



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Производственные функции для стратегического
планирования развития водного хозяйства АЗРФ

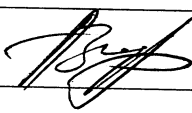
Исполнитель Чупров Данил Евгеньевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Девятов Владимир Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Научный консультант кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю» Заведующий кафедрой	
(подпись)	
кандидат технических наук, доцент	
(ученая степень, ученое звание)	
Хаустов Виталий Александрович	
(фамилия, имя, отчество)	

«13» 06 2022.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РЕГИОНА.....	6
1.1 Географическое положение Арктики.....	6
1.2 Климат.....	8
1.3 Атмосферный воздух.....	14
1.4 Водные ресурсы.....	19
1.5 Геологическая среда.....	29
1.6 Почвы и земельные ресурсы.....	31
1.7 Биологическое разнообразие.....	33
ГЛАВА 2 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ..	35
2.1 Основные отрасли промышленности арктического региона.....	35
2.2 Производственные функции основных отраслей экономики арктического региона.....	41
2.3 Чувствительность отраслей экономики к долгосрочным изменениям гидрологического режима в Арктике.....	46
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В АРКТИКЕ.....	51
3.1 Применение методики долгосрочной оценки характеристик максимального стока.....	51
3.2 Оценка экономической эффективности методики долгосрочной оценки.....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	65
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	68

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы выпускной квалификационной работы заключается в том, что в настоящее время в научном сообществе широко обсуждается проблема социально-экономической адаптации к наблюдаемым и прогнозируемым изменениям климата. Существует около двух десятков климатических сценариев, основанных на моделях общей циркуляции атмосферы. Большинство этих сценариев предполагает значительные изменения температуры воздуха и количества осадков в Северном полушарии. Такие вариации основных стокообразующих факторов могут привести к формированию нового гидрологического режима, т.е. с другими статистическими моментами кривых плотности вероятности речного стока.

Использование климатических сценариев позволяет учитывать изменение водообеспеченности различных регионов и различных отраслей экономики, где водные ресурсы являются одним из лимитирующих факторов развития. Эксплуатация существующих и строительство новых промышленных предприятий и транспортных магистралей опирается на сведения об элементах гидрологического режима. В отраслях экономики необходимы различные виды водного стока: оценка выработки электроэнергии гидроэлектростанциями базируется на оценках годового и сезонного стока; функционирование нефтеперерабатывающих заводов лимитируется экологическими требованиями, а значит, опирается на минимальный сток; при строительстве железнодорожных и автомобильных мостов необходимы данные о максимальном стоке.

При разработке технико-экономического обоснования строительства и реконструкции объектов промышленного производства используют гидрологические характеристики определенной вероятности появления (обеспеченности), соответствующей уровню надежности сооружения. Чем значительней ущерб от нарушения нормальной работы сооружения/предприятия, тем жестче требования к его надежности и тем

выше класс капитальности сооружения и финансовые затраты на строительство и эксплуатацию. Сооружения высокого класса капитальности ориентируются на гидрологические характеристики, вероятности которых равны 1,0 и 0,1 %. Продолжительность эксплуатации таких сооружений достигает 100 лет, и при их строительстве необходимо учитывать долгосрочные сценарии изменения климата и водности.

Разработка механизмов адаптации различных отраслей экономики к изменениям климата и водообеспеченности, планирование необходимых капиталовложений в реконструкцию и строительство объектов производства опирается на использование производственных функций. Они связывают специфические технико-экономические показатели отрасли с лимитирующими ее развитие факторами. В качестве лимитирующего фактора рассматривается минимальный, максимальный и годовой речной сток.

Целью выпускной квалификационной работы являются производственные функции для стратегического планирования развития водного хозяйства арктической зоны РФ.

Задачи выпускной квалификационной работы определены ее целью и структурой:

1. Привести физико-географическое описание Арктики (климат; атмосферный воздух; водные ресурсы; геологическая среда; почвы и земельные ресурсы; биологическое разнообразие);
2. Изучить производственные функции для стратегического планирования водного хозяйства арктической зоны РФ;
3. Оценить экономическую эффективность долгосрочного прогнозирования характеристик максимального стока при строительстве и реконструкции мостовых переходов в Арктике

Объектом исследования является Арктика.

Предметом исследования является развитие водного хозяйства арктической зоны РФ.

Структуру выпускной квалификационной работы составляют: введение, три главы, заключение, список литературы.

Во введении поставлены цель и задачи, которые необходимо решить в ходе написания работы, определена актуальность темы работы.

В первой главе приведено физико-географическое описание Арктики (климат; атмосферный воздух; водные ресурсы; геологическая среда; почвы и земельные ресурсы; биологическое разнообразие).

Во второй главе изучены основные отрасли промышленности арктического региона; рассмотрены производственные функции основных отраслей экономики арктического региона; исследована чувствительность отраслей экономики к долгосрочным изменениям гидрологического режима в Арктике.

В третьей главе применена методика долгосрочной оценки характеристик максимального стока, а также произведена оценка экономической эффективности методики долгосрочной оценки.

В заключении приведены основные выводы по выпускной квалификационной работе.

ГЛАВА 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РЕГИОНА

1.1 Географическое положение Арктики

Арктике принадлежит особое место в реализации стратегии развития России в сфере экономики, охраны окружающей среды, транспорта, инноваций, геополитики и обороны. Уникальные ресурсы Арктики при создании специальной системы регулирования государством будут способствовать динамичному развитию Арктики и страны в целом. Полезные ископаемые, добываемые в Арктической зоне РФ (АЗ РФ) их разведанные запасы и прогнозные ресурсы образуют основную долю российской минерально-сырьевой базы. Шельф арктических морей можно рассматривать в качестве стратегического резерва укрепления минерально-сырьевой безопасности России.

Одна из важнейших задач социально-экономического развития страны – это обеспечение экологической защищенности территорий, входящих в АЗ РФ. Территориальные границы АЗ РФ обозначены на рисунке 1.

Континентальную часть Арктики охватывают в основном Арктический и Субарктический климатические пояса от западной границы России с Норвегией и Финляндией на севере Мурманской области – 28,42 °в.д. и до мыса Дежнева на востоке – 169,69 °з.д., с крайней северной материковой точкой на мысе Челюскин – 77,69 °с.ш., 104,09 °в.д. Для некоторых субъектов характерен умеренный климатический пояс – это часть Мурманской области, Красноярского края и Республики Карелия.

Значительная протяженность Арктики обуславливает большую регионально-климатическую, растительную, ландшафтную и почвенную вариации.

