коряжма), ПАО "Сокольский ЦБК", ООО "Сухонский ЦБК". Роль горнодобывающей и металлургической промышленности здесь не столь велика. Из крупных предприятий металлургии следует выделить АО «Карельский окатыш»,

Надвоицкий алюминиевый завод РУСАЛ. Соответственно, и набор ингредиентов, попадающих в поверхностные водные объекты и воздушную среду этих административных единиц, иной (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Основные районы загрязнения на водосборе Баренцева и Белого морей (Лукин, 2013)

| Район | Источники загрязнения | Приоритетные загрязняющие вещества |
|-----------------------|---|--|
| Западно-Кольский | Цветная металлургия, горнодобывающая промышленность | Диоксиды азота, пыль, тяжелые металлы (Cu, Ni, Co), фтористый углерод |
| Центрально-Кольский | Цветная металлургия, горнодобывающая промышленность, АЭС, транспорт | Диоксиды серы и азота, тяжелые металлы (Cu, Ni, Co, Pb, Cr), пыль, стронций, фосфор, радионуклиды |
| Беломорско-Карельский | Целлюлозно-бумажная промышленность, лесопромышленный комплекс | Диоксиды углерода, азота, серы, метилмеркаптан, лигносульфаты, метанол, ртуть, фурфурол, фенолы |
| Архангельский | Целлюлозно-бумажная промышленность, машиностроение, ЛПК, теплоэнергетика, транспорт | Диоксиды углерода, азота, серы, тяжёлые металлы, лигносульфаты, метилмеркаптан, фенолы, формальдегид, ПАУ, метанол |
| Тимано-Печорский | Добыча и транспортировка углеводородного сырья | Нефтепродукты, диоксиды углерода, азота, серы, тяжёлые металлы, ПАУ |

Промышленность на водосборе Баренцева и Белого морей получила активное развитие в связи с необходимостью освоения минеральных ресурсов. На водосборе функционирует множество предприятий, использующих поверхностные водные объекты на основании договоров водопользования (табл. 3.3, табл. 3.4). Многие предприятия осуществляют

различные типы водопользования, а также одновременно эксплуатируют сразу несколько водных объектов.

Следует учитывать также некоторое количество несанкционированных водопользователей. Их воздействие на водные объекты может быть более существенно, чем воздействие предприятий, действующих в рамках закона, однако оценить его невозможно.

В условиях постоянно ужесточающихся требований к охране окружающей среды, объёмы сбросов сточных вод без очистки сокращаются (Государственный доклад..., 2016а). Тем не менее, существующие очистные сооружения не всегда способны произвести качественную очистку сточных вод (рис. 5.2) (Булавина, 2017в).

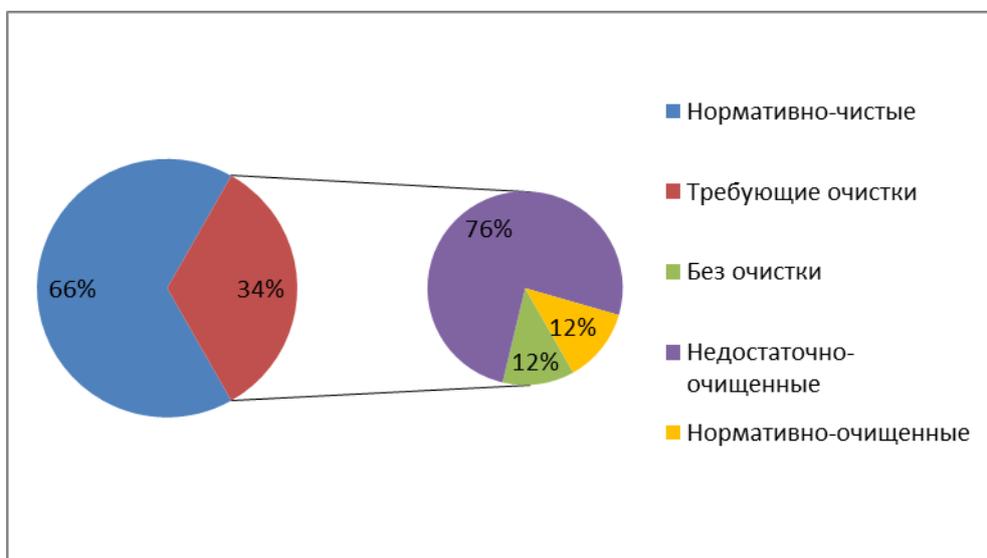


Рис. 5.2. Сброс сточных вод различной степени очистки в поверхностные водные объекты Баренцево-Беломорского бассейна

Повсеместно значительную роль в поступлении загрязняющих веществ в водные объекты также играют коммунально-бытовые стоки и совокупные промышленные стоки небольших предприятий, расположенных в городах.

Вынос загрязняющих веществ с материковым стоком изучен наиболее хорошо, по сравнению с другими источниками загрязнения морей. Однако, регулярные наблюдения за качеством поверхностных вод по гидрохимическим показателям ведутся только на крупных реках. Если при

расчёте выноса загрязняющих веществ исходить из объёма стока рек и качества речных вод по гидрохимическим показателям, то вынос загрязняющих веществ через створы мелких рек и в результате деятельности на морском побережье остается неучтенным.

Косвенно оценить вклад небольших рек и прибрежных хозяйств в загрязнение морей можно, рассчитав объём сточных вод, сбрасываемых на водосборах малых рек и напрямую в море. Был рассчитан объём сточных вод, сбрасываемых на водосборы малых рек и напрямую в Баренцево и Белое моря из прибрежных населенных пунктов. Всего на побережье и между бассейнами крупных рек расположено 38 населенных пунктов с общей численностью населения 357460 человек (Всероссийская перепись..., URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm).

Предприятий промышленности в этих населённых пунктах нет, поэтому были учтены только коммунально-бытовые стоки. Расчёты производились по СНиП 2.04.02-84, исходя из численности населения и норм водоотведения на одного жителя в зависимости от степени благоустройства районов жилой застройки. В основном это небольшие сельские поселения с общими водозаборными колонками, с застройкой зданиями без канализации или с внутренним водопроводом и канализацией без ванн.

Согласно СНиП 2.04.02-84, водоотведение в расчёте на одного человека определяется в соответствии с нормами, приведёнными в таблице 5.7.

Нормы водоотведения в зависимости от степени благоустройства районов жилой застройки

| Степень благоустройства районов жилой застройки | Удельное водоотведение в среднем за год на одного жителя, л/сут |
|--|---|
| Застройка зданиями без канализации | 25 |
| Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией без ванн | 125-160 |
| То же с ваннами и местными водонагревателями | 160-230 |
| Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом, канализацией и системой централизованного горячего водоснабжения | 230-350 |

Согласно проведённым расчётам, с территорий рассмотренных поселений в Баренцево и Белое моря поступает около 28 млн.м³/год сточных вод, что составляет менее 1% всех сточных вод с водосбора. Небольшое количество сточных вод и отсутствие промышленных стоков позволяет признать этот источник поступления загрязняющих веществ незначительным, сравнимым с погрешностями подсчёта, а оценку вклада речного стока в загрязнение этих морей корректной даже при отсутствии учета вклада стоков непосредственно с побережья.

Воздушный перенос с водосбора и из-за его пределов является источником загрязнения вод арктических морей. Арктические аэрозоли содержат загрязнители различной природы, источники которых могут быть расположены за тысячи километров от мест их обнаружения. Нельзя пренебрегать воздействием атмосферного переноса от промышленных центров Европы на Баренцево и Белое моря. Однако, в качестве основных источников загрязнения атмосферы над этими морями логичнее рассматривать ближайšie к ним крупные комплексы горнодобывающей и металлургической промышленности, расположенные на Кольском полуострове (Виноградова, 2004; Шевченко и др., 2010).

Исходя из характера хозяйственной деятельности на водосборе и акватории морей, наиболее вероятно загрязнение морских вод тяжёлыми металлами и нефтепродуктами. Согласно работе А.А. Виноградовой с соавторами (Виноградова, Максименков, Погарский, 2008), вклад атмосферного переноса только со стороны антропогенных источников Кольского полуострова в поступление никеля, меди, кадмия и мышьяка в воды Белого и Баренцева морей преобладает над вкладом речного стока. Причём концентрации тяжёлых металлов в составе аэрозолей в удалённых от суши районах находятся на фоновом уровне и резко возрастают вблизи суши при поступлении воздушных масс со стороны промышленных центров. По результатам измерений тяжёлых металлов в атмосферных аэрозолях арктических морей, уровни концентраций Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Co, Cr в атмосферном воздухе над Белым и Баренцевым морями значительно ниже значений ПДК (Голубева, Матишов, Бурцева, 2002; Голубева и др., 2013). Авторы также отмечают, что Белое море более подвержено влиянию со стороны источников эмиссии, расположенных на Кольском полуострове, чем Баренцево. Области наибольшего влияния атмосферного переноса совпадают с областями воздействия речного стока, что следует иметь в виду при оценке вклада различных источников поступления ЗВ в формирование гидрохимической структуры морских вод.

Морское судоходство, использование подводных нефтегазовых ресурсов, портовые сооружения и деятельность на побережье также оказывают загрязняющее воздействие на морские воды. При эксплуатации морских судов в моря могут поступать следующие виды загрязнителей: нефтепродукты (топливо, смазочные масла, нефтесодержащие льяльные воды), балластные воды с различным химическим составом, ядовитые вещества из противоположающихся покрытий. Также существует вероятность загрязнения при погрузочных операциях, в результате утечек при перевозке различных веществ, аварийных выбросов и выбросов при разработке нефтегазовых месторождений.

На рисунке 5.3 показаны основные источники загрязнения, расположенные непосредственно на акватории Баренцева и Белого морей.

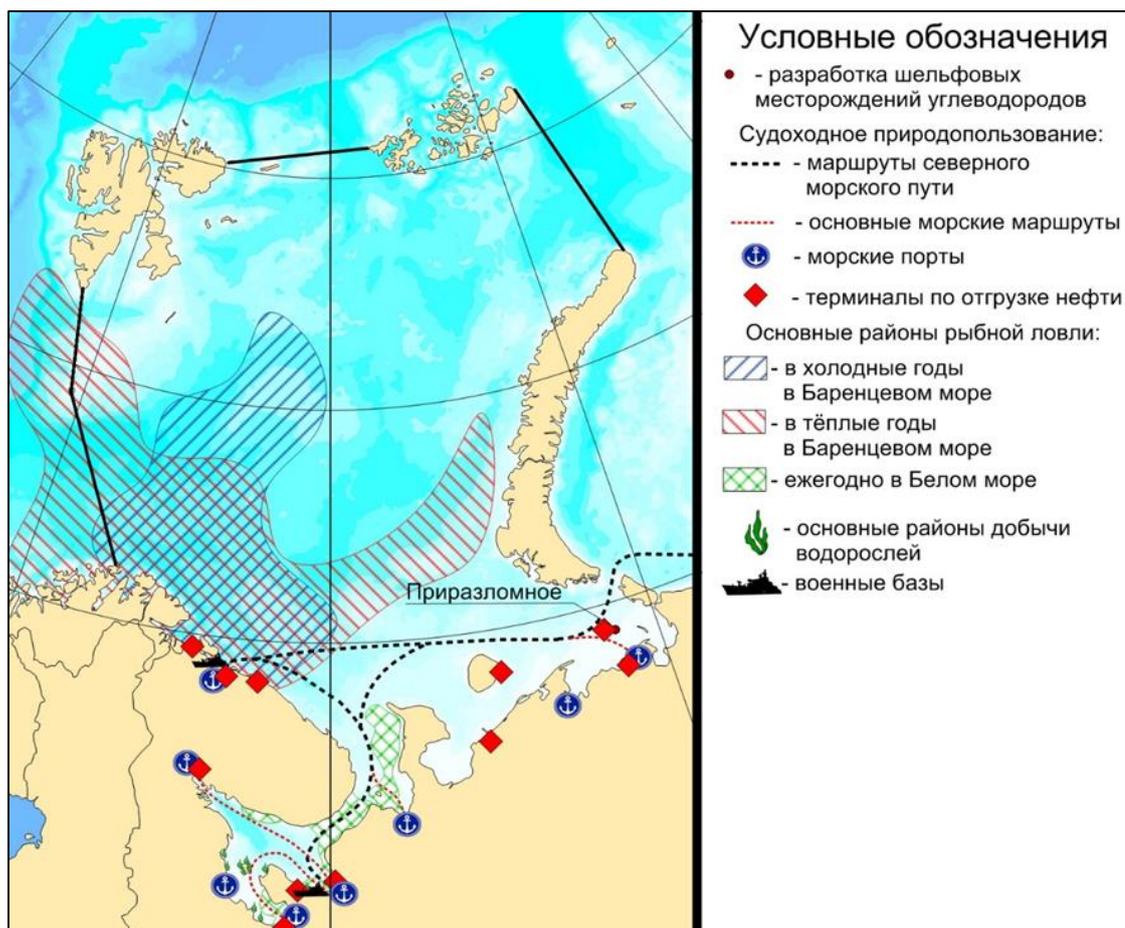


Рис. 5.3. Природопользование на акватории Баренцева и Белого морей

Активная круглогодичная навигация в Баренцевом море и продолжительный навигационный период в Белом море предполагают воздействие судоходства на качество морских вод. Значительный поток судов через Баренцево и Белое моря обуславливается, во-первых, прохождением по их акваториям Северного морского пути; во-вторых, промышленным рыболовством; в-третьих, эксплуатацией шельфового месторождения Приразломное и необходимостью транспортировки добываемой нефти.

Порты являются мощными источниками загрязнения морских вод. Поступление загрязняющих веществ в морскую среду вблизи портов происходит за счёт обслуживания и бункеровки морских судов, потерь

нефтепродуктов при операциях погрузки-выгрузки. Акватории вблизи портов также являются участками с наибольшей ежедневной проходимостью морских судов, что создает локальную повышенную экологическую нагрузку.

Также наиболее судоходными являются районы промышленного рыболовства. Существуют различия в промысловой значимости районов Баренцева моря в теплые и холодные годы. Общая тенденция заключается в следующем: в холодные годы промысел ведется преимущественно в прибрежье Мурмана и в южной части моря, а в теплые годы наибольшую промысловую значимость приобретают северо-западные районы моря и районы от прибрежья Мурмана на восток до Гусиной банки (Жичкин, 2014а, 2014б).

Объёмы поступления загрязняющих веществ в морскую среду в результате судоходства трудно поддаются оценке и, чаще всего, не находят количественного выражения. Большинство авторов отмечает лишь, что такой источник загрязнения имеет место. При попытках оценить роль судоходства в загрязнении морей, чаще всего оценивают только выбросы нефтесодержащих вод. При этом зачастую объём выбросов нефтесодержащих вод приравнивается к выбросу нефти. Для судна с водоизмещением 2000 т выброс нефти с льяльными водами был оценён (Айбулатов, 2005) в 60 л на милю пути или 10 т за 25 ходовых суток, что приводит нас к явно завышенной цифре в 146 т/год для одного такого судна. Поступление нефти в результате сброса льяльных вод с судов по трассе Северного морского пути оценивается в 50-200 т за одну навигацию (Лебедева, 2001). По другим оценкам (Status Report..., 1997), этот вклад менее 1.5 т/год. Другие загрязняющие вещества, попадающие в моря при эксплуатации морских судов, обычно остаются вовсе без внимания. Была предпринята попытка количественно оценить вклад судоходства в загрязнение Баренцева и Белого морей.

Было рассчитано количество ЗВ, способных попасть в Баренцево и Белое моря с льяльными водами рыбопромысловых судов (Булавина, 2018а, 2018б). Исходя из интенсивности судоходства, годового объёма льяльных вод и их среднего состава, был рассчитан годовой выброс различных загрязняющих веществ в море (табл. 5.8)

Таблица 5.8

Поступление загрязняющих веществ в Баренцево и Белое моря с льяльными водами рыбопромысловых судов (Булавина, 2018а, 2018б)

| Наименование показателя | Концентрации загрязняющих веществ в льяльных водах судов, мкг/л (Исаков, Касперович, 2007; Клёнкин, 2007) | Средний годовой выброс в море, кг |
|-------------------------|---|-----------------------------------|
| Fe | 17 | 0.35 |
| Zn | 8.2 | 0.17 |
| Ni | 71 | 1.48 |
| Cu | 1.5 | 0.03 |
| Pb | 2.6 | 0.05 |
| Cd | 0.1 | 0.002 |
| Азот | 500 | 10.41 |
| Нитриты | 20 | 0.42 |
| Нитраты | 30 | 0.62 |
| Фосфаты | 300 | 6.25 |
| АПАВ | 2500 | 52.06 |
| НФПР | 20000 | 416.44 |

При использовании данных информационного сервиса отслеживания судов на карте мира со спутников в режиме реального времени (Marine Traffic: Global Ship Tracking Intelligence. URL: <http://izobata.ru/otslezhivanie-sudov-na-karte-mira-so-sputnikov-v-rezhime-realnogo-vremeni/>) была оценена доля российских рыбопромысловых судов в структуре судоходства в Баренцевом и Белом морях. Доля рыбопромысловых судов в общей структуре морского транспорта Баренцева и Белого морей составляет около 50%. С учётом большого водоизмещения грузовых судов, объём льяльных вод рыболовного флота может составлять менее половины всех льяльных вод флота. В таком случае, поступление загрязняющих веществ с льяльными водами судов, может быть 2-3 раза выше рассчитанного. Даже с учётом этого, полученные значения поступления нефти с льяльными водами судов

оказались значительно меньше оценок Е.С. Лебедевой (2001) и Н.А. Айбулатова (2005), и хорошо соотносятся только с оценкой (Status report..., 1997). Данных для сравнения по другим загрязнителям нет. Поступление загрязняющих веществ с льяльными водами судов, согласно нашим расчётам, не велико.

Однако, следует учитывать поступление в морские воды загрязняющих веществ при портовых операциях и транспортировке различных грузов. Наиболее вероятны утечки при транспортировке жидких веществ. Нефть и нефтепродукты относятся к наиболее распространенным жидким загрязняющим веществам. Более 20% всех потерь нефти происходит в результате транспортировки (включая погрузку-выгрузку) (Носков, Правдивец, 2004; Блиновская, 2006). По разным оценкам, из каждого миллиона тонн нефти, перевозимой танкерами, проливается от 30 (Патин, 2009) до 160 тонн (Айбулатов, 2005). Годовой объём перевозки нефти по акватории Баренцева и Белого морей (по данным Bergen Bunkers AS) составляет около 40 млн. тонн. Следовательно, потери при перевозках можно оценить в интервале от 1200 до 6500 т/год. Вероятно, что наибольшие потери происходят при погрузочных операциях. Об этом косвенно свидетельствуют исследования качества вод морей. Баренцево море относится к числу наиболее чистых акваторий Мирового океана (Химические процессы..., 1997; Status report, 1997; Лисицын, Фролов, 2001; Матишов, Ильин, 2006). Однако, это правомерно только по отношению к открытым водам. Распределение углеводородов характеризуется нарастанием концентраций при переходе от пелагических областей к прибрежным водам, и ещё большим нарастанием концентраций в портах (Немировская, 2004).

Аварийные разливы нефти при её транспортировке и при эксплуатации нефтедобывающих платформ – это теоретические угрозы, однако предварительная оценка возможных последствий для окружающей среды также имеет важное прикладное значение. Аварийные разливы нефти на объектах и маршрутах нефтетранспортной системы в Баренцевом и Белом

морях оцениваются как относительно частые (вероятные) события. По оценке (Патин, 2009) небольшие разливы нефти (7 - 700 т) в открытом Баренцевом море при транспортировке случаются с частотой 1 раз в 33 года, значительные разливы (более 700 т) – раз в 150 лет. Частота малых разливов (1 - 10 т) в портах и терминалах при отгрузке нефти – один раз в 5 лет, средних разливов (10 -100 т) – раз в 20 лет, крупных (более 100 т) – раз в 110 лет.

Выбросы нефти при разработке подводных месторождений невелики. Вклад от аварийных утечек нефти при бурении и эксплуатации скважин составляет всего 2-4% от всех потерь. На основании мировой статистики было посчитано, что аварийные потери составляют около 100 кг нефти на одну платформу в год, или 0.5 т на 1 млн. т добываемой нефти (Патин, 2009). В Баренцевом море, на сегодняшний день, единственным действующим проектом по добыче углеводородов на шельфе является месторождение Приразломное. Добыча нефти на Приразломном месторождении началась в декабре 2013 года. В 2014 году на Приразломном было добыто около 300 тыс. т нефти, в 2015 году эта цифра была увеличена более чем 2.5 раза (Приразломное месторождение. Газпром. <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/pnm/>). То есть, статистически нефтедобывающая платформа «Приразломная» в ходе аварийных ситуаций может выбросить в море около 1 т нефти ежегодно.

Нефть содержит в своём составе некоторое количество тяжёлых металлов. Однако, концентрация тяжелых металлов в нефти такова (несколько мкг/л), что нельзя считать этот источник поступления тяжелых металлов значимым.

В результате проведенной работы было выявлено, что вклад речного стока и атмосферного переноса в загрязнение Баренцева и Белого морей тяжёлыми металлами – это величины одного порядка, вклад морского транспорта в загрязнение морских вод тяжёлыми металлами ничтожно мал. Вклад судоходства в загрязнение Баренцева и Белого морей

нефтепродуктами происходит в основном за счёт потерь при отгрузке нефти. Эксплуатация судов при строгом соблюдении природоохранных ограничений судоходства, контроле утечек при транспортировке грузов и отсутствии аварий не может оказывать сильного влияния на качество вод морей.

5.3. Качество речных вод и их воздействие на водную среду Баренцева и Белого морей

Речной сток является одним из наиболее доступных видов водных ресурсов, но и одним из наиболее уязвимых. Качество речных вод не может не сказываться на состоянии морских экосистем, служащих конечным приёмником приносимых с суши загрязняющих веществ.

Были проанализированы данные о состоянии водных ресурсов на водосборе Баренцева и Белого морей за 2010-2015 годы (Государственные доклады..., 2010-2016; Доклад..., 2009-2016; Качество поверхностных..., 2016), а также данные о качестве морских вод по гидрохимическим показателям (Качество морских..., 2005-2016; Комплексные исследования..., 2007). Результаты анализа подробно изложены в работах (Булавина, 2017в; Булавина, 2017г).

Наиболее распространёнными загрязняющими веществами, попадающими в реки водосбора Баренцева и Белого морей, являются соединения никеля, меди, железа, молибдена, а также марганец, ртуть, алюминий, дитиофосфат крезиловый, аммонийный и нитритный азот, органические вещества (по БПК₅ и ХПК).

Превышение ПДК некоторых веществ в речных водах может быть объяснено их вымыванием из слагающих горных пород. Характерной особенностью водных объектов региона является высокое содержание в природных техногенно незагрязнённых водах ионов металлов, таких как медь, железо, марганец, а также фенолов. Природные повышенные концентрации металлов в водных объектах, не находящихся под влиянием промышленных стоков, наблюдаются в меженные периоды, когда питание осуществляется преимущественно грунтовыми водами (Доклад о состоянии..., 2009-2014).

Анализ превышений ПДК загрязняющих веществ в реках региона показал, что большинство рек загрязнено по единичным ингредиентам. Чаще всего загрязнение рек региона связано с превышением ПДК железа и меди.

Это связано как с фоновыми концентрациями данных элементов в воде, так и с влиянием промышленности (в первую очередь горнодобывающей). Фоновыми можно считать концентрации меди, превышающие ПДК в 2-8 раз и концентрации железа на уровне 4 ПДК, наблюдаемые на реках, удалённых от производств и мест добычи полезных ископаемых. В то же время в водах рек, испытывающих сильное антропогенное влияние, концентрации железа могут достигать 14 ПДК (р. Вирма), меди – 60 ПДК (р. Ньюдай) (Качество поверхностных..., 2016).

Самые загрязнённые реки исследуемого водосбора расположены на Кольском полуострове. Это небольшие реки, являющиеся местами сбросов сточных вод крупных горнодобывающих предприятий и массовых сбросов сточных вод с различных предприятий г. Мурманск. Это реки Ньюдай, Хауки-лампи-йоки, Можель, Роста, Белая, ручей Варничный. Они являются экстремально грязными по комплексу ингредиентов и показателей качества воды. Несмотря на это, их вклад в загрязнение морей не столь значителен. Большая часть ЗВ поступает в Белое и Баренцево моря с крупными реками восточной части водосбора. Водность рек Кольского полуострова невелика, что обуславливает малое разбавление ЗВ и быстрое снижение качества речных вод. В абсолютных же величинах количество загрязняющих веществ, выносимых ими в море не столь значительно. В то же время, реки бассейна восточной части Белого и юго-востока Баренцева морей отличаются значительным годовым стоком, и даже при относительно невысоких концентрациях ЗВ, в абсолютных величинах их количество может быть велико (табл. 5.9).

Среднегодовое поступление (тонн) загрязняющих веществ через замыкающие створы некоторых рек водосбора Баренцева и Белого морей (Государственный доклад..., 2010а)

| Загрязняющее вещество | Патсойоки | Кола | Онега | Северная Двина | Мезень | Печора |
|-----------------------|-----------|-------|--------|----------------|--------|---------|
| Cu | 17.2 | 4.21 | 118 | 559 | 125 | 732 |
| Zn | 32.6 | 5.43 | 485 | 2090 | 470 | 2870 |
| Ni | 34.5 | - | 6.2 | 67.4 | 6.49 | 197 |
| Hg | 1.43 | - | 30.2 | 44.5 | 44.7 | 171 |
| Pb | 95.7 | 14.1 | 1320 | 3100 | 590 | 8640 |
| Mn | - | - | 14.5 | 69.4 | 1.9 | - |
| Fe _{общ.} | 134 | 179 | 6520 | 27600 | 7430 | 90000 |
| Нефтепродукты | 39 | 12 | 758 | 2000 | 677 | 12100 |
| Орг.вещество | 25500 | 18600 | 502000 | 2250000 | 323000 | 2100000 |
| Азот минеральный | 155 | 52 | 2370 | 15400 | 1220 | 24700 |

Особенности гидрографической сети способны частично ослабить негативное воздействие загрязненных вод. Способность рек Кольского полуострова и Карелии к ассимиляции загрязняющих веществ высока ввиду высокой озёрности их водосборов (Булавина, 2017б). При наличии источника загрязнения в верхнем или среднем течении таких рек, качество речных вод в нижнем течении остаётся высоким. Крупные реки восточной части водосборного бассейна БЭ Баренцева моря, напротив, не имеют крупных озёр на своём протяжении, что создаёт условия для разноса загрязняющих веществ от верхнего течения к нижнему и выносу их в море.

Качество воды в крупных реках региона ухудшается в связи с активным водопользованием. Воды большинства крупных рек по значению удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ) характеризуются как загрязнённые и сильно загрязнённые. Классы качества воды в реках (Государственные доклады..., 2010-2016; Доклад..., 2009-2016; Качество поверхностных вод..., 2016) показаны на рис. 5.4.



Рис. 5.4. Качество воды (по УКИЗВ) в реках Баренцево-Беломорского бассейна (по данным: Государственные доклады..., 2010-2016; Доклад..., 2009-2016; Качество поверхностных вод..., 2016)

Загрязнители распространяются от устьев рек в открытое море, где происходит постепенное разбавление и перераспределение в морской среде.

До 90-95% взвешенных форм элементов и от 5-10 до 80% (для разных элементов) их растворённых форм осаждаются в устьях рек и в конусах выноса, то есть в зонах маргинальных фильтров (Лисицын, 1977). Таким образом, воздействие загрязняющих веществ на экосистемы моря убывает в направлении морской акватории. Однако депонированные в донных отложениях вещества могут повторно попадать в воду при высвобождении

их из грунта под действием приливных течений или сильного ветрового волнения.

Прибрежные морские акватории являются наиболее важными с хозяйственной точки зрения участками моря. На побережье располагается множество населённых пунктов, портов, объектов марикультуры, что создает дополнительную антропогенную нагрузку на прибрежные акватории.

В настоящее время, ощущается острая нехватка данных о качестве вод Белого и Баренцева морей по гидрохимическим показателям. Количество станций мониторинга морской среды в этих морях крайне мало, и если в Белом море число станций оставалось малым, но неизменным, на протяжении последних 7 лет, то в Баренцевом море оно значительно сократилось за последние годы. К наиболее исследованным районам относятся Кольский залив Баренцева моря, Двинский и Кандалакшский заливы Белого моря. Учитывая малое количество станций и малое количество измерений, осреднение и последующая оценка уровня загрязнения морских вод за границами указанных заливов в предыдущие годы проводились в пределах довольно обширных акваторий (Комплексные исследования..., 2007; Качество морских вод..., 2005-2016). Такой подход является недостаточно информативным, хотя и оправданным в условиях дефицита натуральных данных. Также становится недоступным один из основных методов установления закономерностей - картографирование уровней загрязнения морских акватории.

Ввиду недостатка натуральных данных о качестве морских вод, находят применение подходы, основанные на анализе данных об антропогенной нагрузке на водосборы и качестве речных вод. Согласно работе Н.А. Кадашовой (2011), состояние вод отдельных акваторий Белого моря по уровню загрязнения может быть оценено как критическое. Авторы другой работы (Толстикова, Чернов, 2014) отмечают, что антропогенное воздействие на Белое море и его последствия для экологического состояния водоёма значительны. Наиболее сильное воздействие оказывается в устье р. Северная

Двина, в вершине Кандалакшского залива, вдоль Поморского и Зимнего берега. И хотя экосистема моря пока не претерпевает катастрофических изменений, при сохранении существующих тенденций антропогенного влияния в регионе, экологическая ситуация будет ухудшаться. Также отмечается ухудшение качества вод Кольского залива Баренцева моря (Кольский залив..., 2009).

Основным источником загрязнения для Белого моря принято считать речной сток. Источниками загрязнения вод для Баренцева моря обычно называют адвекцию ЗВ из сопредельных морей, а также вынос ЗВ из губ и заливов, причём загрязнение заливов объясняется не столько речным стоком, сколько деятельностью на побережье и непосредственно на акватории моря. Чтобы оценить вклад непосредственно речного стока в загрязнение морской среды, необходимо сравнить качество речных вод с качеством воды в примыкающих к устьевым створам акваториях. Такой анализ в рамках данного исследования может быть применен лишь к трём заливам (Кольский, Двинский, Кандалакшский), на акватории которых ежегодно проводится наибольшее количество гидрохимических измерений.

Чтобы определить, каков вклад речных вод в загрязнение морской водной среды, проведем сравнение концентраций отдельных ЗВ в водах рек и заливов (табл. 5.10).

Загрязнение вод заливов Белого и Баренцева морей и речных вод их водосборов по отдельным ингредиентам в 2015 году (рассчитано по данным ежегодников (Качество морских..., 2005-2016; Качество поверхностных..., 2016))

| Водный объект | Средняя/максимальная концентрация загрязняющих веществ в воде, мг/л | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | НФПР | Азот | | | Fe | Cu | Zn | Ni | Mn |
| | | Амм. | Нитрит. | Нитрат. | | | | | |
| Двинский залив | 0.002 /0.01 | 0.004 /0.072 | 0.001 /0.002 | 0.034 /0.158 | - | - | - | - | - |
| Реки водосбора Двинского залива | 0.01 /0.4 | 0.17 /3.56 | 0.007 /0.50 | 0.1 /2.39 | 0.31 /1.5 9 | 0.004 /0.03 | 0.02 /0.17 | 0.004 /0.03 | - |
| Кандалакшский залив | 0.015 /0.03 | 0.04 /0.16 | 0.0009 /0.002 | 0.06 /0.32 | 0.06 /0.1 | 0.005 /0.007 | - | 0.003 /0.005 | 0.01 /0.02 |
| Реки водосбора Кандалакшского залива | 0.02 /0.46 | 0.04 /0.32 | 0.005 /0.198 | 0.22 /4.87 | 0.05 /0.4 4 | 0.01 /0.19 | 0.007 /0.03 | 0.026 /0.37 | 0.025 /0.18 |
| Кольский залив | 0.148 /0.544 | 0.53 /1.11 | - | - | 0.06 /0.1 6 | 0.005 /0.005 | - | 0.003 /0.009 | 0.01 /0.02 |
| Реки водосбора Кольского залива | 0.04 /2.19 | 0.25 /27.1 | 0.01 /0.19 | 0.5 /9.1 | 0.16 /2.3 | 0.007 /0.19 | 0.007 /0.15 | 0.05 /0.69 | 0.03 /0.28 |

Достоверно определить концентрацию ЗВ, обусловленную непосредственно речным стоком, по имеющимся данным не представляется возможным. Можно лишь с большой долей вероятности говорить о том, что концентрации отдельных ЗВ в водах заливов превышающие концентрации этих ЗВ в водах питающих рек - следствие деятельности на побережье и акватории, либо воздушного переноса ЗВ. Подобная ситуация наблюдается в Кольском заливе по нефтепродуктам и аммонийному азоту. Площадь акватории Кольского залива невелика и повышенные концентрации нефтепродуктов в заливе могут быть обусловлены высокой навигационной активностью в заливе, совокупным влиянием на акваторию не слишком массивных, но регулярных поступлений нефтепродуктов в ходе портовых операций и работы терминалов по отгрузке нефти.

Основным источником аммонийного азота чаще всего являются сточные воды с различных предприятий промышленности. Действительно, в отдельных мелких реках водосбора Кольского залива обнаруживаются высокие концентрации этого ЗВ, но в среднем речные воды не столь сильно загрязнены. В водах залива средняя концентрация аммонийного азота выше, чем его средняя концентрация в речных водах. Концентрация аммонийного азота в льяльных водах судов, согласно (Исаков, Касперович, 2007) составляет 0.5 мг/л, что равно его средней концентрации в водах залива. Таким образом, судоходство нельзя рассматривать как источник поступления аммонийного азота в воды залива. Несмотря на то, что средняя концентрация в речных водах ниже, чем в водах залива, в речных водах была зафиксирована максимальная концентрация аммонийного азота 27.1 мг/л, что более чем в 100 раз выше средней концентрации. Исходя из того, что гидрохимические наблюдения на исследуемых реках проводятся 2-4 раза в год и неоднородны по срокам, можно предполагать большую погрешность при расчёте средних концентраций. В таком случае, речной сток может являться основным источником поступления аммонийного азота.

5.4. Интегральная оценка потенциального воздействия речного стока на водную среду Баренцева и Белого морей

5.4.1. Основные положения методики интегральной оценки потенциального воздействия речного стока на морскую водную среду

1. *Методика интегральной оценки потенциального воздействия речного стока на морскую водную среду должна быть простой.* При этом методика должна наиболее полно учитывать ключевые условия формирования качества речных вод и абстрагироваться от менее значимых (подчинённых по отношению к ключевым).
2. *Методика должна опираться на оценочные параметры, хорошо обеспеченные открытыми данными.* К таким данным относятся параметры, доступные прямому наблюдению из космоса и расшифровке со спутниковых снимков, а именно, сведения о рельефе, растительности и поверхностных водных объектах. Общедоступны также данные о социальных и экономических характеристиках речных водосборов.
3. *Оценка проводится отдельно для каждого речного бассейна и межбассейновых пространств с учетом гидрологического районирования.*
4. *Учитываются две группы оценочных параметров:*
 - Природные (применительно к Баренцево-Беломорскому бассейну были выбраны параметры: озёрность и лесистость речного водосбора, сток наносов, уклон водосбора)
 - Антропогенные (применительно к Баренцево-Беломорскому бассейну были выбраны параметры: плотность населения на территории речного водосбора; отношение объёма сточных вод, попадающих на водосбор, к объёму стока реки)
5. *Потенциальное воздействие речного стока на морскую водную среду зависит от соотношения двух комплексных показателей: потенциала*

самоочищения (ПС) речного водосбора и потенциала загрязнения (ПЗ) речных вод.

Потенциал самоочищения – это показатель, отражающий способность речного водосбора к ассимиляции загрязняющих веществ.

Потенциал загрязнения – это показатель, отражающий степень воздействия на речные воды природных и антропогенных источников загрязняющих веществ.

6. Потенциал самоочищения речного водосбора определяется рядом природных параметров. Количество параметров может быть различным в зависимости от особенностей исследуемого морского водосборного бассейна. Важно наиболее полно учесть все факторы, влияющие на самоочищение рек и минимально зависящие друг от друга. В данном случае принимается, что он зависит от: а) озёрности речного водосбора б) лесистости речного водосбора в) уклона речного водосбора.

Озёрность – это отношение суммарной площади водной поверхности озёр (и водохранилищ), расположенных в пределах водосбора, к общей площади водосбора.

Лесистость – это отношение покрытой лесом площади, расположенной в пределах водосбора, к общей площади водосбора.

Уклон речного водосбора - отношение превышения истока реки над устьем, определяемого по разности высотных отметок, к длине реки.

7. Потенциал загрязнения речных вод определяется рядом природных и антропогенных параметров. Количество параметров может изменяться в зависимости от особенностей исследуемого морского водосборного бассейна. Важно наиболее полно учесть все факторы, влияющие на загрязнение рек и минимально зависящие друг от друга. В данном случае принимается, что он зависит от: а) отношения объёма сточных вод к объёму стока реки б) плотности населения на водосборе в) стока наносов.

Сточные воды – это воды, загрязнённые бытовыми отбросами и производственными отходами и удаляемые с территорий населённых мест и

промышленных предприятий системами канализации (Большая советская энциклопедия. URL: <https://bse.slovaronline.com/>)

Поверхностные сточные воды (дождевые, талые) с территорий населенных пунктов и предприятий в работе не рассматривались.

8. *Все используемые при расчетах величины задаются на метрической шкале отношений.* В ходе преобразований соотношения одной и той же величины для разных речных водосборов должны оставаться неизменными.

9. *Соотношение рассчитанных ПС и ПЗ отражает степень негативного влияния речных вод на морскую водную среду и представляется в виде итоговой карта-схемы.* Чем более ПС превосходит ПЗ, тем меньшее негативное влияние оказывают речные воды с исследуемого водосбора на морскую среду и более благоприятным для дальнейшего хозяйственного освоения признаётся речной водосбор.

10. *Итоговая карта-схема строится в одной из ГИС-программ.* В данном случае была использована ГИС MapViewer.

5.4.2. Основные этапы интегральной оценки потенциального воздействия речного стока на морскую водную среду

1. *Сбор и подготовка информации водосборном бассейне моря и входящим в него речным водосборам:*

А) Изучение природных особенностей территории (геологическое строение, рельеф, особенности строения гидрографической сети, растительность, климат) и проведение комплексного гидрологического районирования.

Б) Определение перечня учитываемых природных и антропогенных особенностей речных водосборов, влияющих на загрязнение и самоочищение речных вод.

В) Создание базы данных численных характеристик учитываемых природных и антропогенных особенностей речных водосборов. Для тех характеристик, которые не поддаются непосредственному измерению и

характеризуются качественно, подбираются результирующие их деятельности, которые могут быть количественно оценены.

Г) Определение относительной значимости отобранных природных и антропогенных особенностей водосборов.

2. *Расчёт комплексных показателей потенциала самоочищения и потенциала загрязнения для отдельных речных водосборов и межбассейновых промежутков с учетом гидрологического районирования.*

3. *Исходя из соотношения рассчитанных ПС и ПЗ, речные водосборы стратифицируются (разбиваются на несколько уровней) по степени негативного влияния речных вод на морскую водную среду. По итогам стратификации строится карта-схема районирования морского водосборного бассейна, которая позволяет наглядно продемонстрировать комплекс природно-хозяйственных факторов на речных водосборах.*

В рамках настоящей методики приняты следующие определения основных используемых понятий:

Потенциальное воздействие речного стока на морскую водную среду – это характеристика, отражающая вероятную степень насыщенности речных вод природными и антропогенными компонентами, являющимися загрязнителями по отношению к морским водам. Она определяется ассимилирующими способностями речного водосбора и интенсивностью антропогенного воздействия на него. Действительное же влияние речного стока на морскую среду складывается из двух составляющих: загрязняющий потенциал рек и особенности непосредственно морской среды.

Алгоритм выполнения интегральной оценки показан в табл. 5.11.