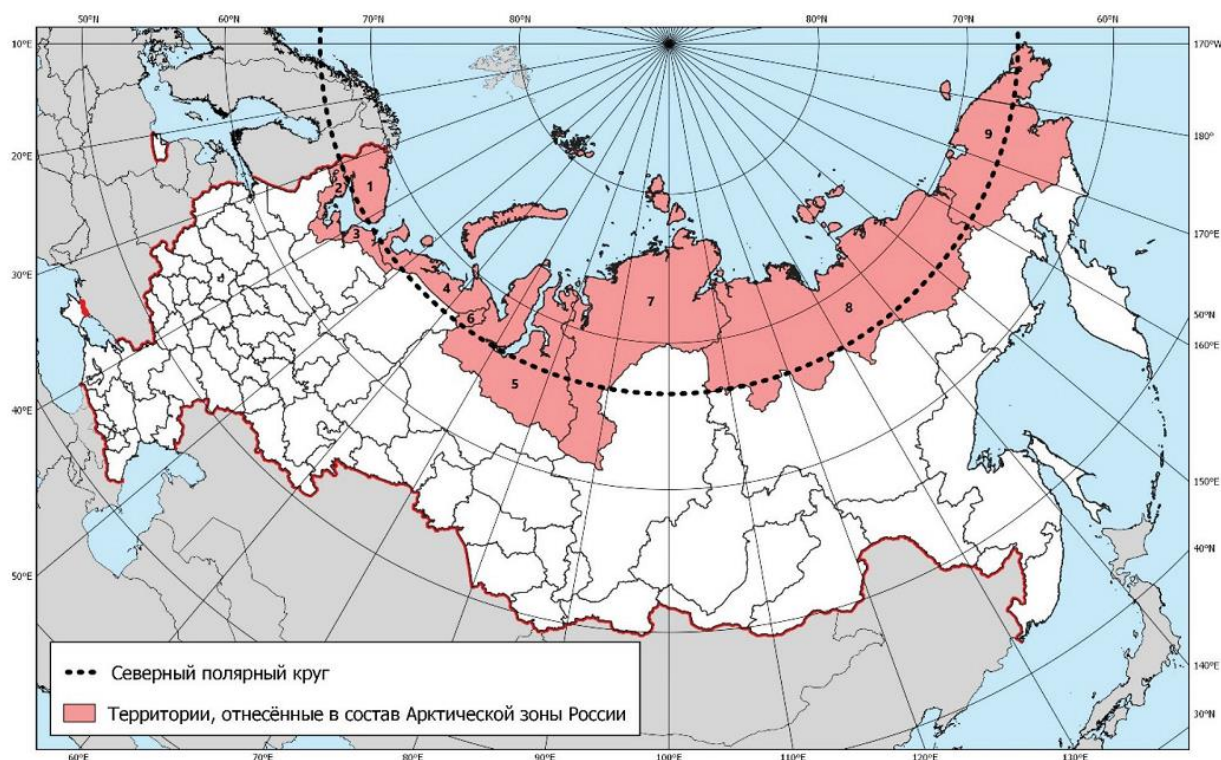


Рисунок 1 – Арктическая зона Российской Федерации

Примечания:

1. Мурманская область
2. Республика Карелия (муниципальные районы Кемский, Лоухский, Беломорский)
3. Архангельская область (Приморский, Онежский, Мезенский, муниципальные районы, территории муниципального района г. Новодвинск, г. Архангельск, Новая Земля, Северодвинск)
4. Ненецкий автономный округ
5. Ямало-Ненецкий автономный округ
6. Республика Коми (МО ГО «Воркута»; МО ГО «Инта»; МО ГО «Усинск»; МР «Усть-Цилемский»)
7. Красноярский край (территория городского округа г. Норильска и муниципальные районы: Туруханский, Таймырский, Долгано-Ненецкий)
8. Республика Саха (Якутия) (в составе Абыйского, Эвено-Бытантайского, Аллаиховского, Булунского, Усть-Янского, Анабарского (Долгано-эвенкийского), Верхоянского, Верхнеколымского, Жиганского, Момского, Оленекского, Нижнеколымского, Среднеколымского улусов (районов))
9. Чукотский автономный округ
10. Земли и острова в Северном Ледовитом океане

Большая доля Арктической зоны РФ занята тундрами с высокой степенью заболоченности, где располагаются малые реки и озера. На территории Арктики почвы в основном торфяно-оглеенные с переходами в лесотундре к развитию очень кислых почв, имеющих низкую биологическую активность.

В Арктике располагаются значительные запасы нефти, что выступает причиной развития нефтедобывающей промышленности.

Традиционно добыча углеводородного сырья предполагает значительный экологический ущерб окружающей среде регионов добычи.

В районах, где добыча энергоресурсов ведется с советских времен (Таймыр, Ямал, Республика Коми, побережья Восточно-Сибирского моря), окружающей среде нанесен значительный экологический ущерб.

Необходимо отметить, что в регионе деятельность, относящаяся к добывающей промышленности, должна находиться под строгим контролем, что обусловлено малочисленностью территорий с высокой способностью к рассеиванию и разложению нефтепродуктов и нефти.

Большинство значимых показателей, касающихся экологической обстановки в Арктике, не превышают нормативных значений и не отклоняются в негативную сторону.

При этом, следует отметить, что добыча ресурсов, имеющих в Арктике, может нанести вред арктической экосистеме. Развитие экономической деятельности на территории Арктике должно осуществляться в соответствии с природоохранными требованиями, поскольку основная часть арктических территорий уязвима для побочных продуктов антропогенной деятельности.

1.2 Климат

Широкая географическая протяженность Арктической зоны является причиной существенного разнообразия погодных и климатических режимов (рисунок 2). Как уже ранее было сказано, Арктическая зона охватывает три климатических пояса: умеренный, субарктический и арктический, что оказывает значимое влияние на экологическое и природное разнообразие фауны и флоры.



Рисунок 2 – Климатические пояса АЗ РФ

На рисунке 3 представлены данные об аномалиях среднегодовой температуры воздуха за 1900-2020 гг. по сравнению с аномалиями на Северном полушарии.

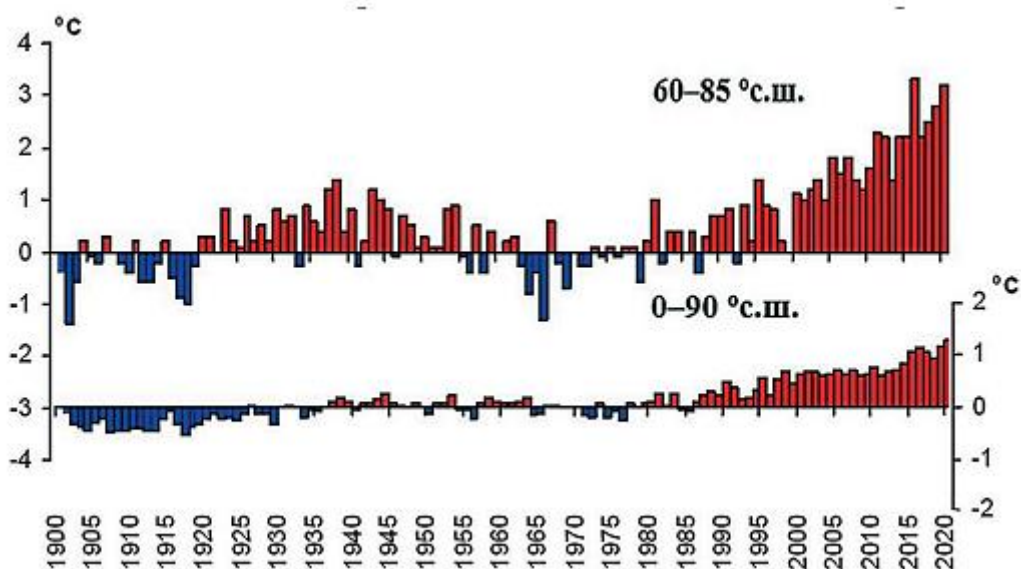


Рисунок 3 – Аномалии среднегодовой температуры воздуха северной полярной области (60–85 °с.ш.) и северного полушария (0–90 °с.ш.)

В таблице 1 представлены аномалии в северной полярной области (СПО), средние за сезон.

Таблица 1 – Аномалии температуры воздуха в 2020 г., осредненные по территории СПО, в среднем за год (декабрь 2019 – ноябрь 2020) и за сезоны: ΔT , °C – отклонения от средних за 1961–1990 гг.; R – ранг в ряду убывающих температур за 1936–2020 гг.

Широтная зона, °с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R
60-85	3,2	2	3,1	3	3,7	2	1,7	2	4,2	1

Согласно рисунку, за весь период наблюдений 2020 год в СПО – второй среди самых теплых лет и самый теплый в Северном полушарии.

Что касается аномалии среднегодовой температуры воздуха СПО, то в 2020 году она составила 3,2 °C. Наибольшее значение аномалии наблюдается в осенний период, минимальное – в летний период.

В Восточносибирском и Западносибирском районах Арктики наблюдались самые крупные аномалии среднегодовой температуры воздуха, 4,7 и 5,9 °C соответственно. В данных районах такие аномалии температуры за период с 1936 года оказались наибольшими по рангу теплых лет.

В таблице 2 представлены средние аномалии температуры в отдельных климатических районах СПО в 2020 году.

Таблица 2 – Аномалии температуры воздуха в 2020 году (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) для некоторых районов СПО (в среднем за год и сезоны), °C

Климатический район СПО	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R
Западносибирский	5,9	1	7,2	3	7,3	1	2,8	2	6,2	1
Североевропейский	3,5	1	5,4	3	3,0	7	1,7	5	3,9	1
Восточносибирский	4,7	1	4,6	2	5,4	3	2,4	2	6,3	1
Чукотский	3,5	2	1,8	13	4,6	3	1,7	6	5,8	1

На рисунке 4 представлены временные ряды средних аномалий годовой температуры воздуха для районов СПО и их линейные тренды за 1936-2020 гг.

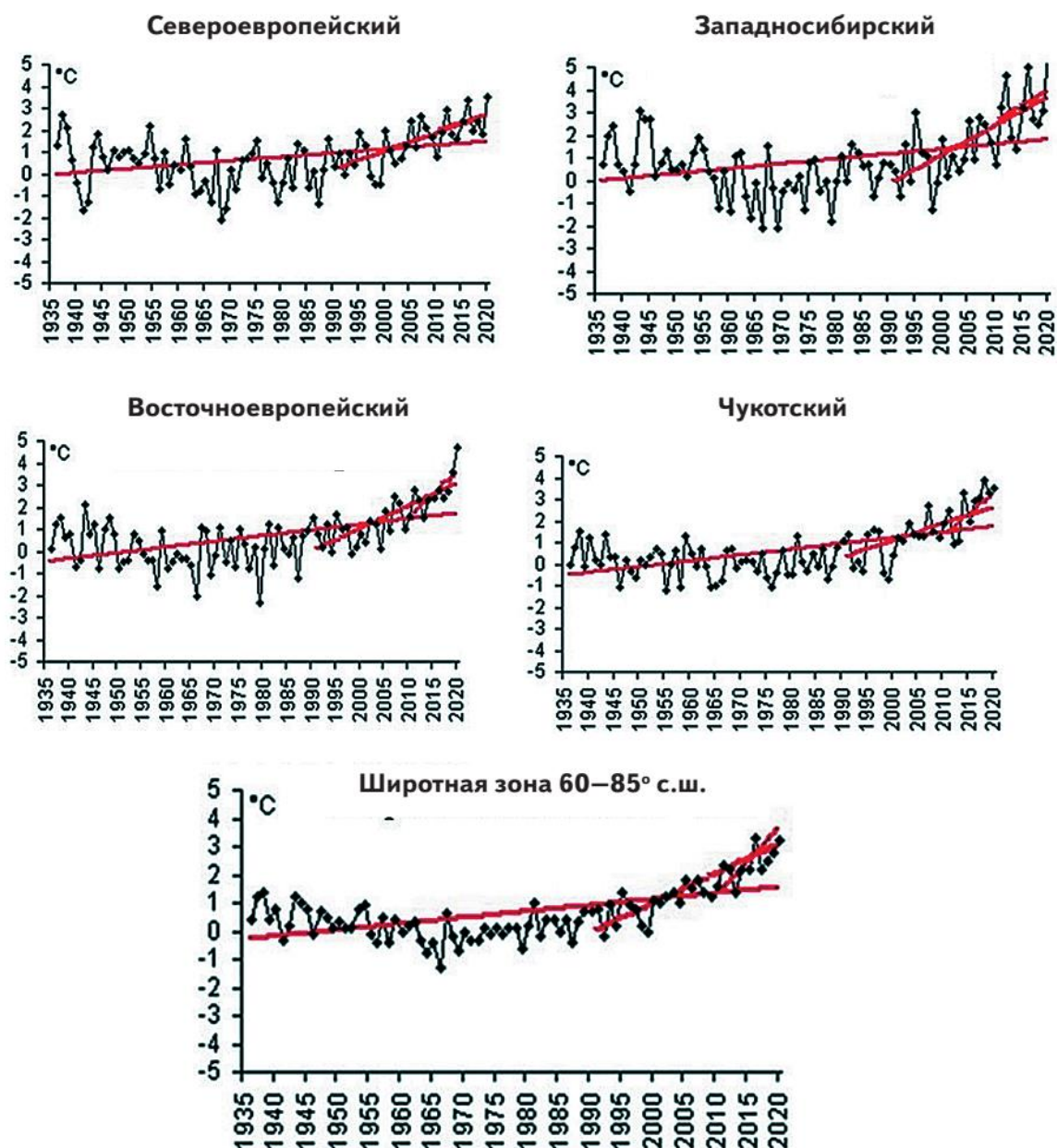


Рисунок 4 – Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для СПО и ее некоторых районов за 1936-2020 гг.

В течение 1936–2020 гг. для среднегодовой температуры СПО характерен статистически значимый (на 5%-м уровне значимости) положительный линейный тренд. За 85 лет линейное повышение температуры воздуха составило 1,87 °C.

Следует отметить, что значимый тренд в среднегодовой температуре воздуха прослеживается во всех отдельно взятых районах Арктики. За 85 лет наблюдается потепление в отдельно взятых районах в диапазоне 1,36-2,46 °C.

На протяжении 1991-2020 гг. во всех регионах СПО наблюдался рост температуры, ее линейный рост составил около 2,64 °С.

Далее по тем же климатическим районам проведена оценка изменений количества осадков в СПО. Период с октября по май принят за холодный сезон, а с июня по сентябрь – за теплый.

На рисунке 5 представлены относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2019/2020 гг. для некоторых климатических районов СПО.