**Общий алгоритм интегральной оценки потенциального воздействия
речного стока на морскую водную среду**

| Этап | Характеристика |
|------|--|
| 0 | Исходные данные. Проводится инвентаризация всей имеющейся информации об исследуемом водосборном бассейне моря. Производится общее физико-географическое описание водосборного бассейна (геологическое строение, рельеф, особенности строения гидрографической сети, растительность, климат), необходимое для проведения гидрологического районирования. Также уточняется наличие или отсутствие информации о характеристиках, которые влияют на загрязнение и самоочищение речных вод и могут быть использованы в качестве величин для расчета комплексных показателей ПС и ПЗ. Итоговый выбор конкретных параметров определяется наличием или отсутствием тех или иных данных. |
| 1 | Проведение комплексного гидрологического районирования водосборного бассейна моря. Степень влияния речного стока на морскую водную среду определяется характером взаимодействия различных природных и антропогенных факторов. Эти свойства изменяются в пределах водосборов морей. Поэтому для установления роли стока их необходимо выявить и обобщить на уровне гидрологического районирования водосбора. |
| 2 | Определение перечня природных и антропогенных особенностей речных водосборов, которые будут использованы для расчета ПС и ПЗ. Исходя из того, какие параметры наиболее отличают гидрологические районы между собой, а также наличия данных. |
| 3 | Определение относительной значимости отобранных для расчета ПС и ПЗ природных и антропогенных особенностей водосборов. Задаются весовые коэффициенты для каждого фактора. Сумма весовых коэффициентов в пределах одного комплексного показателя (ПС или ПЗ) должна быть равна 1. |
| 4 | Расчет комплексных показателей ПС и ПЗ для отдельных речных водосборов и межбассейновых промежутков с учетом гидрологического районирования. |
| | 4.1. Отобранные для расчета ПС и ПЗ показатели природных и антропогенных особенностей речных водосборов должны быть выражены в принятых для них единицах. |
| | 4.2 Показатели нормируются на интервал от 0 до 1 по формулам: $y(x) = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (13)$ $y(x) = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}} \quad (14),$ где x – значение нормируемой величины, x_{max} , x_{min} – максимальное и минимальное значения величины x в ряду наблюдений y – нормированный показатель Формула 13 используется для показателей 1 типа (рост показателя увеличивает рассчитываемую интегральную величину), формула 14 – для показателей 2 типа (рост показателя уменьшает рассчитываемую |

| | интегральную величину) <i>Полученные величины являются безразмерными</i> | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|---------------------------|------------------------------------|----------|--------|-----------|-----------|--------|--------------|----|---------|
| | <p>4.3. Интегральные показатели ПС и ПЗ для каждого водосбора находятся путем сложения величин нормированных оценочных показателей с учетом их весовых коэффициентов.</p> $ПС = k_1 \times A_1 + k_2 \times A_2 + \dots + k_n \times A_n \quad (15)$ $ПЗ = p_1 \times B_1 + p_2 \times B_2 + \dots + p_n \times B_n \quad (16)$ <p>где $k_1, k_2, k_n; p_1, p_2, p_n$ – весовые коэффициенты $A_1, A_2 \dots A_n$ – факторы, влияющие на самоочищение рек и минимально зависящие друг от друга $B_1, B_2 \dots B_n$ – факторы, влияющие на загрязнение рек и минимально зависящие друг от друга</p> | | | | | | | | | | |
| 5 | <p>Расчёт соотношения интегральных показателей ПС и ПЗ и определение преобладания в пределах отдельных речных водосборов процессов самоочищения либо процессов загрязнения речных вод.</p> <p>Индекс потенциального воздействия речного стока (ИПВРС) на морскую водную среду определяется соотношением ПС и ПЗ на речном водосборе:</p> $ИПВРС = ПЗ/ПС \quad (17)$ <p>Методом равных интервалов задаётся шкала оценки величины ИПВРС и определяется четыре типа условий на водосборах. Степени негативного воздействия на речные водосборы:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Интервал показателя ИПВРС</th> <th>Негативное воздействие на водосбор</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 – 0.33</td> <td>слабое</td> </tr> <tr> <td>0.34-0.66</td> <td>умеренное</td> </tr> <tr> <td>0.67-1</td> <td>значительное</td> </tr> <tr> <td>>1</td> <td>сильное</td> </tr> </tbody> </table> | Интервал показателя ИПВРС | Негативное воздействие на водосбор | 0 – 0.33 | слабое | 0.34-0.66 | умеренное | 0.67-1 | значительное | >1 | сильное |
| Интервал показателя ИПВРС | Негативное воздействие на водосбор | | | | | | | | | | |
| 0 – 0.33 | слабое | | | | | | | | | | |
| 0.34-0.66 | умеренное | | | | | | | | | | |
| 0.67-1 | значительное | | | | | | | | | | |
| >1 | сильное | | | | | | | | | | |

5.4.3. Описание этапов интегральной оценки и полученные результаты

Этап 1 - Проведение комплексного гидрологического районирования водосборного бассейна моря.

Загрязнение рек различными химическими компонентами обусловлено как антропогенным воздействием, так и природными особенностями их водосборов: геологическим строением, климатом, особенностями рельефа, естественной кислотностью природных вод, озёрностью территории, характером биоты водосбора. Все указанные природные особенности взаимосвязаны и взаимозависимы. Степень влияния речного стока на морскую водную среду определяется характером взаимодействия указанных природных и антропогенных факторов. Эти свойства изменяются в пределах водосборов морей. Гидрологическое районирование призвано выявить

различия в условиях формирования речного стока между отдельными участками, расположенными в водосборном бассейне моря.

Гидрологическое районирование Баренцево-Беломорского водосборного бассейна.

Поскольку речной водосбор является геосистемой, в которой все природные комплексы связаны переносом вещества и энергии, то водосборы крупнейших рек региона рассмотрены отдельно. Небольшие реки рассмотрены в пределах их совокупных водосборов. При выделении совокупных водосборов учитывалось гидрологическое районирование. Для объединённого Баренцево-Беломорского водосбора было использовано районирование с выделением его западной и восточной частей, описанное в главе 4. Так как при использовании многокритериальных оценок, предпочтительна большая дифференциация объектов сравнения, то подробность районирования была увеличена с учетом как можно большего количества различий между территориями (рис. 5.5)

Учитывая неполное соответствие восточной части Кольского полуострова критериям, предложенным при гидрологическом районировании и имеющим значение для интегральной оценки, эти территории были выделены в качестве самостоятельного Поной-Варзугского района.

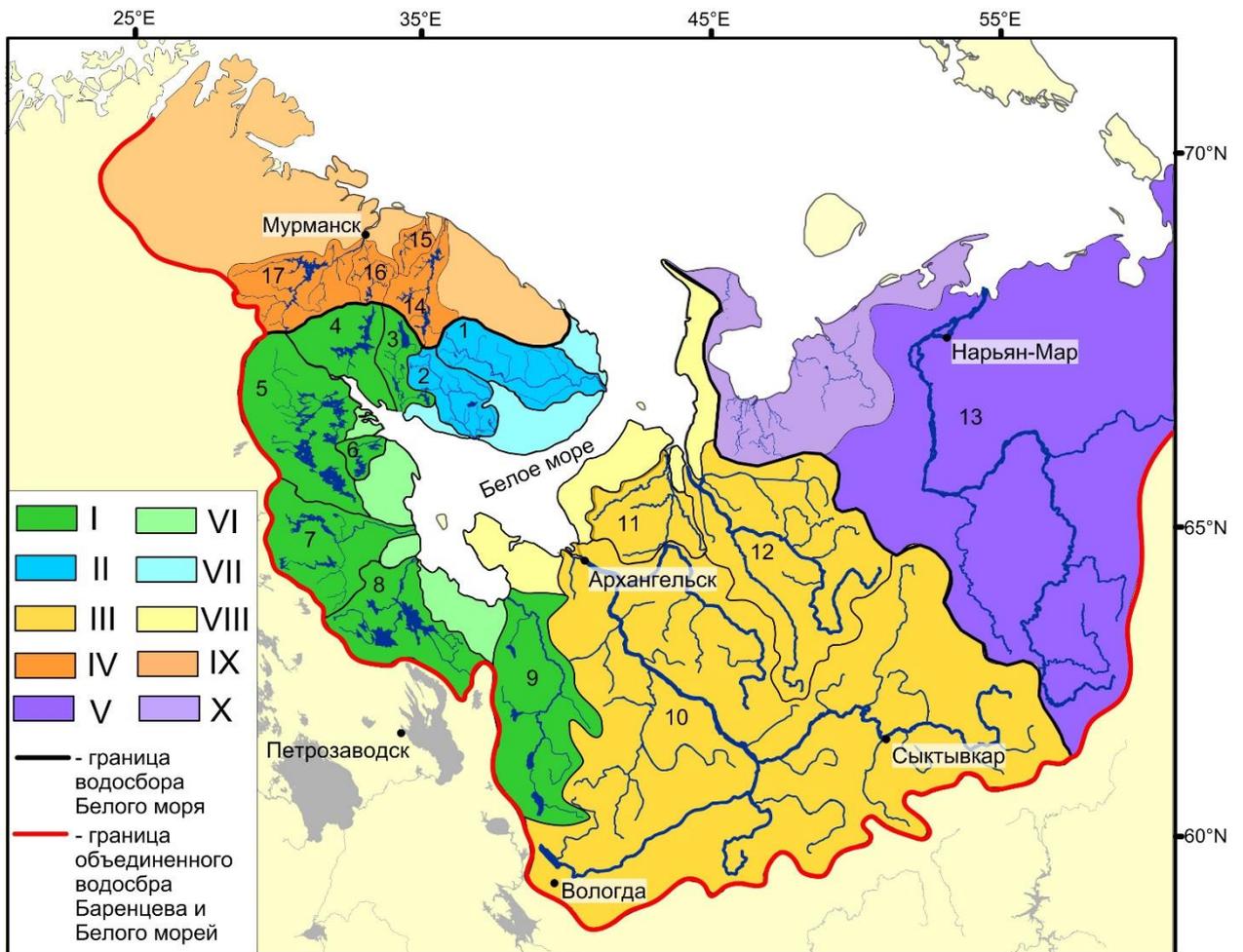


Рис. 5.5. Гидрологическое районирование водосбора Баренцева и Белого морей

Цветом показано гидрологическое районирование: I – западная часть водосбора Белого моря; II - Поной-Варзугский гидрологический район; III – восточная часть водосбора Белого моря; IV - западная часть водосбора Баренцева моря; V – восточная часть водосбора Баренцева моря; VI – малые реки западной части водосбора Белого моря; VII – малые реки Поной-Варзугского района; VIII – малые реки восточной части водосбора Белого моря; IX – малые реки водосбора западной части Баренцева моря; X – малые реки водосбора восточной части Баренцева моря.

Цифрами обозначены водосборы рек: 1 – Поной; 2 – Варзуга; 3 – Умба; 4 – Нива; 5 – Ковда; 6 – Кереть; 7 – Кемь; 8 – Выг; 9 – Онега; 10 – Северная Двина; 11 – Кулой; 12 – Мезень; 13 – Печора; 14 – Воронья; 15 – Териберка; 16 – Кола; 17 – Тулома.

Этап 2 - Определение перечня природных и антропогенных особенностей речных водосборов, которые будут использованы для расчета ПС и ПЗ.

Итак, на загрязнение и самоочищение речных вод оказывают влияние различные природные и антропогенные характеристики водосборов. Интенсивность самоочищения зависит от таких факторов, как слагающие

горные породы, рельеф, различные характеристики климата на водосборе, растительность, животный мир, строение гидрографической сети водосбора, скорость течения реки и другие. Интенсивность загрязнения зависит от таких факторов, как слагающие горные породы, твёрдый сток, количество населения на водосборе и его плотность, объём сброса сточных вод, наличие различных производств и преобладание определённых отраслей промышленности, количество предприятий-водопользователей и их валовый доход, площадь распаханых земель и другие.

Для наиболее полного учета различных аспектов функционирования речного водосбора, необходимо определить направленность влияния тех или иных факторов. Направленность действия факторов необходимо учитывать при выборе характеристик водосбора, используемых для расчета ПС и ПЗ речных вод на данном водосборе. В рамках методики были определены основные влияющие факторы и характер их влияния (табл. 5.12). Список факторов (особенностей водосбора) может быть дополнен.

Таблица 5.12

Основные факторы влияния и их направленность

| Особенности водосбора | Направленность влияния фактора на отдельные параметры | | | |
|---|---|--|---------------------------------|--|
| | поступление взвешенных веществ в речную воду | поступление растворенных веществ в речную воду | скорость преобразования веществ | время достижения устья реки веществами |
| Мягкие слагающие горные породы | ▲ | | | |
| Растворимые слагающие горные породы | | ▲ | | |
| Мутность воды | ▲ | | | |
| Уклон/падение реки | | | | ▼ |
| Скорость течения реки | | | | ▼ |
| Содержание растворенного кислорода в воде | | | ▲ | |
| Температура воды | | ▲ | ▲ | |
| Лесистость | ▼ | ▼ | | ▲ |
| Болотистость | ▼ | ▼ | | ▲ |

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
| Наличие организмов-биофильтраторов и их биомасса | | ▼ | ▲ | |
| Озёрность | ▼ | | | ▲ |
| Количество населения | ▲ | ▲ | | |
| Плотность населения | ▲ | ▲ | | |
| Объём сброса сточных вод | ▲ | ▲ | | |
| Количество предприятий-водопользователей | ▲ | ▲ | | |
| Валовый доход предприятий-водопользователей | ▲ | ▲ | | |
| Площадь распаханых земель | ▲ | ▲ | ▼ | ▼ |

Обозначения в таблице: ▲ – усиление действия фактора увеличивает значение параметра; ▼ – усиление действия фактора уменьшает значение параметра.

Для расчета ПЗ могут быть выбраны факторы, повышающие поступление взвешенных и растворенных веществ или уменьшающие скорость преобразования веществ и время достижения устья реки веществами (выделены красным), а для расчета ПС - факторы, уменьшающие количество поступающих веществ, увеличивающие скорость преобразования этих веществ и замедляющие транспорт веществ к устью (выделены зелёным). Выбор в качестве расчетных тех или иных факторов зависит от наличия данных.

Многие из указанных факторов в значительной степени влияют друг на друга или соотносятся как причина и следствие. При выборе расчетных параметров необходимо учитывать причинно-следственные связи факторов влияния. В пределах одного интегрального показателя (ПС или ПЗ) не должны использоваться факторы прямо влияющие друг на друга как причина и следствие, либо имеющие идентичную направленность влияния.

Также важно при выборе расчетных параметров выбирать те из параметров, по которым наблюдается большее различие между выделенными гидрологическими районами.

Определение перечня природных и антропогенных особенностей речных водосборов для расчета ПС и ПЗ рек Баренцево-Беломорского водосборного бассейна.

Различные гидрологические районы объединённого водосбора Баренцева и Белого морей сильно отличаются по характеру воздействия природных факторов на формирование стока и на качество речных вод.

Учитывая разнородное геологическое строение и слагающие породы на различных участках водосбора (см. пункт 1.1), можно предполагать, что комплекс и объём химических веществ, выносимых речными водами в морскую среду, также будет различен. Способность отдельных ионов, содержащихся в слагающих горных породах, переходить в раствор определяет химический состав речных вод. Кроме того, твёрдые магматические и метаморфические горные породы, слагающие Фенноскандинавский щит, менее подвержены эрозии, чем осадочные породы Русской плиты. Геолого-геоморфологическое строение территорий определяет скорость эрозии водоразделов и объём твёрдого стока. Модуль твёрдого стока рек, расположенных на Фенноскандинавском щите не высок. В частности, модуль твёрдого стока рек Кольского полуострова не превышает 5 т/км² (Ресурсы..., 1963). Твёрдый сток рек Русской и Тимано-Печорской плит более значителен. Модуль твёрдого стока достигает 29 т/км² (Шамов, 1959). Основными поставщиками терригенной взвеси в Белое море являются реки Северная Двина, Онега и Мезень. Они обеспечивают 90% твёрдого стока в море (Цыганкова, 2006).

Способность рек переносить взвешенные вещества, а, следовательно, и объём стока наносов (взвешенных и влекомых по дну), также зависит от характера продольного профиля и уклона, обусловленных рельефом. При прочих равных характеристиках, реки с большими скоростями течений обладают большей транспортной способностью. По данному критерию реки западной части водосбора, обладающие большими перепадами высот (см.

пункт 1.1), имеют больший транспортный потенциал, чем равнинные реки восточной части водосбора.

Снизить объём выносимых в море растворённых и взвешенных химических веществ, а также опосредованное через речной сток антропогенное воздействие на морские акватории могут благоприятные условия самоочищения рек. Самоочищению может способствовать большое количество проточных озёр, частично ассимилирующих загрязнение, а также особенности биоты водосбора и непосредственно водных объектов.

Для рек западной части водосбора характерно наличие большого числа крупных проточных озёр, то есть они являются озёрно-речными системами. Длина озёр, входящих в эти системы, достигает 67% (Ковда) от общей длины озёрно-речных систем. На водосборах рек западной части водосбора преобладают слабопроточные (аккумулятивно-транзитные и аккумулятивные) озёра (см. гл. 4), способные эффективно задерживать, накапливать и преобразовывать различные растворённые и взвешенные вещества, в том числе антропогенного происхождения. Реки восточной части водосбора Белого и Баренцева морей, напротив, имеют низкую линейную озёрность, что является неблагоприятным фактором для самоочищения материковых вод. Реки Мурманского берега по показателю линейной озёрности занимают некое промежуточное положение между карельскими и восточными беломорскими реками. Конечно, высокая озёрность – не единственный фактор, способствующий ассимиляции ЗВ. На самоочищение озёрно-речных систем влияет множество физических, химических и биологических процессов, работающих как индивидуально, так и оказывающих взаимное влияние. К факторам, влияющим на нейтрализацию и депонирование ЗВ в озёрах, относят температуру и рН воды, турбулентные процессы, особенности биоты, обуславливающие включение ЗВ в круговороты в биогеоценозах (Папина, 2001; Наумова, Гончарова, Наумова, 2015).

Поной-Варзугский гидрологический район сочетает в себе черты как востока, так и запада. Принадлежность к Фенноскандинавскому щиту обуславливает низкие скорости водно-эрозионных процессов и отсутствие растворимых горных пород, преимущественно равнинный рельеф – низкую транспортную способность взвешенных веществ, малая озёрность – низкий потенциал ассимиляции ЗВ.

Исходя из вышесказанного и наличия данных, применительно к рекам Баренцево-Беломорского водосбора, для расчёта ПС были выбраны озёрность, лесистость и уклон рек, а для расчёта ПЗ – сток наносов, плотность населения и отношение объёма сточных вод, сброшенных на водосбор, к объёму стока реки.

Для оценки объёма сбросов сточных вод в бассейнах отдельных рек были использованы официальные данные о состоянии и использовании водных ресурсов (Государственный доклад..., 2016а; Государственный доклад..., 2010а; Качество поверхностных..., 2016).

Плотность населения на водосборах рек рассчитана как отношение количества человек, проживающих на водосборе, к площади водосбора. Число жителей на водосборах было рассчитано по данным всероссийской переписи населения в 2010 году (Всероссийская перепись. http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm), площади водосборов вычислены при использовании ГИС MapViewer.

Средний годовой объём стока наносов рассчитывался с использованием данных государственного водного кадастра (Ресурсы поверхностных..., 1963, 1965, 1972, 1974) по формуле:

$$V = R \cdot W \quad (18),$$

где R – содержание взвеси в объёме воды, т/км³;

W – средний годовой объём речного стока, км³/год.

Показатели лесистости водосборов получены по данным карт атласа (Атлас СССР, 1983) и выражены в процентах. Показатели озёрности

получены из справочника (Аннотированный экологический..., 2010), а также электронного атласа Белого моря (Толстиков и др., 2017).

Уклон рек и объединённых водосборов рассчитывался по формуле:

$$H = \frac{H_{max}}{L} \quad (19),$$

где H_{max} – высота истока главной реки (для объединённых водосборов – максимальная высота водосбора), м;

L – длина реки, либо (для объединённых водосборов – расстояние между точкой H_{max} и ближайшей точкой на побережье), км.

Все отобранные показатели представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13

Матрица оценочных показателей речных водосборов Баренцево-Беломорского бассейна

| Водосбор | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Варзуга | 3.00 | 30.00 | 0.80 | 4.74 | 0.50 | 15.82 |
| Воронья | 6.40 | 30.00 | 0.99 | 7.01 | 0.20 | 2764.23 |
| Кемь | 9.30 | 50.00 | 0.53 | 17.64 | 3.00 | 3049.89 |
| Кереть | 11.20 | 50.00 | 1.10 | 1.88 | 1.50 | 106.38 |
| Ковда | 14.00 | 50.00 | 0.46 | 17.38 | 1.50 | 34.52 |
| Кола | 5.70 | 30.00 | 1.67 | 2.62 | 4.00 | 3478.26 |
| Кулой | 2.00 | 87.00 | 0.39 | 70.21 | 0.50 | 7.54 |
| Мезень | 0.60 | 70.00 | 0.38 | 308.00 | 0.50 | 4.29 |
| Нива | 12.00 | 50.00 | 3.50 | 10.34 | 3.00 | 212.77 |
| Выг | 14.00 | 50.00 | 0.87 | 16.54 | 3.00 | 3869.41 |
| Онега | 3.00 | 65.00 | 0.28 | 25.10 | 3.00 | 562.14 |
| Патсойоки | 7.00 | 60.00 | 0.81 | 22.80 | 2.00 | 837.50 |
| Печенга | 6.50 | 60.00 | 1.74 | 39.80 | 0.50 | 2202.86 |
| Печора | 0.40 | 35.00 | 0.37 | 3700.00 | 0.50 | 38.78 |
| Поной | 2.10 | 30.00 | 0.69 | 7.45 | 0.50 | 18.80 |
| Северная Двина | 0.40 | 70.00 | 0.13 | 1297.80 | 3.50 | 4539.99 |
| Териберка | 7.20 | 30.00 | 1.61 | 1.98 | 0.20 | 47.12 |
| Тулома | 8.30 | 60.00 | 0.30 | 13.66 | 4.00 | 667.59 |
| Умба | 13.10 | 30.00 | 1.20 | 0.99 | 1.00 | 80.97 |
| Малые реки водосбора восточной части Белого моря | 1.80 | 80.00 | 0.21 | 183.00 | 0.50 | 695.37 |
| Малые реки водосбора юго-востока Баренцева моря | 0.50 | 40.00 | 1.40 | 538.20 | 0.20 | 2.56 |
| Малые реки водосбора западной части Баренцева моря | 0.50 | 15.00 | 2.10 | 14.16 | 0.50 | 6.71 |

| | | | | | | |
|---|-------|-------|------|-------|------|---------|
| Малые реки водосбора западной части Белого моря | 10.21 | 50.00 | 0.32 | 15.38 | 3.00 | 1950.59 |
| Малые реки Поной-Варзугского района | 3.46 | 30.00 | 0.30 | 3.72 | 0.10 | 17.48 |

1 – озёрность водосбора, %; **2** – лесистость водосбора, %; **3** – уклон водосбора, м/км; **4** – объём стока наносов, т/год; **5** – плотность населения, чел/км²; **6** – отношение объёма сброса промышленно-бытовых стоков к объёму стока реки, тыс.м³/км³.