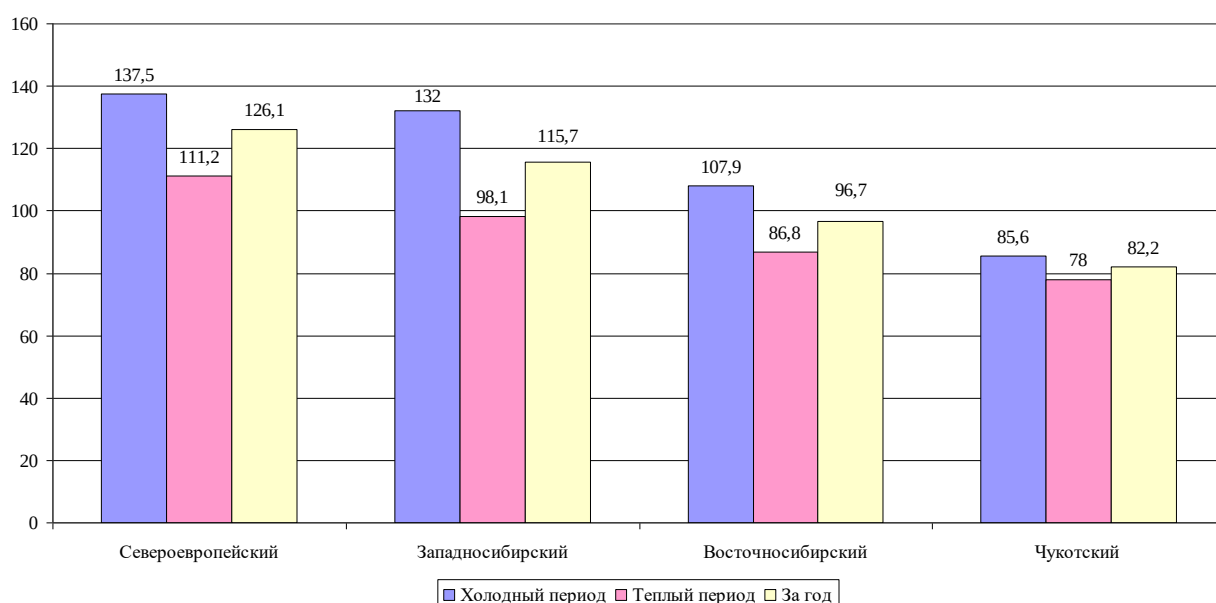


Рисунок 5 – Относительные аномалии (%) сезонных и годовых сумм осадков в 2019/2020 гг. (в % от нормы 1961–1990 гг.)

Сумма осадков за год в целом для СПО в 2019/2020 гг. находилась в пределах нормы. Наименьшее годовое количество осадков приходится на Чукотский район (на 17,8% ниже нормативного значения), а наибольшее – на Североевропейский район (на 26,1% выше нормативного значения).

В сентябре 2020 года среднемесячная величина площади морского льда в Северном Ледовитом океане составила 3,92 млн. км², это второй минимум после 2012 года (3,51 млн. км²).

Снижение площади льда в сентябре имеет тесную связь с увеличением температуры воздуха летом и с коэффициентом корреляции между ними минус 0,93 за 1979–2020 гг. (рисунок 6).

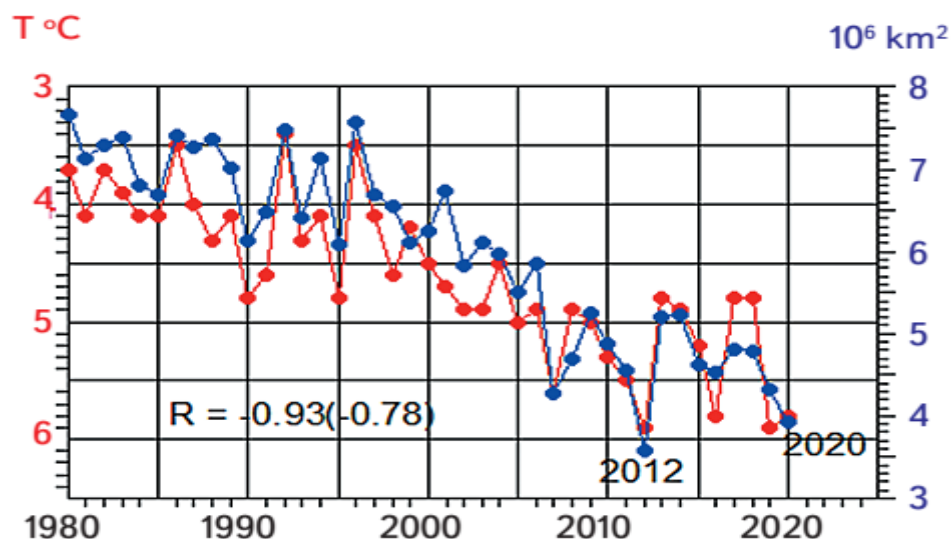


Рисунок 6 – Динамика приповерхностной температуры воздуха в морской Арктике летом и площади морского льда в сентябре, R – коэффициент корреляции между ПТВ и площадью льда, в скобках – между отклонениями от тренда

В 2020 г. летний морской ледяной покров в морях Северного Ледовитого океана сократился к сентябрю до рекордно низкого уровня (26 млн. км^2) (рисунок 7).

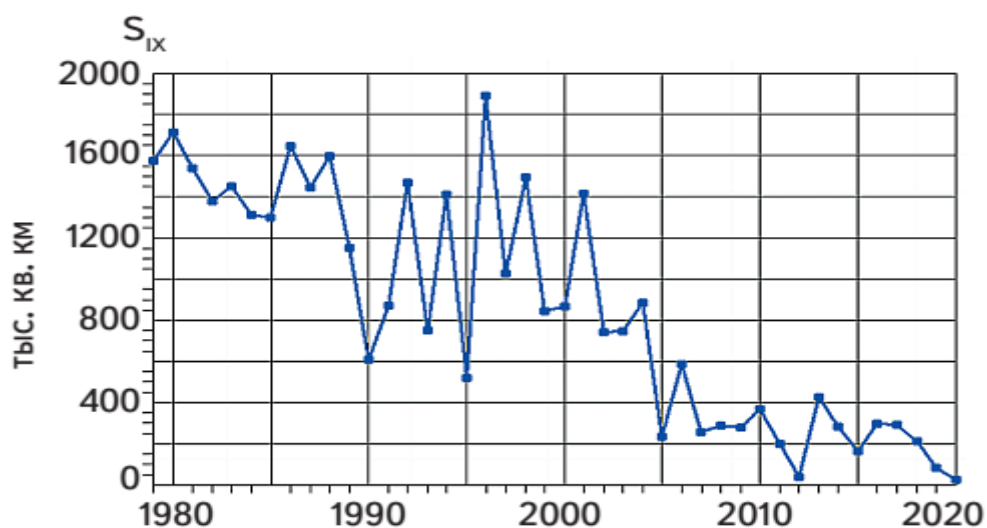


Рисунок 7 – Площадь, покрытая морским льдом в сентябре в Сибирских арктических морях (моря Восточно-Сибирское, Карское, Чукотское Лаптевых), в соответствии с данными отдела ледовых прогнозов ААНИИ

Быстрое сокращение началось в сентябре 2001 г. от площади 1400 млн. км², которая в сентябре 2005 г. составила всего 200 млн. км². За последние 15 лет в сентябре наблюдалось колебание площади льда от 200 до 300 млн. км², что ниже в 5–7 раз уровня 1980 года, а в 2020 году она снизилась ниже уровня 2012 года (37 млн. км²).

1.3 Атмосферный воздух

Одной из основных причин проблем, связанных с экологией, препятствующих развитию Арктики в будущем является активная антропогенная деятельность. Практически во всех регионах Российской Арктики в городах отмечается высокий уровень загрязнения атмосферы, что может стать серьезным вызовом для развития территорий Российской Арктики.

На регулярной основе проводятся наблюдения за содержанием в атмосферном воздухе парниковых газов (ПГ) с помощью трех арктических станций наблюдения за парниковыми газами, которые располагаются в Тикси, Новом порту, Териберке (таблица 3). Следует отметить, что станции Тикси и Териберка находятся в условиях, которые близки к естественным; а станция Новый порт расположена в зоне влияния природных и антропогенных факторов.

Таблица 3 – Станции наблюдений за парниковыми газами

Станция	Широта	Долгота	Высота над у.м.	Период наблюдений	Программа наблюдений
Новый порт	67,67° с.ш.	72,88° в.д.	11	с 2002	CO ₂ , CH ₄
Тикси	71,58° с.ш.	128,92° в.д.	30	с 2011	CO ₂ , CH ₄
Териберка	69,20° с.ш.	35,10° в.д.	40	с 1988	CO ₂ , CH ₄ с 1996 г.

Изменение средних значений концентрации CO₂ и CH₄ за месяц на станциях АЗ РФ по сравнению с данными станции Барроу, которая

расположена приблизительно в тех же широтах, что и российские станции, для последних пяти лет наблюдений представлено на рисунке 8.

В таблице 4 представлены средние значения CO_2 и CH_4 за год и межгодовой рост для станций Тикси и Териберка.

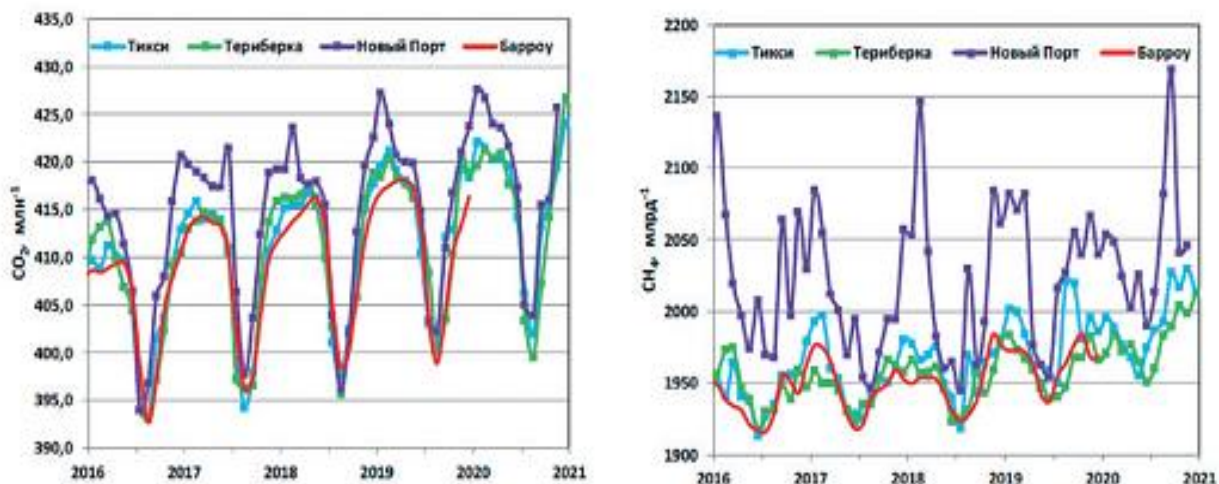


Рисунок 8 – Временной ход концентрации CH_4 и CO_2 на станциях Арктики РФ по сравнению с данными станции Барроу (Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы Министерства торговли Соединенных Штатов Америки)

Таблица 4 – Средние значения концентрации CO_2 и CH_4 за год и их межгодовой рост (Δ)

Год	Териберка				Тикси			
	CH_4 , млрд. ⁻¹	ΔCH_4 , млрд. ⁻¹	CO_2 , млн. ⁻¹	ΔCO_2 , млн. ⁻¹	CH_4 , млрд. ⁻¹	ΔCH_4 , млрд. ⁻¹	CO_2 , млн. ⁻¹	ΔCO_2 , млн. ⁻¹
2016	1946,7	22,3	405,5	3,5	1946,4	6,3	406,1	2,9
2017	1947,1	0,4	409,0	3,5	1956,7	10,3	408,7	2,6
2018	1950,4	3,3	411,1	2,1	1960,4	3,7	411,3	2,6
2019	1965,1	14,7	414,3	3,2	1983,7	23,3	414,3	3,0
2020	1980,4	18,6	415,6	1,7	1993,6	9,9	416,5	2,2

Следует отметить, что в 2020 году степень концентрации CO_2 в атмосфере достигла максимального значения. Средняя величина концентрации CO_2 на фоновых станциях за год превысила 415 млн.⁻¹, а максимальные годовые концентрации в зимний период превысили 420 млн.⁻¹. Значения концентрации CO_2 и амплитуда сезонного хода на станциях Тикси и Териберка близки к значениям, полученными станцией Барроу.

При этом в 2020 году на станциях Тикси и Териберка произошло снижение скорости изменения концентрации CO_2 и она составила 2,2 млн.⁻¹/год и 1,7 млн.⁻¹/год, соответственно. За последние 5 лет наблюдений данные значения являются минимальными. Для этих станций изменение CO_2 за 2020 год ниже среднего за 10-летний период (2,5 млн.⁻¹/год и 2,4 млн.⁻¹/год для станций Тикси и Териберка, соответственно), а также среднеглобального значения за период 2009–2019 гг., которое составило 2,37 млн.⁻¹/год.

Большое количество исследований посвящено изучению влияния ограничений, которые связаны с пандемией COVID-19, на содержание CO_2 в атмосфере. Инвентаризационные оценки и непосредственные измерения потоков CO_2 в промышленных районах говорят о снижении в атмосфере выбросов CO_2 . Предварительные оценки показывают, что ежегодное снижение глобальных выбросов (с 4,2% до 7,5%) может замедлять темпы роста CO_2 , на 0,08–0,23 млн.⁻¹/год, что ниже пределов естественной межгодовой изменчивости в 1 млн.⁻¹. Это говорит о том, что воздействие ограничений, которые связаны с пандемией COVID-19, трудно отличить от естественной изменчивости. Концентрация метана также продолжает свой рост.

В 2020 г. межгодовой рост концентрации метана по данным станции Териберка составил 18,6 млрд.⁻¹ (произошло увеличение показателя на 3,9 млрд.⁻¹ по сравнению с 2019 г.). По данным станции Тикси отмечается снижение межгодового роста концентрации метана на 13,4 млрд.⁻¹. В 2020 г. межгодовой рост составил 9,9 млрд.⁻¹ по сравнению с 23,3 млрд.⁻¹ в 2019 г. (среднегодовое значение составило 1993,6 млрд.⁻¹).