Этап 3 - Определение относительной значимости отобранных для расчёта ПС и ПЗ природных и антропогенных особенностей водосборов.

Определить круг влияющих факторов легче, чем установить степень их относительного влияния. Основные влияющие факторы обычно четко определены характером самого природного процесса, и их наличие носит безусловный характер (Воеводина, Коробов, Клепиковская, 2011). Степень относительного влияния выбранных факторов задают присвоением им весовых коэффициентов. Как правило, сумма весов влияющих факторов равна единице или 100%, что позволяет легко интерпретировать их значимость.

Взаимодействия между компонентами природных систем сложны и неочевидны. Поэтому при многокритериальных оценках их состояния на некоторых этапах всё же приходится обращаться к экспертным мнениям (Научно-методические..., 1997; Денисов, 2002).

Весовые коэффициенты в работе были заданы автором на основании изученной литературы и скорректированы после нескольких проверок адекватности предложенной модели, то есть найдены эмпирически.

Весовые коэффициенты были заданы в интервале от 0 до 1, где 0.1 – минимальное влияние фактора, 1 – определяющее влияние фактора (табл. 5.14). Сумма весовых коэффициентов в пределах каждого интегрального показателя равна 1.

Весовые коэффициенты оценочных показателей

| Оценочный показатель | Весовой коэффициент |
|------------------------|---------------------|
| Потенциал самоочищения | |
| Озёрность | 0.3 |
| Лесистость | 0.2 |
| Уклон водосбора | 0.5 |
| Потенциал загрязнения | |
| Сток наносов | 0.1 |
| Плотность населения | 0.2 |
| Сточные воды | 0.7 |

Из факторов загрязнения значительный вес был присвоен сточным водам. Плотность населения получила небольшой вес, так как не является прямым фактором влияния на речные воды. Наименьший вес был дан стоку наносов, как природной составляющей речных вод.

Среди факторов самоочищения ведущая роль была отдана уклону водосборов. Напрямую рельеф не влияет на самоочищение рек, однако при большом уклоне речных водосборов, больших скоростях течений и высоких коэффициентах проточности озёр, снижается эффективность естественных биогеохимических фильтрационных процессов.

Этап 4 - Расчёт комплексных показателей ПС и ПЗ для отдельных речных водосборов и межбассейновых промежутков с учетом гидрологического районирования.

Для каждого речного водосбора и межбассейновых промежутков (с учетом гидрологического районирования) собирается информация о числовых значениях характеристик, отобранных для расчёта ПС и ПЗ. Отобранные показатели природных и антропогенных особенностей речных водосборов должны быть выражены в принятых для них единицах.

Показатели нормируются на диапазон от 0 до 1. Показатели первого типа (рост показателя увеличивает рассчитываемую интегральную величину) нормируются по формуле:

$$y(x) = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (13)$$

Показатели второго типа (рост показателя уменьшает рассчитываемую интегральную величину) нормируются по формуле:

$$y(x) = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}} \quad (14),$$

где x – значение нормируемой величины,

x_{max}, x_{min} – максимальное и минимальное значения величины x в ряду наблюдений

$y(x)$ – нормированный показатель

Полученные нормированные величины являются безразмерными.

Все показатели, кроме уклона водосборов являются показателями первого типа, так как чем больше уклон водосбора в сторону моря, тем быстрее ЗВ с водосбора достигнут моря и тем меньшая их часть будет ассимилирована в пределах водосбора (табл. 5.15).

Таблица 5.15

Матрица нормированных оценочных показателей для речных водосборов Баренцево-Беломорского бассейна

| Водосбор | А | Б | В | Г | Д | Е |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Варзуга | 0.1912 | 0.2083 | 0.8012 | 0.0010 | 0.1026 | 0.0029 |
| Воронья | 0.2647 | 0.2083 | 0.7448 | 0.0016 | 0.0256 | 0.6086 |
| Кемь | 0.6544 | 0.4861 | 0.8813 | 0.0045 | 0.7436 | 0.6716 |
| Кереть | 0.7941 | 0.4861 | 0.7122 | 0.0002 | 0.3590 | 0.0229 |
| Ковда | 1.0000 | 0.4861 | 0.9021 | 0.0044 | 0.3590 | 0.0070 |
| Кола | 0.4118 | 0.2083 | 0.5430 | 0.0004 | 1.0000 | 0.7660 |
| Кулой | 0.1176 | 1.0000 | 0.9228 | 0.0187 | 0.1026 | 0.0011 |
| Мезень | 0.0147 | 0.7639 | 0.9258 | 0.0830 | 0.1026 | 0.0004 |
| Нива | 0.8529 | 0.4861 | 0.0000 | 0.0025 | 0.7436 | 0.0463 |
| Нижний Выг | 1.0000 | 0.4861 | 0.7804 | 0.0042 | 0.7436 | 0.8522 |
| Онега | 0.1912 | 0.6944 | 0.9555 | 0.0065 | 0.7436 | 0.1233 |
| Патсойоки | 0.4853 | 0.6250 | 0.7982 | 0.0059 | 0.4872 | 0.1840 |
| Печенга | 0.4485 | 0.6250 | 0.5223 | 0.0105 | 0.1026 | 0.4849 |
| Печора | 0.0588 | 0.2778 | 0.9288 | 1.0000 | 0.1026 | 0.0080 |
| Поной | 0.1250 | 0.2083 | 0.8338 | 0.0017 | 0.1026 | 0.0036 |

| | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Северная Двина | 0.0000 | 0.7639 | 1.0000 | 0.3506 | 0.8718 | 1.0000 |
| Териберка | 0.5000 | 0.2083 | 0.5608 | 0.0003 | 0.0256 | 0.0098 |
| Тулома | 0.6324 | 0.6250 | 0.9496 | 0.0034 | 1.0000 | 0.1466 |
| Умба | 0.9338 | 0.2083 | 0.6825 | 0.0000 | 0.2308 | 0.0173 |
| Малые реки водосбора восточной части Белого моря | 0.1029 | 0.9028 | 0.9763 | 0.0492 | 0.1026 | 0.1527 |
| Малые реки водосбора юго-востока Баренцева моря | 0.0074 | 0.3472 | 0.6231 | 0.1452 | 0.0256 | 0.0000 |
| Малые реки водосбора западной части Баренцева моря | 0.0074 | 0.0000 | 0.4154 | 0.0036 | 0.1026 | 0.0009 |
| Малые реки водосбора западной части Белого моря | 0.7213 | 0.4861 | 0.9436 | 0.0039 | 0.7436 | 0.4293 |
| Малые реки Поной-Варзугского района | 0.2250 | 0.2083 | 0.9496 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0033 |

А – озёрность водосбора; Б – лесистость водосбора; В – уклон водосбора; Г – объём стока наносов; Д – плотность населения; Е – отношение объёма сброса промышленно-бытовых стоков к объёму стока реки.

Интегральные показатели ПС и ПЗ для каждого водосбора находятся путем сложения величин нормированных оценочных показателей с учетом их весовых коэффициентов по формулам:

$$ПС = k_1 \times A_1 + k_2 \times A_2 + \dots + k_n \times A_n \quad (15)$$

$$ПЗ = p_1 \times B_1 + p_2 \times B_2 + \dots + p_n \times B_n \quad (16),$$

где $k_1, k_2, k_n; p_1, p_2, p_n$ – весовые коэффициенты
 A_1, A_2, \dots, A_n – оценочные показатели самоочищения рек
 B_1, B_2, \dots, B_n – оценочные показатели загрязнения рек

Этап 5 - Установление соотношения между интегральными показателями ПС и ПЗ. Индекс потенциального воздействия речного стока (ИПВРС) для водосбора определяется соотношением ПС и ПЗ и определяется по формуле:

$$ИПВРС = ПЗ/ПС \quad (17)$$

Таким образом, если на водосборе преобладают процессы загрязнения, ИПВРС примет значения большие 1. Водосборы с ИПВРС превосходящим 1, не справляются с существующими нагрузками и речные воды достигают моря значительно загрязненными. Исходя из величины ИПВРС были

определены четыре типа условий на водосборах. При составлении шкалы был использован метод равных интервалов (табл. 5.16).

Таблица 5.16

Степени негативного воздействия на речные водосборы

| Интервал показателя ИПВРС | Негативное воздействие на водосбор |
|---------------------------|------------------------------------|
| 0 – 0.33 | слабое |
| 0.34 – 0.66 | умеренное |
| 0.67- 1 | значительное |
| >1 | сильное |

Исходя из соотношения ПС и ПЗ по формуле (17) были рассчитаны индексы потенциального воздействия речного стока (ИПВРС) для исследуемых речных водосборов БЭ Баренцева моря (табл. 5.17). Гистограмма соотношения интегральных показателей ПС и ПЗ для отдельных водосборов представлена на рисунке 5.6.

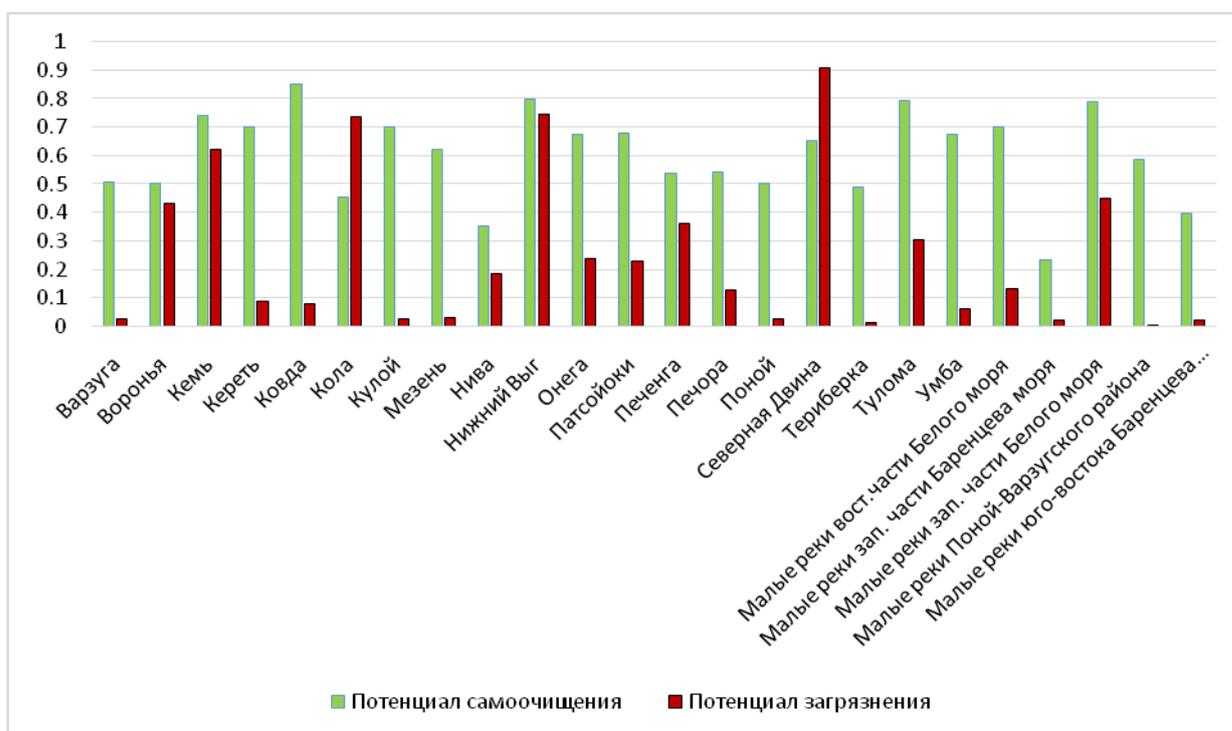


Рис. 5.6. Соотношение интегральных показателей ПС и ПЗ речных водосборов Баренцево-Беломорского бассейна

**Индексы потенциального воздействия речного стока водосборов рек
Баренцево-Беломорского бассейна**

| Водосбор | ИПВРС |
|--|--------------|
| Варзуга | 0.045 |
| Воронья | 0.874 |
| Кемь | 0.843 |
| Кереть | 0.127 |
| Ковда | 0.091 |
| Кола | 1.685 |
| Кулой | 0.033 |
| Мезень | 0.047 |
| Нива | 0.514 |
| Нижний Выг | 0.945 |
| Онега | 0.350 |
| Патсойоки | 0.339 |
| Печенга | 0.693 |
| Печора | 0.235 |
| Поной | 0.047 |
| Северная Двина | 1.393 |
| Териберка | 0.025 |
| Тулома | 0.384 |
| Умба | 0.088 |
| Малые реки водосбора восточной части Белого моря | 0.190 |
| Малые реки водосбора юго-востока Баренцева моря | 0.051 |
| Малые реки водосбора западной части Баренцева моря | 0.102 |
| Малые реки водосбора западной части Белого моря | 0.572 |
| Малые реки Поной-Варзугского района | 0.004 |

Полученные результаты были использованы для районирования водосбора по степени негативного влияния речных водосборов на качество вод Баренцева и Белого морей (рис. 5.7).

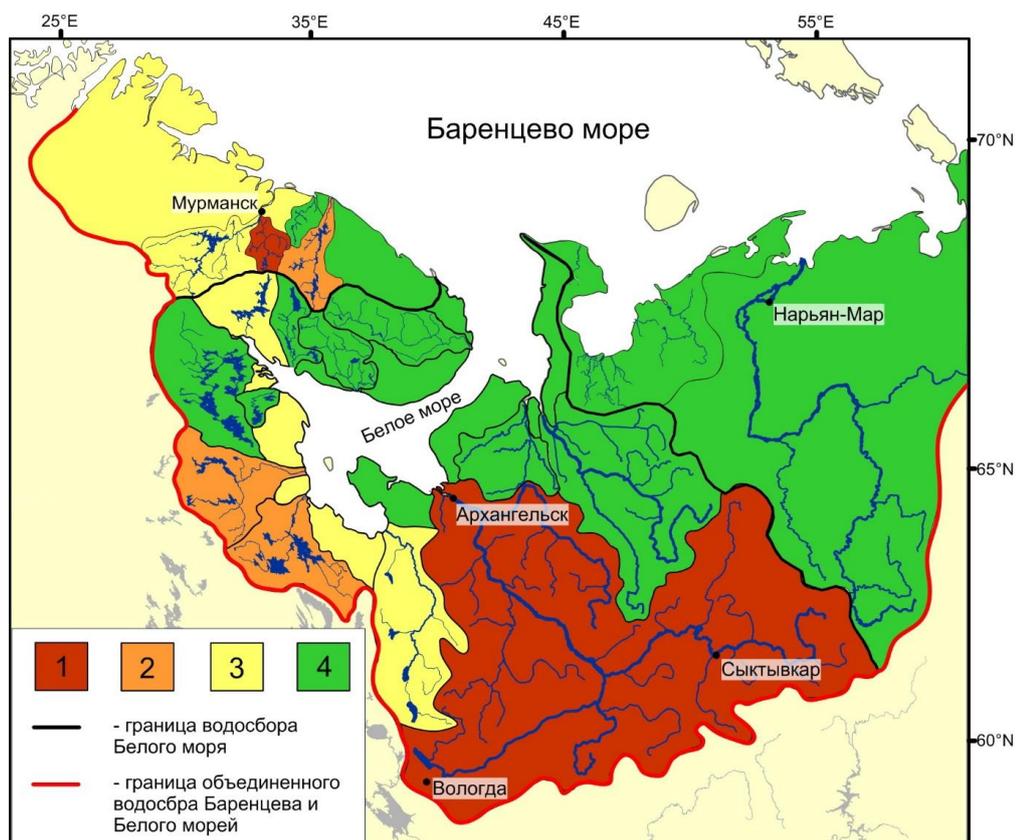


Рис. 5.7. Районирование водосбора по степени негативного воздействия речного стока на качество морских вод. Потенциальное воздействие речного стока на морские акватории: 1 – сильное; 2 – значительное; 3 – умеренное; 4 – слабое

Влияние материкового стока на морскую водную среду рассматривается как потенциальное, так как учтены лишь особенности водосборов. Действительное же влияние речного стока на морскую среду складывается из двух основных составляющих: загрязняющий потенциал рек и особенности непосредственно морской среды (соединим две эти составляющие чуть позже).

Стоит также отметить, что данные интегральной оценки отражают загрязняющий потенциал рек, а индексы загрязненности воды (ИЗВ, УКИЗВ) характеризуют непосредственное качество воды. Так, например, качество воды в малой реке, являющейся местом сброса сточных вод, может быть крайне низким, но с учетом небольшого стока, такая река может не иметь существенного загрязняющего потенциала. В то же время, крупная река даже при небольших концентрациях загрязняющих веществ, будет выносить в

абсолютных величинах большое их количество и оказывать существенное загрязняющее воздействие на морскую среду. По этой причине прямое сравнение результатов интегральной оценки и данных о качестве речных вод будет некорректным.

Более информативным представляется сравнение полученных результатов с данными гидрохимических наблюдений в заливах. Данных о качестве вод заливов Белого моря по гидрохимическим показателям немного. Наиболее хорошо изучено качество вод Двинского залива. В заливе проводятся регулярные гидрохимические съемки на 7 станциях, многочисленны целевые гидрохимические съемки в рамках частных исследований разных авторов. Анализ качества вод Двинского залива показал, что вода не соответствует санитарным нормам. Было зафиксировано превышение ПДК нефтяных углеводородов, фенольных соединений, СПАВ, меди и цинка (Брызгалов, Иванов, 2002; Толстикова, Чернов, 2014; Немировская, Травкина, Трубкин, 2015; Качество морских..., 2016; Мохова и др., 2016). В целом, экологическая ситуация в Двинском заливе характеризуется как напряженная, а в южной его части как критическая.

Согласно данным ежегодника (Качество морских..., 2016) в районе порта г. Кандалакша качество воды по комплексному индексу загрязненности (ИЗВ) в 2015 году оценивалось классом 3, «умеренно загрязнённые». Следует учитывать, что уровень загрязнения морских вод в портах, как правило, связан в большей степени с портовыми операциями. В Кандалакшском заливе за пределами порта превышения ПДК по основным загрязнителям обнаружено не было.

Данных наблюдений за качеством вод Онежского залива по гидрохимическим показателям крайне мало. В работе (Кадашова, 2011) отмечено загрязнение поверхностного слоя вод Онежского залива, при относительно высоком качестве глубинных вод. Загрязнение поверхностного слоя прибрежных вод и вод заливов, чаще всего связывают с воздействием

речного стока. Отмечено эпизодическое превышение ПДК нефтепродуктов, фенолов и меди в кутовых частях залива (Мохова и др., 2016).

Согласно интегральной оценке, потенциальное воздействие р. Кола на морскую среду характеризуется как сильное, что означает неспособность природных условий водосбора реки нивелировать процессы загрязнения речных вод. Потенциальное влияние вод Северной Двины также характеризуется как сильное. Такие реки оказывают существенное загрязняющее воздействие на прибрежные морские воды. Для водосборов рек Выг и Кемь потенциальное влияние речного стока на морскую водную среду характеризуется как значительное - нагрузка на водосборы этих достаточно велика и сказывается на качестве морских вод. Водосбор Онеги, исходя из соотношения ПС и ПЗ, хорошо справляется с существующими антропогенными нагрузками и сток р. Онега не должен оказывать существенного негативного влияния на воды Онежского залива. По нашей оценке, реки водосбора Кандалакшского и Мезенского заливов хорошо справляются с загрязнителями, поступающими на их водосборы, и не создают существенной нагрузки на морские прибрежные воды.