За последний 5-летний период наблюдений указанные значения межгодового роста не превышают пределы вариаций на данных станциях.

Особое внимание стоит уделить изменения сезонного хода метана, от года к году, которые особенно ярко проявляются на станции Тикси (рисунок 9). С 2018 года повышенные концентрации CH_4 наблюдаются в августе, когда ожидается максимальная природная эмиссия метана. В 2019 году

такие значения характерны для августа и сентября, а в 2020 году начало роста CH_4 приходится на июнь и продолжается до конца года.

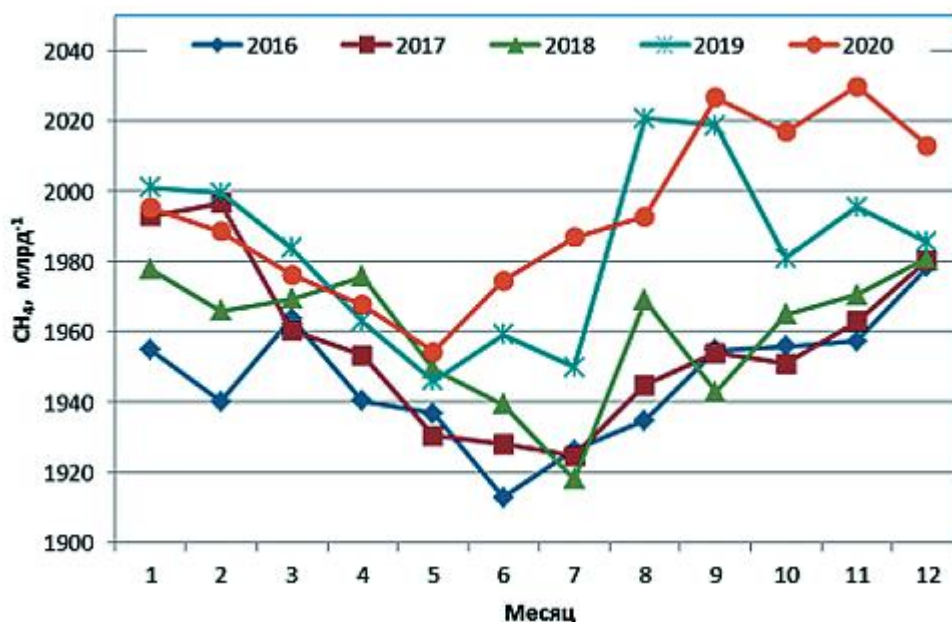


Рисунок 9 – Сезонный ход концентрации CH_4 на станции Тикси

На станции Новый Порт на сезонный ход концентрации CH_4 и CO_2 оказывает влияние естественные и антропогенные источники.

Еще одной не менее важной характеристикой атмосферы в Арктике является состояние озонового слоя. Общее содержание озона в воздухе (ОСО) - важнейшая характеристика озонового слоя, определяющая поглощение ультрафиолетового излучения Солнца в области длин волн 290–315 нм.

В 2020 году на большей части российских сетевых станций были получены отрицательные годовые отклонения средних значений ОСО от нормативных значений. Это связано с образованием и динамикой сильно развитого циркумполярного вихря над Арктикой, который привел к продолжительной отрицательной аномалии полярного арктического озона.

Аналогичные аномалии в Арктике в зимне-весенние периоды были замечены и ранее в 1997 и 2011 гг. Однако в 2020 году продолжительность отрицательных аномалий была более длительной и закончилась на месяц позже по сравнению с аномалией 2011 года. На рисунке 10 для сравнения

представлены итоги измерений ОСО на станции Оленек в марте-мае 1997, 2011 и 2020 гг.

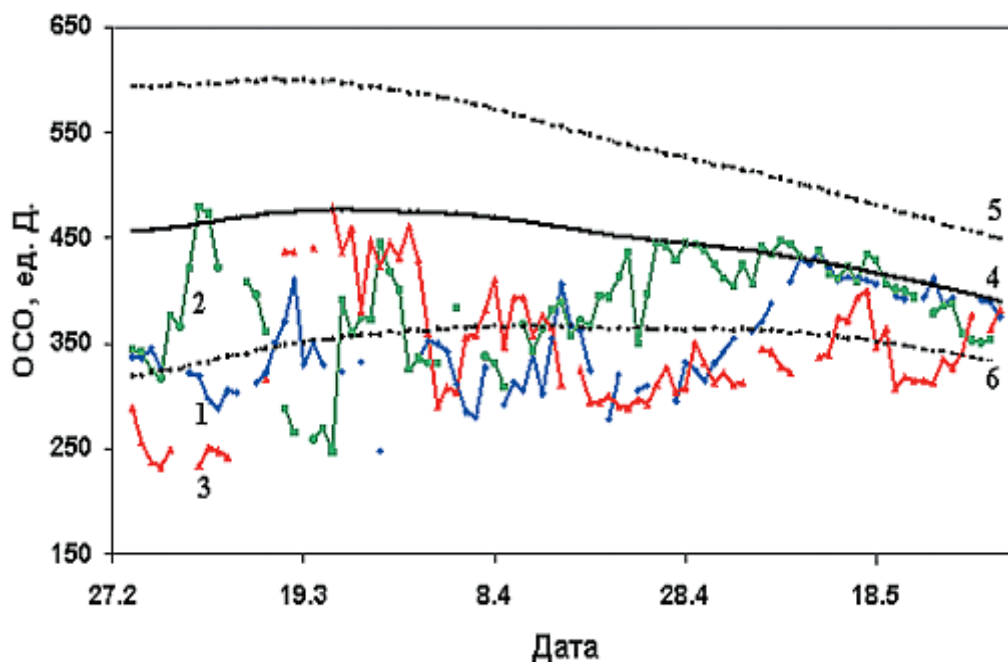


Рисунок 10 – Общее содержание озона на станции Оленек в марте-мае 1997 г. (1), 2011 г. (2) и 2020 г. (3); средние значения ОСО (4) за многолетний период и они же ± 2.5 стандартных отклонений (5 и 6)

20 марта 2011 года на станции о. Котельный был зарегистрирован максимальный дефицит ОСО (50%), а в 2020 году максимальный дефицит ОСО пришелся 2 марта (60%). Снижение ОСО на такую большую величину в районах аномалии ОСО не могло не сказаться на облученности земной поверхности солнечной УФ радиацией. Однако в связи с наблюдавшимся в это время года очень низким Солнцем на высоких широтах показатели УФ индекса не достигали опасных для населения значений (не выше 1). Во второй половине мая 2020 года, когда над северными районами Красноярского края, Якутией и Эвенкией снижение ОСО составило 24%, наблюдалось превышение значений УФ-Б облученности территории над нормативными значениями около 80%, а величина УФ индекса в зоне аномалии не превышала 4. Следует отметить, что уровень УФ радиации, равный 6 и более, опасен для человека.

По причине больших межгодовых изменений невозможно получить значимые оценки трендов полярного озона и ОСО в средних и высоких широтах Северного полушария и определить тенденции поведения озонового слоя в дальнейшем.

1.4 Водные ресурсы

Важной отличительной чертой российской Арктической зоны является наличие значительных водных ресурсов, представленных в виде обширных бассейнов крупнейших рек Российской Федерации. Эти реки не только входят в ресурсную базу региона, но и напрямую влияют на общую экологическую обстановку, климат, состояние арктической флоры и фауны. В целом, наблюдения показали сохранение стабильного состояния водных ресурсов Арктической зоны.

В силу малонаселенности территорий, входящих в Арктическую зону, загрязнение водных ресурсов здесь слабее, чем в других регионах Российской Федерации. Основные проблемные места, как и в случае загрязнения воздуха, совпадают с центрами добывающей и обрабатывающей промышленности, крупными транспортными узлами.

В 2020 г. высокие уровни загрязнения (ВЗ) пресных поверхностных вод АЗРФ отмечались в 226 случаях на 40 водных объектах (в 2019 г. – в 151 случае на 36 водных объектах), экстремально высокие уровни загрязнения (ЭВЗ) – в 147 случаях на 26 водных объектах (в 2019 г. – в 172 случаях на 29 водных объектах). Следует отметить, что в 2020 г. суммарное количество ВЗ и ЭВЗ поверхностных вод увеличилось на 13% по сравнению с предыдущим годом (рисунок 11).

Водные объекты Арктической зоны чрезвычайно уязвимы к действию загрязняющих веществ в силу замедленных процессов самоочищения.

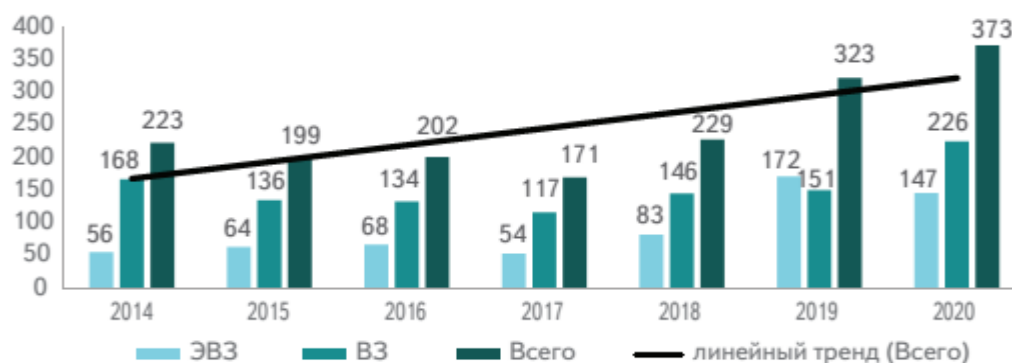


Рисунок 11 – Динамика количества случаев ВЗ и ЭВЗ поверхностных вод Арктической зоны Российской Федерации в 2014–2020 гг.

Основное загрязнение водной среды связано со следующими источниками: горно-металлургическими комбинатами в Норильске, Мончегорске и Никеле, нефтегазовыми комплексами на севере ЕТР и Западной Сибири, Архангельским и Солом-бальским целлюлозно-бумажными комбинатами, золоторудными предприятиями Якутии, со сбросами сточных вод ЖКХ в населенных пунктах, а также с транспортным и рыболовным флотом. Существенный вклад в загрязнение поверхностных вод вносят соединения никеля, алюминия, молибдена, меди, марганца, железа общего и цинка (рисунок 12).

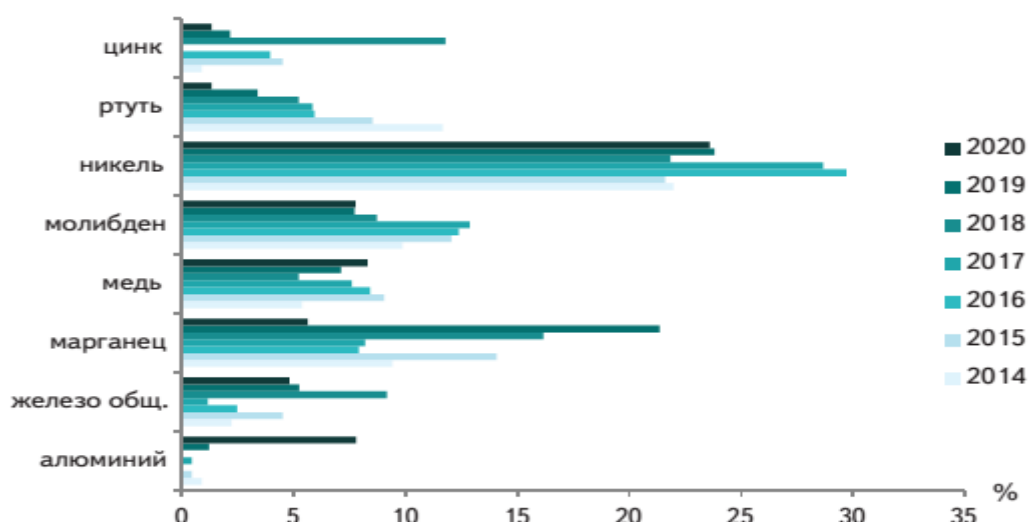


Рисунок 12 – Распределение числа случаев ВЗ и ЭВЗ по ингредиентам (в % от общего количества случаев ВЗ и ЭВЗ Арктической зоны Российской Федерации)

На протяжении 2014-2020 гг. наибольшая часть случаев ВЗ и ЭВЗ в континентальной АЗРФ регистрируется на водных объектах Мурманской области. В 2020 г. в Мурманской области было зарегистрировано 170 случаев высокого и 106 случаев экстремально высокого загрязнения по 15 ингредиентам на 27 водных объектах, что на 36% больше значений предыдущего года (таблица 5).

Таблица 5 – Распределение случаев ВЗ и ЭВЗ по субъектам Арктической зоны Российской Федерации за период 2014–2020 гг.

Регион	2014 ЭВЗ + ВЗ = всего	2015 ЭВЗ + ВЗ = всего	2016 ЭВЗ + ВЗ = всего	2017 ЭВЗ + ВЗ = всего	2018 ЭВЗ + ВЗ = всего	2019 ЭВЗ + ВЗ = всего	2020 ЭВЗ + ВЗ = всего
Мурманская область	45 + 136 = 181	46 + 107 = 153	56 + 100 = 156	50 + 102 = 152	41 + 91 = 132	113 + 63 = 176	106 + 170 = 276
Ямало- Немецкий АО	10 + 18 = 28	15 + 22 = 37	10 + 21 = 31	0 + 7 = 7	42 + 54 = 96	39 + 62 = 101	8 + 25 = 33
Ненецкий АО	0 + 1 = 1	3 + 2 = 5	1 + 2 = 3	4 + 1 = 5	0	1 + 5 = 6	22 + 3 = 25
г. Воркута (Республика Коми)	0	0	0 + 1 = 1	0	0 + 1 = 1	1 + 11 = 12	0 + 1 = 1
Архангельская область ¹	0 + 9 = 9	0 + 2 = 2	0 + 7 = 7	0 + 6 = 6	0	3 + 2 = 5	0 + 10 = 10
Красноярский край ²	0 + 4 = 4	0 + 2 = 2	0 + 2 = 2	0 + 1 = 1	0	15 + 8 = 23	11 + 17 = 28
Республика Саха (Якутия) ²	0	0	0 + 1 = 1	0	0	0	0
Чукотский АО	0	0	0	0	0	0	0
Республика Карелия ⁴	0	0	0	0	0	0	0
Всего:	55 + 168 = 223	64 + 135 = 199	68 + 134 = 202	54 + 117 = 171	83 + 146 = 229	172 + 151 = 323	147 + 226 = 373