Однако, переходя к сравнению данных гидрохимических наблюдений за качеством морских вод с результатами интегральной оценки, следует учитывать, что действительное влияние речного стока на морскую среду складывается из двух составляющих: загрязняющий потенциал рек и особенности гидрологии моря. Интенсивность водообмена в заливах различна. Заливы с более длительным периодом водообмена наиболее подвержены воздействию речного стока. Как было показано в пункте 5.1, из рассматриваемых заливов, Онежский имеет самую низкую интенсивность водообмена. Полное обновление вод залива занимает около 1.5 лет. Это может способствовать накоплению ЗВ в заливе. Двинский залив отличается умеренной скоростью водообмена (полный водообмен занимает 0.69 года), что позволяет при значительных нагрузках со стороны водосбора сдерживать их негативное воздействие на качество вод залива. В Кандалакшском заливе

происходит интенсивное обновление вод (полный водообмен – 0.06 года), способствующее быстрому выносу загрязняющих веществ из залива.

В целом, данные гидрохимических наблюдений хорошо соотносятся с результатами интегральной оценки. Воздействие речного стока на морскую среду с одновременным учетом загрязняющего потенциала рек и условий водообмена будет рассмотрено далее.

Следует отметить, что полученная схема районирования позволяет наглядно продемонстрировать комплекс природно-хозяйственных факторов на водосборном бассейне БЭ Баренцева моря. Предложенная схема районирования может быть использована для разработки научно-обоснованного комплекса природоохранных мероприятий на водосборе, а также разработки плана промышленного развития территорий.

5.5. Заливы Белого и юго-востока Баренцева морей как объекты воздействия речного стока

Данные о водообмене между отдельными акваториями моря, рассчитанные по дефициту солёности в главе 5 пункте 1, можно использовать для оценки степени влияния речного стока на качество морской среды и прогнозирования уязвимости отдельных акваторий при увеличении сбросов загрязняющих веществ с водосбора. Так как относительный дефицит солёности опосредованно выражает количество пресных вод в ВМ, то зная качество этих пресных вод, можно рассчитать их загрязняющую способность. Загрязняющее воздействие речного стока на отдельные акватории морей, можно оценить, как

$$K = \bar{A} \times C \quad (20),$$

где K – коэффициент загрязняющего воздействия речного стока на ВМ;

C – дефицит солёности, ед.

\bar{A} – средний взвешенный по объёму стока класс качества воды по удельному комбинаторному индексу загрязнённости воды (УКИЗВ), ед.

$$\bar{A} = \frac{\sum(A_n \times f_n)}{\sum f_n} \quad (21),$$

где A_n – класс качества воды по УКИЗВ в замыкающих створах рек водосбора, ед.

f_n – средний годовой объём стока рек с определенным классом качества воды в замыкающем створе, км³.

Таким образом, коэффициент K отражает степень влияния поступающего с речным стоком объёма ЗВ на водную массу при существующих условиях водообмена. Расчёт загрязняющего воздействия речного стока на ВМ заливов дал следующие результаты (табл. 5.18)

Оценка загрязняющего воздействия речного стока на водные массы

| Водная масса | \bar{A} , ед. | C, ед. | Коэффициент загрязняющего воздействия речного стока K |
|---------------|-----------------|--------|---|
| Печорская | 4 | 0.22 | 0.88 |
| Мезенская | 4 | 0.25 | 0.99 |
| Двинская | 3.5 | 0.38 | 1.34 |
| Онежская | 4 | 0.10 | 0.39 |
| Кандалакшская | 2 | 0.02 | 0.04 |

Исходя из расчётов, двинская ВМ испытывает наибольшее воздействие со стороны речного стока, и необходимо сокращение выбросов ЗВ в реки водосбора Двинского залива. Согласно исследованиям других авторов, состояние вод Двинского залива по уровню загрязнения превосходит другие заливы Белого моря и может быть оценено как критическое (Кадашова, 2011; Толстиков, Чернов, 2014).

Коэффициент K отражает воздействие речного стока на воды заливов. Давать оценку непосредственно качества морских ВМ только на основании K нельзя. Следует также учитывать антропогенные воздействия непосредственно на саму акваторию. Морское судоходство, портовые сооружения, коммунальное хозяйство и промышленность на побережье, захоронение отходов, изменение рельефа дна, разрушение берегов вследствие антропогенных воздействий могут оказывать ничуть не меньшее или даже более значительное загрязняющее влияние на ВМ. Тем не менее, коэффициент загрязняющего воздействия рек на отдельные ВМ может быть полезен при планировании размещения предприятий-водопользователей и установлении режима их водопользования на водосборах морей.

Для предложенной выше оценки загрязняющего воздействия речного стока на морские акватории с использованием показателя дефицита солёности необходимы данные гидрохимических наблюдений в замыкающих створах рек.

При отсутствии данных гидрохимических наблюдений в замыкающих створах рек, можно использовать вместо показателя класса качества воды по УКИЗВ результаты интегральной оценки. Загрязняющее воздействие речного стока на отдельные акватории морей, можно оценить, как:

$$P = \bar{I} \times C \quad (22),$$

где P – коэффициент загрязняющего воздействия речного стока на ВМ;

C – дефицит солёности, ед.;

\bar{I} – средний взвешенный по объёму стока индекс потенциального воздействия речного стока (ИПВРС) рек, впадающих в залив

$$\bar{I} = \frac{\sum(I_n \times f_n)}{\sum f_n} \quad (23),$$

где I_n – индекс потенциального воздействия речного стока (ИПВРС) реки, впадающей в залив, рассчитанный по формуле (17);

f_n – средний годовой объём стока реки, км³.

Чем меньшее значение принимает P , тем меньшее негативное воздействие на морскую среду оказывают речные воды. Расчёт загрязняющего воздействия речного стока на ВМ заливов с применением интегрального показателя дал следующие результаты (табл. 5.19)

Таблица 5.19

Оценка загрязняющего воздействия речного стока на водные массы

| Водная масса | \bar{I} | C , ед. | Коэффициент загрязняющего воздействия речного стока P |
|---------------|-----------|-----------|---|
| Печорская | 0.093 | 0.22 | 0.020 |
| Мезенская | 0.197 | 0.25 | 0.049 |
| Двинская | 1.304 | 0.38 | 0.496 |
| Онежская | 0.624 | 0.10 | 0.062 |
| Кандалакшская | 0.219 | 0.02 | 0.004 |

Исходя из оценки, заливы по мере увеличения загрязняющего воздействия на них речного стока можно расположить следующим образом: Кандалакшский, Печорский, Мезенский, Онежский, Двинский. Если в Печорском заливе малая загрязняющая способность речного стока

обусловлена малым количеством источников загрязнения на водосборе, то в Кандалакшском заливе речной сток не оказывает значительного влияния ввиду большой интенсивности водообмена в заливе.

Преимуществом расчётов с использованием интегральных показателей, следует назвать уход от недостатков УКИЗВ. Существенный недостаток использования УКИЗВ – сравнение измеренных показателей с их ПДК. Зачастую значения ПДК в речной воде просто не могут быть соблюдены в силу высокого геохимического фона. Речные системы, не испытывающие антропогенной нагрузки, по результатам расчета УКИЗВ могут быть охарактеризованы низким классом качества воды. Например, воды реки Мезень в замыкающем створе по УКИЗВ были охарактеризованы 4 классом качества воды (грязные), хотя крупных источников загрязнения на водосборе реки нет. При расчёте интегральных показателей, посредством присвоения различного веса факторам, учитывается возможность поступления природных веществ с водосбора, но при этом в качестве основного источника загрязнения рассматривается антропогенная нагрузка.

Таким образом, оценка уровней загрязнения системы «река-морской залив» на основе интегральных показателей и скорости обновления морских вод является более хозяйственно-ориентированной и может удовлетворить многие запросы практики, связанные с планированием промышленного освоения водосборов морей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлена сезонная изменчивость и пространственная неоднородность в поступлении речного стока в различные части Баренцева и Белого морей. Наибольшие сезонные различия в объёмах стока наблюдаются на реках водосбора восточной части Белого и юго-востока Баренцева морей. Речной сток на реках водосбора западной части Белого моря и мурманского берега Баренцева моря распределяется более равномерно в течение года. Это связано как с естественной высокой озёрностью территории, так и с искусственным регулированием рек.

На водосборах рек западной части водосбора Белого и Баренцева морей преобладают слабо-проточные (аккумулятивно-транзитные и аккумулятивные) озёра. Слабый внешний водообмен является одним из факторов, способствующих накоплению и преобразованию в озёрах различных растворённых и взвешенных веществ, в том числе антропогенного происхождения. Большое количество таких озёр, расположенных на водосборах рек, снижает поступление твёрдого стока и растворённых химических веществ в море.

Также существует значительная пространственная неоднородность в распределении речного стока в различные части Белого и Баренцева морей. Средний годовой сток с восточной части объединённого водосбора превышает сток с западной его части более чем в 4 раза.

2. Предложен метод оценки скорости обновления вод в заливах, основанный на солёности, как консервативном показателе качества морской среды. Рассчитана скорость обновления вод в заливах Баренцева и Белого морей. Наиболее застойными являются Онежский и Мезенский заливы. Полное обновление вод Онежского залива занимает 1.46 года, Мезенского залива – 1.33 года.

Двинский и Печорский заливы отличаются умеренной скоростью обновления вод, полный водообмен занимает 0.69 и 0.60 года

соответственно. В Кандалакшском заливе происходит интенсивное обновление вод, полный водообмен занимает 0.06 года.

3. Предложен метод оценки загрязняющего потенциала материкового стока, исходя из природных и антропогенных особенностей водосбора. Выполнено районирование Баренцево-Беломорского водосбора по уровню устойчивости речных водосборов к существующей антропогенной нагрузке. Для дальнейшего хозяйственного освоения рекомендованы водосборы рек Поной, Умба, Варзуга, Ковда, Кереть, Кулой, Мезень, Печора. Требуется снижение хозяйственной нагрузки на водосборы рек Кола и Северная Двина. Антропогенная нагрузка на водные ресурсы других исследованных водосборов не избыточна, однако увеличение её не желательно. Такие водосборы не являются приоритетными для хозяйственного освоения.

4. Разработана методика комплексной оценки воздействия речного стока на морскую водную среду, учитывающая загрязняющий потенциал материкового стока и особенности динамики морских вод.

5. Дана оценка загрязняющего воздействия речного стока на воды заливов Баренцева и Белого морей. Исходя из оценки, заливы по мере увеличения загрязняющего воздействия на них речного стока можно расположить следующим образом: Кандалакшский, Печорский, Мезенский, Онежский, Двинский. Наибольшее воздействие испытывают воды Двинского залива Белого моря. Это связано как с интенсивной хозяйственной деятельностью на водосборе залива, так и с медленным обновлением вод залива. Наиболее благоприятные условия складываются в Печорском и Кандалакшском заливах. Но если в Печорском заливе малая загрязняющая способность речного стока обусловлена малой антропогенной нагрузкой на водосбор, то в Кандалакшском заливе речной сток не оказывает значительного влияния ввиду большой интенсивности водообмена в заливе. Реки водосбора Онежского залива подвержены значительному антропогенному воздействию, и особенности динамики вод залива также

способствуют накоплению загрязнителей в заливе. Увеличение поступления загрязняющих веществ с водосбора в воды Онежского залива нежелательно, так как может привести к быстрому ухудшению качества морских вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии / отв.ред. В.И.Осипов. М.: Наука, 2005. 364 с.
2. Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Издательство Московского университета, 1956. 547 с.
3. Атлас Арктики. Москва: главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1985.
4. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878-2013) / Г.Г.Матишов, С.В.Бердников, А.П.Жичкин [и др.]. Ростов н/Д: издательство ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
5. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан / М.: мин.обороны СССР, 1980
6. Атлас СССР. - Москва: Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1983.
7. Бабков А. И. Гидрология Белого моря // Ред. В. Я. Бергер. СПб.: Беломорская Биостанция, 1998. 94 с.
8. Беклемишев К.В., Пантюлин А.Н. Новое мнение об океанологической и биологической структуре Белого моря // Доклады АН СССР. 1975. Т. 224. №1. С. 209-210.
9. Бергер В.Я. Продукционный потенциал Белого моря. СПб: ЗИН РАН, 2007. 292 с.
10. Блиновская Я.Ю. Информационное обеспечение экологической безопасности при разработке нефтяных месторождений на шельфе. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2006. 232 с.
11. Богословский Б.Б. О водообмене и водных массах водных объектов // Круговороты вещества и энергии в озёрных водоемах. Новосибирск: Наука, 1975, с. 270–275.
12. Богословский Б.Б., Филь С.А. Классификация водоемов по внешнему водообмену // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. М.: изд-во АН. СССР, 1984. С. 54-60.
13. Большая советская энциклопедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bse.slovaronline.com/>
14. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод: пер. с англ. М.: Мир, 1988. 324 с.
15. Бруевич С. В. Гидрохимические исследования Белого моря // Проблемы химии океана. Л.: ГМИ, 1960.
16. Брызгало В.А., Иванов В.В. Многолетняя и сезонная изменчивость химического стока рек Белого моря в условиях антропогенного воздействия // Экологическая химия. 2002. 11(2). С. 91–104.
17. Булавина А. С. Районирование водосбора Белого моря по степени воздействия материкового стока на морскую водную среду // Вестник МГТУ. 2018в. Т. 21, № 1. С. 117-127. DOI: 10.21443/1560-9278-2018-21-1-117-127
18. Булавина А.С. Антропогенное влияние на режим рек водосборов Баренцева и Белого морей // 1ая региональная научно-практическая

- конференция «Будущее Арктики начинается здесь» (28 апреля 2017 г.). Тезисы докладов. Часть 1 / отв. ред. Н.Г. Дяченко. Апатиты: Изд. филиала МАГУ в г. Апатиты, 2017а. С.5-6
19. Булавина А.С. Антропогенное загрязнение рек Баренцево-Беломорского региона // Проблемы Арктического региона: труды XVI Международной научной конференции студентов и аспирантов (г.Мурманск. 16 мая 2017 г.). Мурманск: Полиграфист, 2017г. С.171-175
20. Булавина А.С. Гидрологический режим озерно-речных систем западной части бассейна Белого моря // Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика), Том 1: материалы V международной конференции молодых учёных 5-8 сентября 2016 г. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2016. С. 155-157
21. Булавина А.С. Общие особенности гидрологического режима рек западной части бассейна Белого моря // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2015. №12. С.134-137
22. Булавина А.С. Особенности формирования речного стока в озерно-речных системах водосбора западной части Белого моря // Arctic Environmental Research. 2017б. Т. 17, № 3. С. 161-172. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3
23. Булавина А.С. Качество речных вод и их воздействие на водную среду Баренцева и Белого морей // Материалы научных мероприятий, приуроченных к 15-летию Южного научного центра Российской академии наук: Международного научного форума «Достижения академической науки на Юге России»; Международной молодежной научной конференции «Океанология в XXI веке: современные факты, модели, методы и средства» памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова; Всероссийской научной конференции «Аквакультура: мировой опыт и российские разработки» (г. Ростов-на-Дону, 13–16 декабря 2017 г.) / [гл. ред. акад. Г.Г. Матишов]. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017в. С. 302–305
24. Булавина А.С. Источники антропогенной нагрузки на прибрежные воды Баренцева моря // Арктические берега: путь к устойчивости: материалы XXVII международной береговой конференции / отв.ред. Е.А.Румянцева. Мурманск: МАГУ, 2018а. С. 282-285. DOI: 10.31519/conferencearticle_5ceb911e900.37263970
25. Булавина А.С. Источники загрязнения Баренцева и Белого морей // II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Будущее Арктики начинается здесь» (18 - 20 апреля 2018 г.). Тезисы докладов. Часть 2 / отв. ред. Н.Г.Дяченко. Апатиты: Изд. филиала МАГУ в г. Апатиты, 2018б. С.34-35
26. Булавина А.С., Дженюк С.Л. Дефицит солёности как показатель воздействия речного стока на морскую среду // Наука Юга России. 2017. Т.13. №2. С.50-59
27. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на

- метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ)». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>
28. Ваганова Е.С., Давыдова О.А. Физико-химические аспекты самоочищения малых рек от тяжелых металлов (на примере Ульяновской области) // Вода: химия и экология. № 3. 2012. С. 21-26.
29. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т.5. Биосфера. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 652 с.
30. Виноградова А.А. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2004. 218 с.
31. Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов с территории Кольского полуострова на поверхность Белого и Баренцева морей // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 6. С. 812–821.
32. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В. К. Ожигин, В. А. Ившин, А. Г. Трофимов, А.Л. Карсаков, М.Ю Анциферов. Мурманск: ПИНРО, 2016. 260 с.
33. Воеводина В.Л., Коробов В.Б., Клепиковская Е.В. Выбор и оценка влияющих факторов совмещением методов номинальных групп и анализа иерархий в задачах многокритериального оценивания // Вестник Северного (Арктического) федерального Университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2011. № 3. С. 43-50.
34. Воскобойников Г.М., Пуговкин Д.В. О возможной роли *Fucus Vesiculosus* в очистке прибрежных акваторий от нефтяного загрязнения // Вестник МГТУ, 2012. Т.15. №4. С.716-721.
35. Всероссийская перепись населения 2010 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm
36. Вязилова А.Е., Алексеев Г.В., Балакин А.А., Смирнов А.В. Влияние Арктики на формирование аномалий солености в Северо-Западной Атлантике и Северо-Европейском бассейне // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 3 (105). С. 39-50.
37. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т.6. Баренцево море / под ред. Ф.С.Терзиева. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 263 с.
38. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 280 с.
39. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 182 с.
40. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1991а. 240 с.

41. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биопродуктивности. Л.: Гидрометеоздат, 1991б. 193 с.
42. Голубева Н.И., Бурцева Л.В., Матишов Г.Г., Ильин Г.В. Результаты измерений тяжёлых металлов в атмосферных аэрозолях в открытых районах арктических морей в 2009-2010 гг. // Доклады Академии наук, 2013. Т.453. №1. С. 72.
43. Голубева Н.И., Матишов Г.Г., Бурцева Л.В. Результаты исследования загрязнения тяжёлыми металлами атмосферного воздуха в открытых районах Баренцева и Белого морей // Доклады Академии наук, 2002. Т.387. №4. С. 537-540.
44. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М. Наука. 1983. 160 с.
45. Гордеев В.В. Система река-море и ее роль в геохимии океана / дис. докт. геол.-мин. наук. М.: ИО РАН, 2009. 356 с.
46. Горшкова Л.Ю., Тремасова М.С. Условия самоочищения рек советского района Саратовской области // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. №11-4. С.81-85.
47. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2015 году». М.: НИА-Природа, 2016а. 270 с.
48. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2016б. 639 с.
49. Государственный доклад о состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году. М.: НИА Природа, 2010а. 288 с.
50. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2009 году / под ред. А.Н. Громцева. Петрозаводск: АУ «Издательский дом «Карелия»», 2010б. 296 с.
51. Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2010 году / под ред. А.Н. Громцева. Петрозаводск: ИП Андреев П.Н., 2011. 292 с.
52. Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2011 году / под ред. А.Н. Громцева. Петрозаводск: ИП Андреев П.Н., 2012. 294 с.
53. Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2012 году / под ред. А.Н.Громцева. Петрозаводск: ООО «Два товарища», 2013. 328 с.
54. Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2013 году / под ред. А.Н. Громцева. Петрозаводск: [б.и.], 2014а. 300 с.
55. Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2014 году / под ред. А.Н. Громцева. Петрозаводск: [б.и.], 2014б. 272 с.

56. Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2015 году / под ред. А.Н. Громцева. Петрозаводск: ООО «Два товарища», 2016. 300 с.
57. Громцев А.Н. Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 238 с.
58. Даценко Ю.С. Формирование и трансформация качества воды в системах источников водоснабжения города Москвы / автореф. дис. на соиск. уч. степени д.г.н. Москва, 2015. 49 с.
59. Денисов В.В. Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 502 с.
60. Дерюгин К. М. К гидрологии Белого моря // Записки по гидрографии. 1923. Т. 47. С. 35–80.
61. Дженюк С.Л. К обоснованию комплексной системы мониторинга морей Западной Арктики // Вестник Кольского научного центра. 2015. №2 (21). С.94-102.
62. Дженюк С.Л. Морфометрические характеристики шельфовых морей как элемент описания больших морских экосистем // Природа шельфа и архипелагов российской Арктики. Вып. 8. Материалы международной научной конференции (Мурманск, 9-11 ноября 2008 г.). М.: ГЕОС, 2008. С. 112-116.
63. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. СПб.: Наука, 2004. 294 с.
64. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Седова С.А., Алексеева А. А., Байжанова К.К., Грига С.А., Кислина А. Е. Интегральная оценка устойчивости наземных ландшафтов: от балльных оценок к композитным индексам на основе территориальных детерминант // Успехи современного естествознания, 2020. №2. С. 45-53
65. Дмитриева В. А. Географогидрологическая оценка водных ресурсов субъекта Российской Федерации в условиях меняющегося климата и хозяйственной деятельности / Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 2012. 47 с.
66. Добровольский А. Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: изд-во МГУ, 1982. 192 с.
67. Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2012 год» / под ред. А.В. Чулкова. Архангельск: [б.и.], 2013. 369 с.
68. Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2013 год» / под ред. А.В. Чулкова. Архангельск: [б.и.], 2014. 385 с.
69. Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2014 год» / под ред. С.В.Маслова. Архангельск: [б.и.], 2015. 448 с.
70. Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2015 год» / под ред. С.В.Маслова. Архангельск: [б.и.], 2016. 432 с.

71. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2010 году. Мурманск: ООО «Рекламное агентство XXI век», 2011. 152 с.
72. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2011 году. Мурманск: ООО «Ростсервис», 2012. 152 с.
73. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2012 году. Мурманск: Индивидуальный предприниматель Щербаков Максим Леонидович, 2013. 152 с.
74. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2013 году. Нижний Новгород: Индивидуальный предприниматель Кузнецов Никита Владимирович, 2014. 152 с.
75. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2009 году. Мурманск: Кн. изд-во, 2010. 152 с.
76. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2008 году. Мурманск: Кн. изд-во, 2009. 152 с.
77. Елисов В.В. Расчет теплового баланса Белого моря // Труды ГОИН. 1985. Вып.174. С. 107–112.
78. Елисов В.В. Оценка объёмов водных масс Белого моря // Метеорология и гидрология. 1999. №9. С.78-85
79. Еськов Е.К., Розенберг М.А. Естественная биологическая очистка стока малой реки // Известия оренбургского государственного аграрного университета. 2010. Т.4. №28-1. С.242-243.
80. Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря. Апатиты: изд-во КФ АН СССР, 1985. 220 с.
81. Жичкин А.П. Многолетняя изменчивость промысловой значимости различных районов промышленного рыболовства в Баренцевом море // Рыбное хозяйство. 2014а. №4. С. 59-63.
82. Жичкин А.П. Пространственно-временная изменчивость промысловой значимости различных районов рыбного лова в Баренцевом море // Вестник МГТУ. 2014б. Т.17. №3. С. 465-473.
83. Исаков А.Я., Касперович Е.В. О загрязнении нефтепродуктами Охотского моря // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. 2007. №02(26). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2007/02/pdf/13.pdf>
84. Кадашова Н.А. Физико-географические аспекты природопользования в Белом море. Дис. ...канд.геогр.наук. М., 2011. 175 с.
85. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2003 / под ред. Коршенко А.Н. М.: метеоагенство Росгидромета, 2005. 112 с.
86. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2004 / под ред. Коршенко А.Н. М.: метеоагенство Росгидромета, 2006. 202 с.
87. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2005 / под ред. Коршенко А.Н. М.: метеоагенство Росгидромета, 2008. 166 с.
88. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2006 / под ред. Коршенко А.Н. Обнинск: Артифекс, 2007. 146 с.

89. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2007 / под ред. Коршенко А.Н. Обнинск: ОАО «ФОП», 2009. 200 с.
90. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2008 / под ред. Коршенко А.Н. Обнинск: ОАО «ФОП», 2009. 192 с.
91. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2009 / под ред. Коршенко А.Н. Обнинск: Артифекс, 2010. 174 с.
92. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2010 / под ред. Коршенко А.Н. Обнинск: Артифекс, 2011. 196 с.
93. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2011 / под ред. Коршенко А.Н. Обнинск: Артифекс, 2012. 196 с.
94. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2012 / под ред. Коршенко А.Н. М.: Наука, 2013. 200 с.
95. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2013 / под ред. Коршенко А.Н. М.: Наука, 2014. 208 с.
96. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2014 / под ред. Коршенко А.Н. М.: Наука, 2015. 156 с.
97. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015 / под ред. Коршенко А.Н. М.: Наука, 2016. 184 с.
98. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2015. - Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2016. 552 с.
99. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Валькова С.А. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: восточная часть Мурманской области (бассейн Баренцева моря). Ч.1. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2010а. 249 с.
100. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Валькова С.А. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: восточная часть Мурманской области (бассейн Баренцева моря). Ч.2. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2010б. 128 с.
101. Клёнкин А.А. Влияние судоходства на состояние экосистемы Азовского моря // Экология и промышленность России. 2007. №3. С. 46-49.
102. Книпович Н.М. Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана // Записки по общей географии Импер. Рос. географ. общества, 1906. Т. 42. 1510 с.
103. Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / [отв. ред. Г.Г.Матишов]. Мурман. мор. биол. ин-т Кольского науч. центра РАН. М.: Наука, 2009. 381 с.
104. Комплексные исследования больших морских экосистем России / [отв. ред. Г.Г. Матишов]. Мурман. мор. биол. ин-т Кольского науч. центра РАН. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. 516 с.
105. Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы

- «Исследование природы Мирового океана федеральной целевой программы «Мировой океан». Вып.2. Апатиты: изд.-во КНЦ РАН, 2007. 633 с.
106. Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Черногаева Г.М. Формы, механизмы и показатели антропогенной нагрузки на водные ресурсы // Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003.
107. Коротынный Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: изд-во ин-та географии СО РАН, 2001. 163 с.
108. Крылов С.С., Бобров Н.Ю., Пряхина Г.В., Бричева С.С., Ионов В.В. Особенности распространения и трансформации речных вод в приливном эстуарии р. Кереть // Метеорология и гидрология, 2014. № 10, С. 54-64.
109. Крылов С.С., Бобров Н.Ю., Киселёв Е.Ю., Петлеванный Д.В., Пряхина Г.В., Смагин Р.Е. Применение георадарной технологии для изучения динамических процессов в устьевых областях рек // Труды государственного океанографического института, 2011. №213. С. 356-368.
110. Лаврова М.А. Основные этапы четвертичной истории Кольского полуострова // Известия всесоюзного географического общества, 1947. Т.79. Вып.1. С. 21-38.
111. Лебедева Е.С. Загрязнение шельфа морей России нефтяными углеводородами и пестицидами. В кн. Геоэкология шельфа и берегов морей России. М.: Ноосфера. 2001. С. 289-327.
112. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология, 1994. Том 34. № 5. С. 735-747.
113. Лисицын А.П. Терригенная седиментация, климатическая зональность и взаимодействие терригенного и биогенного вещества в океане // Литология и полезные ископаемые, 1977. № 6. С. 3-21.
114. Лисицын А.П., Фролов И.Е. Высокоширотная экспедиция в Баренцево море (14 рейс НЭС «Академик Федоров») – опыт системных исследований // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный мир, 2001. С. 19-30.
115. Лукин Ю.Ф. Горячие точки Российской Арктики // Арктика и север, 2013. №11. С. 1-35.
116. Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., Булавина А.С. Интегральная оценка потенциального воздействия материкового стока на водную среду Белого моря // Доклады академии наук, 2018. Т.481, №2, С.1-4. DOI: 10.31857/S086956520001205-8
117. Матишов Г.Г., Ильин Г.В. Ещё раз о влиянии морей России на здоровье человека // Вестник РАН, 2006. Том 76. №4. С. 315-317.
118. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. СПб: ГГИ, 2005.
119. Михайлова М.В. Процессы проникновения морских вод в устья рек // Водные ресурсы, 2013. Т.40. №5. С. 439-455.

120. Морской атлас. Т.2.Физико-географический / под ред. И.С. Исакова. – М.: ВМС, 1953. 76 карт.
121. Мохова О.Н., Климовский Н.В., Чернова В.Г., Мельник Р.А. О состоянии загрязненности вод Белого моря // Морские биологические исследования: достижения и перспективы. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции: в 3 томах. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. С. 163-167.
122. Наумов А.Д., Федяков В.В. Вечно живое Белое море. СПб. 1993. 334 с.
123. Наумова А.М., Гончарова М.Н., Наумова, А.Ю. Использование водных растений для очистки воды и грунта рыбохозяйственного водоема от органического и неорганического загрязнения // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии», 2015. №2 (14). С.72-77.
124. Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта) / К.В.Галактионов, В.В.Денисов, С.Г. Денисенко [и др.]. Апатиты, 1997. 393 с.
125. Национальный атлас России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://национальныйатлас.рф/cd1/322-323.html>
126. Невеский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.
127. Немировская И.А. Углеводороды в океане. М.: Научный мир, 2004. 328 с.
128. Немировская И.А., Травкина А.В., Трубкин И.П. Углеводороды в водах и донных осадках Белого моря // Проблемы Арктики и Антарктики, 2015. №3 (105). С. 77-90.
129. Носков Б.Д., Правдивец Ю.П. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. М.: Изд-во АСВ, 2004. 280 с.
130. Обзорные карты состояния ледяного покрова Северного Ледовитого океана. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.aari.ru/odata/_d0015.php
131. Озёра Карелии. Справочник // Ред. Н.Н. Филатов, В.И. Кухарев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 468 с.
132. Океанографическая энциклопедия. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 632 с.
133. Павлидис Ю.А., Никифоров С.Л., Огородов С.А., Тарасов Г.А. Печорское море: прошлое, настоящее, будущее // Океанология, 2007. Т.47. № 6. С.927-939.
134. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода - взвешенное вещество - донные отложения речных экосистем. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2001. 58 с.
135. Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: ВНИРО, 2009. 507 с.
136. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.

137. Повалишникова Е.С. Смешение речных и морских вод в устьях рек / Дис.на соискание степени канд.геогр.наук. М., 1995.
138. Правительство Архангельской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://old.dvinaland.ru/economy/timber/>
139. Приразломное меторождение. Газпром. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/pnm/>
140. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 1. Кольский полуостров. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 133 с.
141. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 3. Северный край. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 611 с.
142. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. I. Кольский полуостров. Л.: Гидрометеиздат. 1974. 235 с.
143. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 3. Северный край. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 300 с.
144. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 726 с.
145. Руководство по климатологической практике (ВМО-№ 100). Женева, 2014
146. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм (ВМО №1203). Женева, 2017
147. Русанов В.П. Особенности определения морских границ устьевых областей рек Арктики // Тр. ГОИН. 1978. Вып.142. С.122-125
148. Самойлов И.В. Устья рек. М.: Географгиз, 1952. 526 с.
149. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. 128 с.
150. Скибинский Л.Э. Значение геохимических барьерных зон в формировании эколого-гидрохимического состояния прибрежных вод Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря: материалы IX междунар. конф. Петрозаводск, 2005.
151. Скорняков В.А., Даценко Ю.С., Масленникова В.В. Картографирование условий самоочищения природных вод // Вестн. МГУ. Сер.5, геогр. 1997. № 5. С. 62-66.
152. Смирнова А.И., Терзиев Ф.С., Яковлева Н.П., Арсенчук М.О. Закономерности разномасштабной изменчивости элементов гидрометеорологического режима Белого моря, фоновые оценки их колебаний на современном этапе // Мат. VIII регион. науч.-практ. конф. «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Беломорск, 2001. С. 22–29.
153. Сони́на А.В. Эпилитные лишайники в экосистемах северо-запада России: видовое разнообразие, экология / дис. на соискание степени д.б.н., Петрозаводск, 2014.
154. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., 2004

155. Стурман В.И. Экологическое картографирование: Учебное пособие. М.: Аспект Пресс, 2003. 251 с.
156. Тимонов В.В. Схема общей циркуляции Бассейна Белого моря и происхождение его глубинных вод // Тр. ГОИН, 1947. Вып. 1(13). С. 118–131.
157. Толстикова А.В. Изменчивость температуры поверхностного слоя Белого моря. М.: ГЕОС, 2016. 212 с.
158. Толстикова А.В., Филатов Н.Н., Богданова М.С., Литвиненко А.В., Карпечко В.А., Дерусова О.В., Балаганский А.Ф. Электронный атлас Белого моря и его водосбора // Свид. о гос.рег.базы данных №2017620252, от 01 марта 2017.
159. Толстикова А.В. Чернов И.А. Антропогенное воздействие на экологическое состояние Белого моря // Научно-исследовательские публикации, 2014. №15 (19). С. 19-31.
160. Торгашкова О.Н., Левина Е.С., Гахраманов С.Г. Оценка самоочищения реки Волги в окрестностях города Саратова // Известия Саратовского университета, 2015. Т.15. №1. С. 102-105.
161. Торгашкова О.Н., Левина Е.С., Исмаилова З.Н. Роль высших водных растений в процессах самоочищения малых рек саратовского Заволжья / Наука и образование: проблемы и перспективы развития. Материалы международной науч.-практ. Конференции. Тамбов, 2014. С.146-148.
162. Федеральное агентство водных ресурсов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://voda.mnr.gov.ru/>
163. Филатов Н. Н., Тержевик А. Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 349 с.
164. Фролов Ю.С. Новые фундаментальные данные по морфометрии Мирового океана // Вестник ЛГУ, 1971. Вып.1. №6. С. 85-90.
165. Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение) / Г. Г. Матишов, Л. Г. Павлова, Г. В. Ильин и др. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 404 с.
166. Хоменко Г.Д., Лещев А.В. Прибрежный стоковый фронт в Печорском море // Вестник САФУ, №4, 2010. С.27-30.
167. Цыганкова А.Е. Масс-балансовая оценка переноса и накопления осадочного вещества и соединений меди в Белом море / Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2006. 26 с.
168. Шамов Г.И. Речные наносы. Режим, расчеты и методы измерений. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 377 с.
169. Шаплыгина Ю.Н., Курочкина Т.Ф., Насибулина Б.М. Интегральная значимость пресноводных моллюсков в самоочищении дельты реки Волги // Естественные науки, 2016. №2(55). С.27-32.
170. Шевченко В.П., Коробов В.Б., Лисицын А.П. и др. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на Европейском Севере России в желтый цвет (март 2008 г.) // Доклады Академии наук, 2010. Т. 431, № 5. С. 675–679.

171. Шикломанов И. А. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 598 с.
172. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России // Тез. докл. всемирной конференции по изменению климата. Москва. 29 сент.- 3 окт. М., 2003. С. 250.
173. Яковлев Б.А. Климат Мурманской области. Мурманск: Мурманское книжное издательство, 1961. 200 с.
174. Chernov I., Tolstikov A., Yakovlev N. Modelling of tracer transport in the White Sea. Proceed. of the 11-th Int. Scientific and Practical Conference «Environment. Technology. Resources». Vol. I. Rezekne, Latvia, 2017. P. 54-58.
175. Gladkov G.L. Hydraulic resistance in natural channels with movable bed // Proc. of the Int. Symp. East-West, North-South Enc. On the State of the art in Riv. Eng. Methods and Design Philosophies. St.-Petersburg, 1994. Vol. 1. P. 81–91.
176. Grishanin K.V. The relation between river channel dimensions and discharge of water. Study of erosion, river bed deformation and sediment transport in river basins as related to natural and man-made changes // IHP-V, Technical Documents in Hydrology, 1997. №.10. P. 195–204.
177. Hansen D.V., Rattray M. New dimensions in estuary classification // Limnology and oceanography, 1966. Vol. 11. № 3. P. 319-326.
178. Ingleby B., Huddleston M. Quality control of ocean temperature and salinity profiles – Historical and realtime data // Journal of Marine Systems. 2007. Vol. 65. P. 158–175.
179. Johnson D.R., Boyer T.P., Garcia H.E., Locarnini R.A., Baranova O.K. and Zweng M.M. World Ocean Database 2009 Documentation // Ed. by S. Levitus. NODC Internal Report 20. NOAA Printing Office, Silver Spring, MD, 2009. 175 p.
180. Ketchum B.H. The exchange of fresh and salt waters in tidal estuaries // Journ. of Marine Research, 1951. Vol. 10. P. 18-38.
181. Marine Traffic: Global Ship Tracking Intelligence. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://izobata.ru/otslezhivanie-sudov-na-karte-mira-so-sputnikov-v-rezhime-realnogo-vremeni/>
182. Nazarova L. Climate dynamics of the Beloe Sea catchment area // Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources 10. "Environment. Technology. Resources - Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference", 2015. P. 232-234.
183. Pritchard D.W. Estuarine circulation patterns // Proc. ASCE. 1955. Vol. 81. № 717. P. 12-36.
184. Pritchard D.W. Estuarine hydrography // Adv. Ecophys, 1952. №1. P. 243–280.
185. Pritchard D.W. What is an estuary: a physical viewpoint // Estuaries. Washington: Am. Ass. Adv. Sci., 1967. Publ. 83. P. 3–5.
186. Status Report on the marine environment of the Barents Region. The Joint Norwegian-Russian Commission on Environmental Cooperation. Oslo, 1997

ПРИЛОЖЕНИЕ. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИКОВОГО ВОДОСБОРА БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ

Таблица А1

Средние месячные, годовые и сезонные температуры на водосборе Баренцева и Белого морей за период 1926-2015 гг., °С
(рассчитано по методу тяготеющих площадей)

| Годы | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь | Средние годовые |
|------|--------|---------|--------|--------|------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|---------|-----------------|
| 1926 | -12.81 | -11.97 | -5.01 | -2.45 | 3.88 | 11.74 | 10.83 | 10.15 | 6.59 | -0.56 | -4.75 | -13.14 | -0.62 |
| 1927 | -19.28 | -9.66 | -9.39 | -1.26 | 5.06 | 12.56 | 16.38 | 14.57 | 6.54 | -1.09 | -7.79 | -12.38 | -0.48 |
| 1928 | -11.59 | -11.72 | -8.70 | -3.52 | 5.45 | 10.14 | 14.82 | 13.19 | 7.68 | -0.51 | -8.23 | -7.92 | -0.07 |
| 1929 | -16.23 | -18.11 | -12.09 | -7.18 | 5.14 | 11.10 | 13.68 | 12.66 | 7.43 | 3.44 | -2.09 | -9.26 | -0.96 |
| 1930 | -6.48 | -14.83 | -10.53 | -2.80 | 5.29 | 9.51 | 14.08 | 16.19 | 5.39 | 0.65 | -4.11 | -13.93 | -0.13 |
| 1931 | -14.42 | -12.49 | -10.08 | -0.46 | 7.32 | 11.52 | 17.47 | 15.79 | 6.79 | 1.54 | -4.37 | -10.21 | 0.70 |
| 1932 | -8.88 | -16.31 | -10.34 | 1.10 | 4.91 | 10.58 | 15.72 | 15.89 | 8.69 | 1.76 | -4.91 | -7.71 | 0.87 |
| 1933 | -14.68 | -14.92 | -12.44 | -0.84 | 3.23 | 11.46 | 18.15 | 11.04 | 6.84 | 2.30 | -7.34 | -15.77 | -1.08 |
| 1934 | -6.92 | -11.37 | -8.22 | -2.16 | 8.77 | 11.03 | 16.72 | 13.23 | 7.55 | 2.23 | -1.91 | -8.00 | 1.75 |
| 1935 | -12.09 | -7.88 | -6.97 | -1.93 | 3.11 | 11.49 | 14.40 | 12.66 | 7.06 | 0.71 | -3.32 | -6.26 | 0.91 |
| 1936 | -13.32 | -18.05 | -8.55 | 0.12 | 5.49 | 14.93 | 16.35 | 13.95 | 6.94 | 0.09 | -1.43 | -4.00 | 1.04 |
| 1937 | -9.38 | -9.80 | -7.95 | 0.96 | 4.78 | 13.85 | 14.96 | 14.56 | 7.61 | 2.84 | -3.32 | -13.34 | 1.32 |
| 1938 | -12.61 | -10.35 | -4.94 | -0.17 | 5.68 | 11.38 | 18.13 | 13.68 | 10.03 | 0.65 | -3.37 | -11.18 | 1.41 |
| 1939 | -13.18 | -11.33 | -7.59 | -2.96 | 2.86 | 11.45 | 14.29 | 12.28 | 4.18 | -0.48 | -1.53 | -10.24 | -0.19 |
| 1940 | -21.78 | -15.82 | -11.89 | -2.13 | 4.10 | 11.47 | 16.12 | 15.80 | 9.61 | -0.61 | -4.79 | -13.80 | -1.14 |
| 1941 | -19.41 | -14.13 | -14.51 | -5.53 | 2.62 | 8.59 | 15.50 | 13.63 | 5.72 | -0.81 | -6.53 | -19.81 | -2.89 |
| 1942 | -18.90 | -13.82 | -15.84 | -2.27 | 4.48 | 12.20 | 14.38 | 12.44 | 7.36 | 0.23 | -6.76 | -9.46 | -1.33 |
| 1943 | -17.50 | -7.04 | -6.00 | 0.76 | 7.02 | 12.74 | 17.93 | 12.92 | 7.68 | 1.27 | -1.77 | -7.23 | 1.73 |
| 1944 | -8.44 | -9.15 | -7.41 | -2.52 | 5.20 | 10.01 | 13.22 | 11.86 | 8.94 | 3.88 | -3.82 | -8.30 | 1.12 |
| 1945 | -11.79 | -13.28 | -11.04 | -2.46 | 2.22 | 11.03 | 13.36 | 15.45 | 7.06 | -1.52 | -6.99 | -17.48 | -1.29 |
| 1946 | -11.40 | -16.89 | -8.77 | -2.11 | 3.55 | 10.99 | 15.26 | 13.90 | 7.96 | -2.08 | -5.69 | -6.65 | -0.16 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 1947 | -12.66 | -19.69 | -11.17 | -0.57 | 3.25 | 12.99 | 12.62 | 12.90 | 8.80 | 1.62 | -4.89 | -11.39 | -0.68 |
| 1948 | -13.96 | -13.36 | -9.39 | -0.63 | 8.84 | 13.77 | 12.59 | 11.60 | 8.29 | 2.36 | -2.53 | -10.15 | 0.62 |
| 1949 | -7.36 | -13.77 | -8.07 | 0.14 | 5.96 | 10.31 | 12.11 | 12.88 | 7.55 | 0.48 | -4.98 | -9.16 | 0.51 |
| 1950 | -19.18 | -12.24 | -6.00 | 2.97 | 4.84 | 10.93 | 12.09 | 12.21 | 8.23 | 3.34 | -5.27 | -7.43 | 0.37 |
| 1951 | -14.31 | -15.00 | -8.77 | 2.93 | 2.61 | 10.67 | 13.59 | 15.64 | 8.16 | 2.54 | -6.74 | -6.88 | 0.37 |
| 1952 | -8.83 | -8.75 | -12.97 | -2.25 | 2.38 | 12.46 | 16.19 | 11.25 | 7.31 | -1.92 | -6.70 | -11.96 | -0.32 |
| 1953 | -13.26 | -18.56 | -8.52 | 2.73 | 5.03 | 14.64 | 14.63 | 15.17 | 4.65 | 0.89 | -5.63 | -5.75 | 0.50 |
| 1954 | -12.43 | -15.57 | -6.36 | -0.28 | 6.30 | 12.36 | 18.91 | 12.67 | 8.49 | 1.78 | -6.50 | -5.82 | 1.13 |
| 1955 | -10.44 | -16.40 | -12.97 | -1.95 | 5.31 | 10.00 | 14.12 | 12.11 | 7.86 | 2.33 | -9.24 | -22.03 | -1.77 |
| 1956 | -14.95 | -18.29 | -5.90 | -5.61 | 6.13 | 14.21 | 12.46 | 12.09 | 4.73 | -0.77 | -11.39 | -7.39 | -1.22 |
| 1957 | -11.63 | -8.17 | -14.67 | -2.01 | 6.74 | 10.71 | 17.24 | 15.46 | 8.67 | 1.33 | -6.89 | -9.70 | 0.59 |
| 1958 | -13.86 | -13.00 | -13.67 | -2.85 | 2.95 | 10.75 | 13.59 | 12.69 | 4.87 | 1.97 | -3.41 | -19.13 | -1.59 |
| 1959 | -11.12 | -8.87 | -4.16 | -4.03 | 5.72 | 13.82 | 15.62 | 13.98 | 5.68 | -2.42 | -4.95 | -11.30 | 0.66 |
| 1960 | -17.42 | -16.43 | -10.98 | 0.11 | 6.22 | 12.32 | 18.94 | 12.89 | 6.97 | -2.93 | -8.37 | -7.93 | -0.55 |
| 1961 | -9.40 | -7.62 | -4.11 | -4.04 | 3.69 | 14.47 | 18.08 | 13.34 | 6.56 | 4.63 | -6.55 | -12.17 | 1.41 |
| 1962 | -10.89 | -8.83 | -10.96 | 1.82 | 7.84 | 9.79 | 14.79 | 11.30 | 7.80 | 0.64 | -1.32 | -12.28 | 0.81 |
| 1963 | -17.61 | -15.27 | -17.36 | -0.95 | 9.40 | 10.26 | 14.66 | 12.97 | 9.45 | 2.25 | -6.09 | -14.03 | -1.03 |
| 1964 | -13.86 | -12.58 | -11.13 | -3.80 | 5.34 | 11.57 | 16.97 | 13.44 | 6.80 | 2.11 | -9.61 | -9.15 | -0.33 |
| 1965 | -14.34 | -16.20 | -7.33 | -1.45 | 2.32 | 12.10 | 13.59 | 12.10 | 8.23 | -0.45 | -10.89 | -8.36 | -0.89 |
| 1966 | -20.12 | -24.33 | -12.76 | -2.65 | 5.64 | 10.81 | 15.91 | 12.40 | 5.73 | -1.66 | -1.96 | -15.55 | -2.38 |
| 1967 | -17.90 | -11.08 | -1.19 | 3.00 | 5.59 | 11.41 | 15.63 | 16.05 | 8.16 | 3.45 | -0.19 | -14.29 | 1.55 |
| 1968 | -21.50 | -11.75 | -5.81 | -3.35 | 4.50 | 11.57 | 11.14 | 12.40 | 5.06 | -2.14 | -10.15 | -14.20 | -2.02 |
| 1969 | -21.44 | -19.38 | -11.48 | -1.65 | 1.04 | 7.43 | 14.06 | 11.25 | 7.33 | 0.23 | -3.21 | -12.93 | -2.40 |
| 1970 | -15.34 | -15.72 | -4.47 | -2.13 | 4.06 | 11.35 | 16.76 | 12.75 | 8.84 | 1.74 | -8.20 | -10.18 | -0.05 |
| 1971 | -11.32 | -17.74 | -10.10 | -3.71 | 3.14 | 9.07 | 14.28 | 11.74 | 6.89 | -1.86 | -6.58 | -12.79 | -1.58 |
| 1972 | -17.57 | -11.54 | -7.75 | -0.69 | 2.94 | 12.41 | 18.09 | 15.59 | 6.07 | 1.34 | -9.07 | -4.54 | 0.44 |
| 1973 | -15.60 | -11.61 | -7.29 | 1.34 | 6.92 | 13.47 | 15.39 | 12.73 | 4.10 | -0.95 | -7.83 | -14.28 | -0.30 |
| 1974 | -14.99 | -11.15 | -3.55 | -1.94 | 3.17 | 13.91 | 19.20 | 13.84 | 10.08 | 1.90 | -9.27 | -3.89 | 1.44 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 1975 | -11.88 | -14.17 | -3.12 | 1.26 | 6.69 | 10.68 | 14.47 | 10.94 | 9.47 | -0.71 | -4.37 | -9.24 | 0.83 |
| 1976 | -18.24 | -14.77 | -8.21 | 0.29 | 4.98 | 10.14 | 14.68 | 12.67 | 6.10 | -3.12 | -5.94 | -7.82 | -0.77 |
| 1977 | -14.46 | -16.14 | -8.41 | 0.38 | 7.26 | 13.19 | 16.11 | 12.30 | 6.44 | -3.03 | -2.80 | -11.27 | -0.04 |
| 1978 | -12.29 | -16.22 | -7.00 | -5.29 | 3.36 | 8.81 | 13.13 | 10.71 | 6.36 | -0.14 | -5.41 | -22.23 | -2.18 |
| 1979 | -18.16 | -16.70 | -7.12 | -5.65 | 7.38 | 9.14 | 15.08 | 12.73 | 8.04 | -1.95 | -4.39 | -9.49 | -0.92 |
| 1980 | -16.43 | -12.43 | -9.70 | -0.77 | 4.01 | 13.46 | 12.67 | 10.32 | 7.62 | 1.19 | -8.64 | -10.65 | -0.78 |
| 1981 | -8.85 | -11.79 | -11.27 | -3.91 | 4.38 | 12.54 | 16.27 | 14.82 | 7.29 | 4.42 | -3.25 | -10.31 | 0.86 |
| 1982 | -20.65 | -11.33 | -8.02 | 0.04 | 6.69 | 8.13 | 16.07 | 10.86 | 7.62 | -1.82 | -2.29 | -6.45 | -0.09 |
| 1983 | -10.44 | -13.39 | -7.47 | 1.39 | 5.21 | 11.20 | 16.03 | 11.43 | 7.99 | 1.83 | -8.41 | -10.44 | 0.41 |
| 1984 | -9.90 | -8.92 | -6.40 | -2.52 | 8.68 | 12.62 | 15.70 | 11.47 | 6.77 | -0.50 | -9.48 | -11.45 | 0.51 |
| 1985 | -23.72 | -22.35 | -5.71 | -3.20 | 2.86 | 11.80 | 14.06 | 13.84 | 8.43 | 1.09 | -5.94 | -17.25 | -2.17 |
| 1986 | -14.99 | -17.43 | -3.57 | -0.35 | 3.73 | 12.63 | 13.06 | 10.46 | 4.53 | 1.59 | -1.67 | -18.18 | -0.85 |
| 1987 | -21.07 | -14.77 | -8.39 | -3.91 | 6.30 | 12.17 | 13.41 | 10.77 | 7.14 | 3.82 | -10.34 | -14.81 | -1.64 |
| 1988 | -13.73 | -11.28 | -5.05 | -3.16 | 5.23 | 13.21 | 18.05 | 13.78 | 7.59 | 1.82 | -9.86 | -12.47 | 0.34 |
| 1989 | -12.55 | -8.89 | -2.21 | 0.31 | 8.26 | 16.54 | 16.15 | 13.03 | 8.44 | 0.74 | -6.13 | -12.58 | 1.76 |
| 1990 | -17.21 | -3.76 | -4.43 | 2.21 | 3.97 | 11.56 | 16.80 | 12.95 | 5.56 | -0.47 | -9.65 | -8.00 | 0.80 |
| 1991 | -15.25 | -10.88 | -9.88 | 1.40 | 7.48 | 14.55 | 14.29 | 12.26 | 6.55 | 3.03 | -2.97 | -11.76 | 0.74 |
| 1992 | -14.24 | -8.73 | -3.31 | -5.00 | 6.61 | 10.70 | 13.59 | 11.44 | 10.23 | -4.92 | -11.23 | -5.97 | -0.07 |
| 1993 | -9.88 | -9.57 | -6.33 | -2.16 | 5.71 | 13.24 | 16.05 | 12.56 | 4.22 | -0.83 | -9.67 | -10.87 | 0.21 |
| 1994 | -12.20 | -16.65 | -5.31 | 1.87 | 3.14 | 12.76 | 14.17 | 12.42 | 7.59 | 1.62 | -9.86 | -8.40 | 0.10 |
| 1995 | -7.99 | -5.87 | -3.67 | 2.90 | 7.10 | 12.46 | 13.82 | 12.64 | 8.37 | 1.58 | -9.02 | -14.74 | 1.47 |
| 1996 | -10.16 | -13.59 | -5.71 | -2.51 | 4.69 | 11.01 | 14.22 | 12.18 | 5.28 | 2.07 | -0.69 | -10.76 | 0.50 |
| 1997 | -16.69 | -13.35 | -6.25 | -1.34 | 4.72 | 12.20 | 13.00 | 12.85 | 8.23 | 0.28 | -8.37 | -14.54 | -0.77 |
| 1998 | -13.17 | -22.94 | -7.81 | -5.77 | 4.98 | 12.21 | 17.40 | 11.99 | 6.33 | 0.70 | -11.68 | -13.17 | -1.74 |
| 1999 | -19.42 | -13.03 | -8.35 | -0.57 | 0.47 | 13.47 | 15.62 | 11.71 | 7.97 | 3.91 | -9.13 | -7.69 | -0.42 |
| 2000 | -13.58 | -9.28 | -4.82 | 1.85 | 6.34 | 13.74 | 17.62 | 12.40 | 7.55 | 4.07 | -4.56 | -12.94 | 1.53 |
| 2001 | -9.93 | -17.41 | -10.61 | 1.81 | 5.23 | 12.54 | 16.19 | 12.57 | 9.40 | -0.78 | -8.09 | -13.99 | -0.25 |
| 2002 | -14.90 | -9.28 | -6.41 | 0.79 | 4.69 | 11.54 | 16.52 | 10.47 | 6.00 | -0.72 | -10.01 | -15.72 | -0.59 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| 2003 | -18.75 | -11.07 | -5.78 | -0.98 | 8.01 | 8.96 | 17.60 | 15.55 | 8.23 | 2.82 | -3.50 | -7.29 | 1.15 |
| 2004 | -11.28 | -12.65 | -7.18 | -2.75 | 6.21 | 11.45 | 18.47 | 12.95 | 8.37 | 1.38 | -5.99 | -9.05 | 0.83 |
| 2005 | -8.08 | -11.76 | -11.41 | -1.18 | 8.10 | 12.35 | 16.11 | 14.77 | 9.24 | 4.31 | 0.86 | -8.66 | 2.05 |
| 2006 | -15.91 | -15.54 | -9.86 | 0.20 | 6.88 | 14.96 | 13.54 | 12.78 | 8.25 | -0.11 | -6.93 | -5.26 | 0.25 |
| 2007 | -8.65 | -19.42 | -1.47 | 0.95 | 6.25 | 10.44 | 16.95 | 15.01 | 8.37 | 4.16 | -5.62 | -4.82 | 1.85 |
| 2008 | -8.75 | -9.22 | -7.09 | -1.33 | 3.63 | 11.75 | 16.15 | 11.48 | 6.61 | 3.84 | -2.51 | -4.34 | 1.68 |
| 2009 | -13.18 | -12.71 | -6.02 | -2.34 | 5.85 | 11.90 | 14.63 | 12.83 | 10.30 | 0.63 | -4.01 | -15.18 | 0.23 |
| 2010 | -17.44 | -16.64 | -8.30 | 2.11 | 9.52 | 11.34 | 17.84 | 13.27 | 7.83 | 2.47 | -6.55 | -15.04 | 0.03 |
| 2011 | -13.57 | -19.97 | -4.77 | 1.86 | 8.37 | 14.13 | 17.00 | 11.87 | 9.19 | 3.68 | -3.57 | -3.49 | 1.73 |
| 2012 | -11.39 | -14.73 | -8.42 | 0.97 | 8.21 | 13.45 | 15.71 | 12.52 | 8.87 | 2.82 | -3.70 | -15.71 | 0.72 |
| 2013 | -13.48 | -7.68 | -14.83 | 0.59 | 7.35 | 14.97 | 17.45 | 14.97 | 8.14 | 0.85 | -1.67 | -7.59 | 1.59 |
| 2014 | -16.27 | -9.65 | -3.11 | -0.11 | 6.73 | 11.34 | 14.07 | 14.86 | 8.36 | -1.77 | -3.98 | -8.46 | 1.00 |
| 2015 | -14.94 | -7.34 | -1.80 | 1.00 | 10.04 | 13.32 | 11.99 | 12.19 | 9.63 | 0.78 | -4.37 | -6.99 | 1.96 |

Таблица А2

Среднее месячное и годовое количество осадков на водосборе Баренцева и Белого морей за период 1936-2015 гг., мм
(рассчитано по методу тяготеющих площадей)

| Годы | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь | Годовая сумма |
|------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|---------|------------------|
| 1936 | 27.66 | 16.58 | 17.53 | 15.31 | 24.77 | 32.44 | 63.37 | 39.65 | 59.72 | 32.70 | 27.30 | 25.50 | 382.52 |
| 1937 | 16.18 | 23.12 | 23.11 | 12.25 | 33.69 | 38.58 | 44.18 | 26.41 | 59.61 | 29.50 | 25.73 | 18.25 | 350.62 |
| 1938 | 17.84 | 15.22 | 22.46 | 24.40 | 26.64 | 62.98 | 45.13 | 49.72 | 39.40 | 26.08 | 47.81 | 19.99 | 397.69 |
| 1939 | 23.02 | 20.82 | 13.19 | 28.05 | 25.53 | 54.00 | 50.48 | 35.40 | 57.72 | 33.31 | 29.61 | 27.61 | 398.76 |
| 1940 | 15.77 | 16.38 | 21.53 | 18.04 | 15.34 | 44.40 | 77.67 | 54.15 | 60.97 | 26.15 | 40.50 | 23.59 | 414.48 |
| 1941 | 17.50 | 17.13 | 16.95 | 17.97 | 30.92 | 54.69 | 32.18 | 63.67 | 62.03 | 45.01 | 18.33 | 19.37 | 395.77 |
| 1942 | 16.52 | 11.94 | 16.45 | 17.69 | 35.89 | 41.63 | 71.03 | 59.78 | 51.34 | 47.88 | 24.95 | 20.58 | 415.68 |
| 1943 | 17.21 | 17.07 | 13.75 | 29.44 | 34.15 | 36.68 | 37.44 | 80.73 | 53.01 | 35.26 | 22.13 | 23.72 | 400.60 |
| 1944 | 22.74 | 14.96 | 12.03 | 21.93 | 41.90 | 47.25 | 44.01 | 68.69 | 41.15 | 40.95 | 20.37 | 17.06 | 393.05 |
| 1945 | 13.89 | 12.78 | 16.80 | 16.94 | 29.88 | 48.66 | 38.49 | 50.81 | 64.05 | 44.91 | 23.19 | 13.93 | 374.33 |
| 1946 | 22.65 | 17.83 | 13.15 | 21.54 | 28.15 | 39.19 | 41.76 | 62.05 | 47.49 | 32.07 | 32.95 | 23.88 | 382.72 |
| 1947 | 16.25 | 18.03 | 22.73 | 28.22 | 29.65 | 33.71 | 46.11 | 42.49 | 46.49 | 49.42 | 36.08 | 27.16 | 396.34 |
| 1948 | 21.46 | 17.58 | 13.36 | 25.88 | 33.46 | 59.64 | 50.94 | 69.40 | 55.66 | 50.63 | 35.02 | 24.26 | 457.29 |
| 1949 | 27.18 | 18.94 | 13.07 | 27.52 | 36.88 | 61.47 | 59.47 | 77.65 | 40.84 | 55.58 | 22.60 | 26.20 | 467.40 |
| 1950 | 13.03 | 20.43 | 22.76 | 32.00 | 43.99 | 43.80 | 57.05 | 34.48 | 56.43 | 25.64 | 26.30 | 26.19 | 402.09 |
| 1951 | 19.34 | 13.65 | 17.68 | 31.48 | 29.11 | 60.65 | 92.60 | 34.77 | 65.88 | 27.16 | 36.38 | 33.57 | 462.27 |
| 1952 | 27.84 | 13.14 | 14.10 | 15.44 | 29.65 | 29.82 | 55.23 | 90.95 | 68.74 | 24.91 | 26.26 | 33.96 | 430.03 |
| 1953 | 25.83 | 10.76 | 31.69 | 25.29 | 40.65 | 31.44 | 62.20 | 79.89 | 51.53 | 39.09 | 21.91 | 25.42 | 445.70 |
| 1954 | 20.09 | 9.44 | 20.83 | 21.15 | 28.42 | 78.60 | 54.84 | 52.52 | 65.35 | 53.94 | 31.84 | 27.99 | 465.01 |
| 1955 | 38.54 | 24.40 | 21.14 | 19.26 | 54.37 | 60.84 | 43.78 | 35.40 | 52.39 | 71.37 | 44.75 | 14.69 | 480.93 |
| 1956 | 19.28 | 7.86 | 15.41 | 22.96 | 30.39 | 38.54 | 59.98 | 79.82 | 57.56 | 38.46 | 29.60 | 28.63 | 428.50 |
| 1957 | 28.58 | 30.03 | 12.31 | 28.18 | 42.13 | 69.25 | 55.46 | 60.16 | 72.22 | 60.35 | 46.26 | 47.33 | 552.25 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1958 | 29.17 | 28.20 | 18.46 | 14.33 | 46.76 | 52.21 | 55.80 | 43.53 | 39.82 | 42.06 | 32.53 | 27.62 | 430.50 |
| 1959 | 39.58 | 20.35 | 21.56 | 26.14 | 18.43 | 41.08 | 48.48 | 41.12 | 64.05 | 34.31 | 21.91 | 24.41 | 401.40 |
| 1960 | 31.96 | 31.27 | 19.75 | 13.34 | 21.71 | 57.87 | 43.93 | 31.82 | 47.83 | 38.18 | 31.66 | 33.27 | 402.59 |
| 1961 | 30.86 | 32.57 | 34.09 | 26.92 | 37.55 | 42.82 | 55.12 | 68.88 | 45.17 | 36.51 | 34.62 | 42.70 | 487.81 |
| 1962 | 44.19 | 25.46 | 27.13 | 30.15 | 36.36 | 44.60 | 76.61 | 59.89 | 58.07 | 46.58 | 38.65 | 40.83 | 528.52 |
| 1963 | 22.27 | 20.25 | 14.62 | 13.49 | 28.12 | 60.62 | 75.64 | 57.99 | 56.21 | 47.31 | 47.14 | 33.61 | 477.28 |
| 1964 | 37.57 | 20.38 | 14.56 | 20.94 | 39.00 | 34.84 | 48.38 | 49.15 | 66.74 | 40.84 | 32.51 | 25.91 | 430.83 |
| 1965 | 20.14 | 22.24 | 28.48 | 8.81 | 35.33 | 52.14 | 58.53 | 75.40 | 47.52 | 59.74 | 34.59 | 45.78 | 488.71 |
| 1966 | 27.84 | 29.07 | 41.06 | 46.11 | 41.73 | 50.66 | 65.91 | 74.12 | 84.51 | 77.83 | 43.83 | 27.47 | 610.14 |
| 1967 | 31.73 | 21.75 | 29.26 | 34.30 | 34.73 | 36.05 | 48.53 | 51.34 | 48.96 | 72.81 | 38.88 | 44.25 | 492.58 |
| 1968 | 24.21 | 26.57 | 34.60 | 33.25 | 40.02 | 57.18 | 51.92 | 77.18 | 47.22 | 56.32 | 45.07 | 31.76 | 525.31 |
| 1969 | 19.98 | 13.04 | 18.27 | 25.56 | 33.55 | 42.57 | 51.38 | 69.48 | 55.96 | 45.33 | 47.37 | 22.11 | 444.60 |
| 1970 | 45.41 | 27.71 | 17.95 | 33.84 | 38.43 | 36.07 | 53.84 | 40.75 | 89.85 | 59.52 | 32.93 | 36.37 | 512.66 |
| 1971 | 41.88 | 17.41 | 23.06 | 33.68 | 37.11 | 39.75 | 63.80 | 91.27 | 62.64 | 52.66 | 50.14 | 27.68 | 541.08 |
| 1972 | 22.39 | 22.72 | 25.14 | 35.27 | 32.01 | 39.05 | 47.51 | 51.11 | 62.13 | 48.29 | 49.69 | 44.56 | 479.88 |
| 1973 | 40.49 | 23.62 | 24.00 | 30.80 | 30.92 | 50.86 | 31.43 | 76.11 | 48.49 | 59.40 | 50.11 | 44.27 | 510.51 |
| 1974 | 24.72 | 40.26 | 20.49 | 27.69 | 35.64 | 35.77 | 60.11 | 83.97 | 60.57 | 42.25 | 40.74 | 37.69 | 509.90 |
| 1975 | 31.50 | 31.56 | 28.60 | 39.24 | 45.42 | 75.34 | 59.74 | 55.52 | 63.85 | 58.38 | 43.23 | 47.82 | 580.21 |
| 1976 | 29.08 | 18.84 | 16.06 | 31.23 | 33.58 | 73.61 | 55.03 | 69.11 | 72.92 | 22.97 | 42.39 | 30.20 | 495.01 |
| 1977 | 31.13 | 23.24 | 32.83 | 25.16 | 47.63 | 65.83 | 55.77 | 67.86 | 62.28 | 64.42 | 52.78 | 30.68 | 559.61 |
| 1978 | 30.82 | 21.20 | 44.28 | 27.58 | 11.32 | 42.97 | 72.16 | 70.39 | 46.68 | 68.22 | 45.88 | 26.54 | 508.04 |
| 1979 | 27.95 | 20.67 | 25.42 | 20.38 | 54.37 | 59.57 | 58.08 | 76.80 | 63.51 | 50.47 | 48.42 | 33.97 | 539.62 |
| 1980 | 28.15 | 22.54 | 11.42 | 18.24 | 41.19 | 41.01 | 47.74 | 44.07 | 45.89 | 46.34 | 58.42 | 50.99 | 456.00 |
| 1981 | 42.13 | 20.15 | 21.38 | 28.15 | 33.83 | 95.87 | 70.52 | 80.97 | 54.54 | 62.93 | 37.47 | 56.32 | 604.26 |
| 1982 | 35.54 | 30.80 | 23.59 | 40.21 | 58.03 | 70.91 | 60.35 | 63.62 | 51.98 | 46.81 | 57.86 | 48.90 | 588.59 |
| 1983 | 39.53 | 26.18 | 37.28 | 34.51 | 40.63 | 55.77 | 72.08 | 87.86 | 67.09 | 70.76 | 65.03 | 54.46 | 651.18 |
| 1984 | 33.68 | 14.49 | 22.07 | 22.56 | 27.42 | 66.06 | 97.47 | 75.46 | 47.54 | 54.48 | 38.05 | 24.54 | 523.82 |
| 1985 | 25.95 | 10.08 | 23.69 | 32.53 | 37.16 | 48.37 | 38.74 | 71.51 | 51.60 | 61.81 | 41.06 | 47.75 | 490.25 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1986 | 31.87 | 22.18 | 24.40 | 37.47 | 38.90 | 33.56 | 68.42 | 65.62 | 63.79 | 48.60 | 47.05 | 32.12 | 513.99 |
| 1987 | 24.63 | 34.38 | 15.81 | 21.92 | 44.64 | 69.94 | 100.34 | 70.76 | 35.57 | 17.15 | 26.95 | 40.98 | 503.08 |
| 1988 | 26.18 | 30.94 | 19.17 | 38.32 | 36.60 | 37.14 | 48.17 | 79.96 | 50.00 | 57.86 | 41.56 | 34.26 | 500.16 |
| 1989 | 41.64 | 28.61 | 24.84 | 16.65 | 33.40 | 45.26 | 91.41 | 83.09 | 63.84 | 57.53 | 41.27 | 44.47 | 572.01 |
| 1990 | 35.36 | 41.65 | 35.89 | 17.25 | 40.61 | 61.49 | 60.76 | 64.84 | 43.03 | 47.14 | 42.56 | 33.93 | 524.50 |
| 1991 | 35.93 | 20.99 | 26.31 | 36.22 | 52.98 | 72.26 | 76.86 | 49.58 | 83.30 | 53.21 | 57.25 | 41.80 | 606.69 |
| 1992 | 31.34 | 26.71 | 35.10 | 33.98 | 39.64 | 46.75 | 61.51 | 69.39 | 46.65 | 58.20 | 38.39 | 45.20 | 532.85 |
| 1993 | 29.40 | 27.97 | 30.31 | 29.96 | 30.70 | 71.80 | 81.01 | 62.87 | 50.25 | 59.38 | 13.36 | 36.94 | 523.96 |
| 1994 | 41.56 | 23.17 | 28.70 | 35.03 | 49.89 | 74.48 | 47.94 | 48.20 | 68.27 | 63.18 | 43.47 | 38.56 | 562.44 |
| 1995 | 32.64 | 42.07 | 25.69 | 26.69 | 46.27 | 58.17 | 77.58 | 96.11 | 57.85 | 80.44 | 57.66 | 27.93 | 629.11 |
| 1996 | 25.60 | 23.04 | 9.00 | 21.09 | 40.61 | 76.76 | 92.99 | 49.68 | 42.51 | 42.65 | 54.79 | 46.10 | 524.82 |
| 1997 | 34.35 | 38.40 | 39.68 | 43.02 | 54.06 | 39.02 | 39.42 | 53.50 | 48.34 | 71.24 | 40.01 | 27.89 | 528.90 |
| 1998 | 45.76 | 35.56 | 29.50 | 19.24 | 51.21 | 83.48 | 87.71 | 80.50 | 57.84 | 70.69 | 25.52 | 41.43 | 628.44 |
| 1999 | 36.83 | 24.32 | 22.54 | 32.90 | 38.30 | 34.27 | 68.00 | 82.90 | 46.41 | 65.17 | 38.63 | 48.31 | 538.57 |
| 2000 | 41.47 | 32.03 | 38.17 | 43.66 | 40.01 | 64.53 | 55.81 | 68.38 | 55.24 | 47.80 | 47.68 | 34.69 | 569.46 |
| 2001 | 34.73 | 27.47 | 33.10 | 29.27 | 61.73 | 29.66 | 61.80 | 73.66 | 37.15 | 52.73 | 39.77 | 29.74 | 510.81 |
| 2002 | 50.76 | 48.11 | 28.64 | 9.22 | 59.73 | 42.26 | 59.24 | 69.66 | 59.44 | 62.75 | 49.15 | 28.75 | 567.71 |
| 2003 | 43.10 | 27.16 | 33.73 | 17.46 | 48.37 | 62.37 | 41.15 | 107.95 | 63.39 | 59.01 | 39.22 | 57.96 | 600.88 |
| 2004 | 33.49 | 39.98 | 29.90 | 15.01 | 53.39 | 73.96 | 58.65 | 79.17 | 83.09 | 41.68 | 39.33 | 35.70 | 583.36 |
| 2005 | 35.91 | 12.92 | 30.72 | 46.42 | 48.53 | 35.75 | 58.13 | 54.56 | 66.64 | 46.26 | 62.82 | 46.96 | 545.61 |
| 2006 | 36.84 | 14.99 | 29.09 | 29.48 | 44.30 | 53.37 | 76.77 | 38.23 | 91.55 | 74.32 | 47.85 | 63.88 | 600.66 |
| 2007 | 49.98 | 18.00 | 28.03 | 39.56 | 56.35 | 78.82 | 104.87 | 91.43 | 69.51 | 37.88 | 42.11 | 53.50 | 670.01 |
| 2008 | 36.55 | 37.95 | 35.79 | 30.69 | 42.03 | 44.70 | 82.29 | 90.80 | 51.95 | 71.80 | 57.67 | 41.98 | 624.21 |
| 2009 | 38.51 | 29.54 | 27.87 | 22.37 | 38.50 | 72.38 | 78.46 | 63.43 | 61.55 | 57.04 | 43.02 | 41.82 | 574.47 |
| 2010 | 22.39 | 25.56 | 40.35 | 30.26 | 42.23 | 76.05 | 52.57 | 65.81 | 69.36 | 51.37 | 56.24 | 30.40 | 562.59 |
| 2011 | 40.61 | 16.41 | 20.54 | 35.96 | 44.10 | 39.13 | 51.98 | 56.23 | 59.71 | 61.33 | 54.77 | 42.60 | 523.36 |
| 2012 | 28.66 | 18.15 | 21.42 | 45.62 | 43.16 | 79.39 | 90.04 | 71.28 | 81.39 | 78.74 | 54.80 | 28.76 | 641.40 |
| 2013 | 40.55 | 28.82 | 23.86 | 34.56 | 25.20 | 37.62 | 55.47 | 59.19 | 31.92 | 76.15 | 57.32 | 54.80 | 525.45 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2014 | 33.84 | 30.42 | 41.42 | 25.74 | 52.55 | 79.84 | 54.79 | 78.25 | 47.94 | 38.36 | 45.36 | 50.39 | 578.89 |
| 2015 | 48.30 | 35.47 | 21.33 | 29.89 | 41.31 | 88.61 | 61.84 | 75.74 | 54.77 | 56.66 | 47.36 | 56.10 | 617.38 |

Таблица А3

Площади тяготения гидрометеостанций в пределах материкового водосбора Баренцева и Белого морей

| № | Гидрометеостанция | Площадь тяготения, км ² |
|----|-------------------|------------------------------------|
| 1 | Архангельск | 29422 |
| 2 | Вологда | 43545 |
| 3 | Калевала | 25561 |
| 4 | Кандалакша | 48057 |
| 5 | Карпогоры | 60329 |
| 6 | Кемь | 21316 |
| 7 | Киров | 17993 |
| 8 | Мезень | 59373 |
| 9 | Мурманск | 76466 |
| 10 | Нарьян-Мар | 90538 |
| 11 | Онега | 39365 |
| 12 | Петрозаводск | 12233 |
| 13 | Печора | 102276 |
| 14 | Реболы | 16327 |
| 15 | Салехард | 4931 |
| 16 | Сыктывкар | 88342 |
| 17 | Умба | 62817 |
| 18 | Усть-Цильма | 75011 |
| 19 | Ухта | 88357 |
| 20 | Шенкурск | 88018 |

Таблица А4

Численность озёр и озёрность водосбора Белого моря

| № | Водосбор | Площадь водосбора, км ² | Количество озёр | Площадь озёр, км ² | Озёрность водосбора, % |
|-----|--|------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------|
| 1. | малые притоки от мыса Святой Нос до устья р. Поной | (3730)* | 12 216 | 182 | (4.9) |
| 2. | р. Поной | 15 500 (15 500) | 7805 | 324 | 2.1 (2.1) |
| 3. | малые притоки между устьем р. Поной и устьем р. Варзуги | (11 700) | 7136 | 327 | (2.8) |
| 4. | р. Варзуга | 9840 (9860) | 2019 | 297 | 3.0 (3.0) |
| 5. | р. Нива и малые притоки между устьем р. Варзуги и устьем р. Умбы | (2170) | 1163 | 96.6 | (4.5) |
| 6. | р. Умба | 6250 (7370) | 4229 | 817 | 13.1 (11.1) |
| 7. | малые притоки между устьем р. Умбы и устьем р. Ковды | (16 200) | 3731 | 1850 | (11.4) |
| 8. | р. Ковда | 26 100 (25 100) | 10 726 | 3656 | 14.0 (14.6) |
| 9. | малые притоки между устьем р. Ковды и устьем р. Кеми | (14 200) | 4754 | 1596 | (11.2) |
| 10. | р. Кемь | 27 700 (27 000) | 12 485 | 2568 | 9.3 (9.5) |
| 11. | малые притоки между устьем р. Кеми и устьем р. Выга (ББК) | (1770) | 726 | 74.3 | (4.2) |
| 12. | р. Выг (Беломорско-Балтийский канал) | 27 100 (27 100) | 9062 | 3794 | 14.0 (14.0) |
| 13. | малые притоки между устьем р. Выга (ББК) и устьем р. Онеги | (10 600) | 7510 | 473 | (4.5) |
| 14. | р. Онега | 56 900 (57 300) | 3316 | 1690 | 3.0 (2.9) |
| 15. | малые притоки между устьем р. Онеги и устьем р. Северной Двины | (11 400) | 2663 | 343 | (3.0) |
| 16. | р. Северная Двина | 357 000 (355 000) | 17 602 | 1517 | 0.4 (0.4) |
| 17. | малые притоки между р. Северная Двина и р. Кулой | (12 900) | 11 683 | 660 | (2.0) |
| 18. | р. Кулой | (19 200) | | | |
| 19. | малые притоки между р. Кулой и р. Мезень | (1390) | | | |
| 20. | р. Мезень | 78 000 (74 900) | 10 013 | 459 | 0.6 (0.6) |
| 21. | малые притоки от устья р. Мезени до мыса Канин Нос | (9950) | 8206 | 277 | (2.8) |

Электронный «Атлас Белого моря» (ИВПС КарНЦ РАН), * - в скобках приведены данные, рассчитанные при использовании ГИС «Белое море и его водосбор».

Таблица А5

Численность озёр и озёрность водосбора Баренцева моря

| № | Водосбор | Площадь водосбора, км ² | Количество озёр | Площадь озёр, км ² | Озёрность водосбора, % |
|-----|--|------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------|
| 1. | р.Йоканьга | 5944.2 | 7221 | 313.14 | 5.3 |
| 2. | малые притоки от устья р.Йоканьга до устья р.Варзина | 1444.2 | 4324 | 161.67 | 11.2 |
| 3. | р.Варзина | 1456.0 | 3695 | 264.18 | 18.1 |
| 4. | р.Восточная Лица | 1872.4 | 4244 | 203.35 | 10.9 |
| 5. | р.Харловка | 2016.3 | 3256 | 170.31 | 8.4 |
| 6. | малые притоки от устья р.Харловка до устья р.Рында | 447.9 | 1000 | 45.17 | 10.1 |
| 7. | р.Рында | 1018.5 | 2255 | 106.79 | 10.5 |
| 8. | малые притоки от устья р.Рында до устья р.Воронья | 1001.9 | 2097 | 121.54 | 12.1 |
| 9. | р.Воронья | 9944.0 | 8329 | 637.02 | 6.4 |
| 10. | малые притоки от устья р.Воронья до устья р.Териберка | 261.3 | 411 | 26.06 | 10.0 |
| 11. | р.Териберка | 2226.6 | 3279 | 161.34 | 7.2 |
| 12. | малые притоки от устья р.Териберка до устья р. Кола | 2521.9 | 3772 | 223.40 | 8.9 |
| 13. | р. Кола | 3845.6 | 1626 | 219.65 | 5.7 |
| 14. | р.Тулома | 18231.5 | 5199 | 1520.30 | 8.3 |
| 15. | малые притоки от устья р.Тулома до устья р.Печенга | 4466.5 | 6788 | 386.12 | 8.6 |
| 16. | р.Печенга | 1828.9 | 1620 | 119.40 | 6.5 |
| 18. | р.Патсойоки | 2532.3 | 1552 | 165.30 | 6.5 |
| 19. | малые притоки, впадающие в Чёшскую губу | 52307.5 | 3671 | 261.53 | 0.5 |
| 20. | р.Печора | 322000.0 | Более 60000 | 1203.35 | 0.4 |
| 21. | бассейны рек междуречья Печоры и Оби, впадающие в Баренцево море | 22565.3 | 1534 | 112.80 | 0.5 |

Составлено при использовании данных (Аннотированный экологический..., 2010) и ГИС MapViewer

Сток взвешенных наносов рек бассейна Белого и Баренцева морей

| Водосбор | *Содержание взвеси в воде, т/км ³ | **Объём стока воды в замыкающем створе, км ³ /год | Объём стока наносов в замыкающем створе, т/год |
|--|---|---|---|
| Варзуга | 1.5 | 3.16 | 4.74 |
| Воронья | 1.9 | 3.69 | 7.011 |
| Кемь | 2 | 8.82 | 17.64 |
| Кереть | 2 | 0.94 | 1.88 |
| Ковда | 2 | 8.69 | 17.38 |
| Кола | 1.9 | 1.38 | 2.62 |
| Кулой | 10.59 | 6.63 | 70.21 |
| Мезень | 11 | 28 | 308 |
| Нива | 2 | 5.17 | 10.34 |
| Нижний Выг | 2 | 8.27 | 16.54 |
| Онега | 1.6 | 15.69 | 25.10 |
| Патсойоки | 1.9 | 12 | 22.80 |
| Печенга | 1.9 | 7 | 39.80 |
| Печора | 25 | 148 | 3700 |
| Поной | 1.4 | 5.32 | 7.45 |
| Северная Двина | 12 | 108.15 | 1297.80 |
| Териберка | 1.9 | 1.04 | 1.98 |
| Тулома | 1.9 | 7.19 | 13.66 |
| Умба | 0.4 | 2.47 | 0.99 |
| Малые реки водосбора восточной части Белого моря | 10.59 | 17.28 | 182.99 |
| Малые реки водосбора западной части Баренцева моря | 1.9 | 7.45 | 14.16 |
| Малые реки водосбора западной части Белого моря | 2 | 7.69 | 15.38 |
| Малые реки Поной- Варзугского района | 1.3 | 2.86 | 3.72 |
| Малые реки водосбора юго-востока Баренцева моря | 13.8 | 39 | 538.20 |

* - по данным (Ресурсы поверхностных вод СССР. 1963-1972)

** - рассчитано по данным открытой электронной базы данных «A Regional, Electronic, Hydrographic Data Network For the Arctic Region», доступной по адресу <http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/Tiles/arctic10.html>.

Уклон рек и объединённых водосборов рек Баренцево-Беломорского
водосборного бассейна

| Водосбор | Высота истока (максимальная высота водосбора) над уровнем моря, м | Длина реки (расстояние между H_{\max} и ближайшей точкой на побережье), км | Уклон рек и объединённых водосборов, м/км |
|---|--|---|--|
| Варзуга | 203 | 254 | 0.80 |
| Воронья | 153 | 155 | 0.99 |
| Кемь | 101 | 191 | 0.53 |
| Кереть | 88 | 80 | 1.10 |
| Ковда | 109 | 233 | 0.46 |
| Кола | 138 | 83 | 1.67 |
| Кулой | 136 | 350 | 0.39 |
| Мезень | 370 | 966 | 0.38 |
| Нива | 126 | 36 | 3.50 |
| Нижний Выг | 89 | 102 | 0.87 |
| Онега | 118 | 416 | 0.28 |
| Патсойоки | 118 | 146 | 0.81 |
| Печенга | 191 | 110 | 1.74 |
| Печора | 677 | 1809 | 0.37 |
| Поной | 292 | 425 | 0.69 |
| Северная Двина | 98 | 744 | 0.13 |
| Териберка | 205 | 127 | 1.61 |
| Тулома | 80 | 267 | 0.30 |
| Умба | 148 | 123 | 1.20 |
| Малые реки водосбора восточной части Белого моря | 11 | 53 | 0.21 |
| Малые реки водосбора западной части Баренцева моря | 238 | 170 | 1.40 |
| Малые реки водосбора западной части Белого моря | 176 | 84 | 2.10 |
| Малые реки Поной- Варзугского района | 29 | 90 | 0.32 |
| Малые реки водосбора юго- востока Баренцева моря | 31 | 103 | 0.30 |