Примечание:

1 – – Онежский, Приморский, Мезенский муниципальные районы, городские округа Архангельск, Северодвинск, Ново-двинск, о. Новая Земля; ;

2 – Таймырский (Долгано-Ненецкий), Туруханский муниципальные районы, г. о. Норильск;

3 – Абыйский, Аллаиховский, Анбарский, Булунский, Верхнеколымский, Верхоянский, Жиганский, Момский, Нижнеколым-ский, Оленекский, Среднеколымский, Усть-Янский, Эвено-Бытантайский районы;

4 – Беломорский, Лоухский, Кемский муниципальные районы.

В Мурманской области около 60% всех случаев связано с загрязнением поверхностных вод соединениями тяжелых металлов, максимальное содержание которых составило: меди – (581 ПДК) – р. Травяная, г. Мончегорск; молибдена - (173 ПДК) – руч. Буровой, Кировский р-н; железа общ. (109 ПДК), фтора – (13 ПДК) – ручей без названия, г. Кандалакша; никеля – (106 ПДК) – р. Колос-Йоки, п. Никель; марганца – (68 ПДК) – оз. Имандра, г. Апатиты, у о-ва Избяного, ртути – (17 ПДК) – р. Ньюдай, г. Мончегорск.

В 2020 г. по сравнению с предыдущим годом в Мурманской области увеличилось количество случаев ВЗ поверхностных вод медью, никелем, ртутью, алюминием, бенз(а)пиреном и фтором; сократились случаи загрязнения дитиофосфатом крезильным и молибденом.

Как и в предыдущие годы, максимальную нагрузку от загрязнения испытывают реки Ньюдай, Хауки-лампи-йоки, Луотти-йоки, Колос-йоки, руч. Варничный, на которых наблюдается наибольшее число повторений случаев высокого загрязнения, максимальное количество (35) было зарегистрировано на р. Ньюдай г. Мончегорска (рисунок 13).

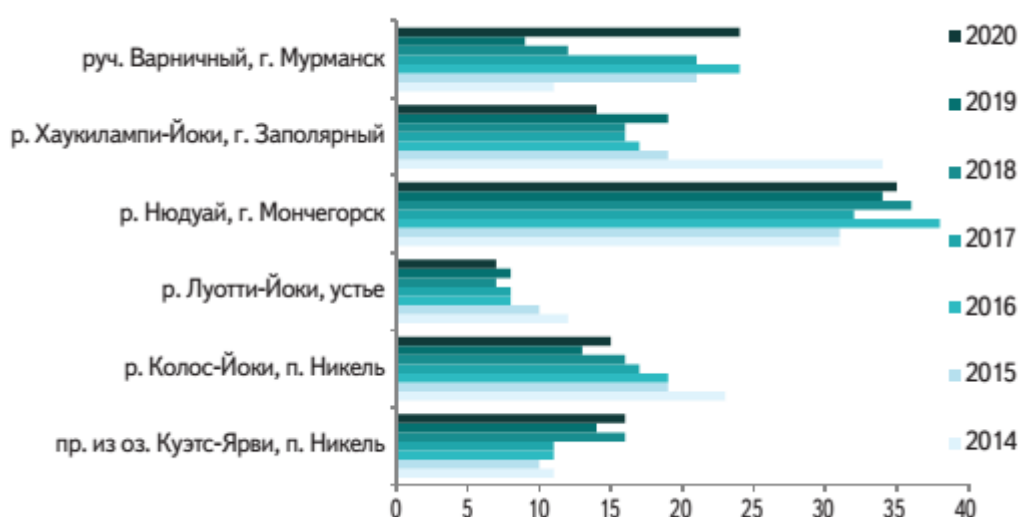


Рисунок 13 – Водные объекты Мурманской области, на которых регистрировалось максимальное число повторений случаев ВЗ и ЭВЗ за период 2014–2020 гг.

Вторым субъектом по количеству случаев высокого загрязнения поверхностных вод АЗРФ является Ямало-Ненецкий АО, в котором в 2020 г. было зарегистрировано 25 случаев ВЗ на 9 водных объектах и 8 случаев ЭВЗ на 6 водных объектах, что почти в 3 раза меньше значений 2019 г. (39 случаев ВЗ на 8 водных объектах и 62 случая ЭВЗ на 11 водных объектах). На химический состав рек существенное влияние оказывает антропогенный фактор, связанный с активным промышленным освоением автономного округа.

Водные объекты округа загрязнены соединениями меди, марганца, железа, цинка и нефтепродуктами (рисунок 14).

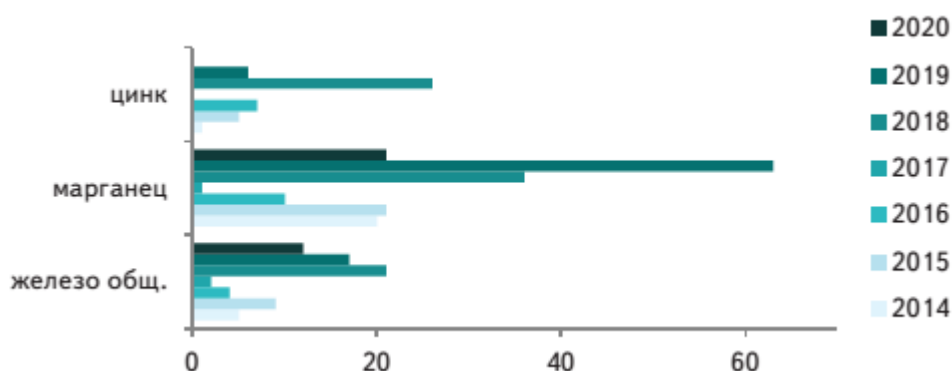


Рисунок 14 – Распределение случаев ВЗ и ЭВЗ по основным загрязняющим веществам в Ямало-Ненецком АО за период 2014–2020 гг.

В 2020 г. в поверхностных водах максимальные концентрации соединений меди составили 93,3 ПДК (р. Пяку-Пур, п. Тарко-Сале); марганца – 230,3 ПДК (р. Седэ-Яха, г. Новый Уренгой), железа – 52,2 ПДК, ДДТ – 22 ПДК (р. Надым, г. Надым). Наибольшее число повторений случаев ВЗ и ЭВЗ поверхностных вод (10) было отмечено в бассейне р. Правая Хетта, пгт. Пангоды.

Для устьевой части р. Северная Двина (Архангельская область) характерна загрязненность воды металлами, а также лигнинными веществами и формальдегидом в результате сброса сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий (рисунок 15).

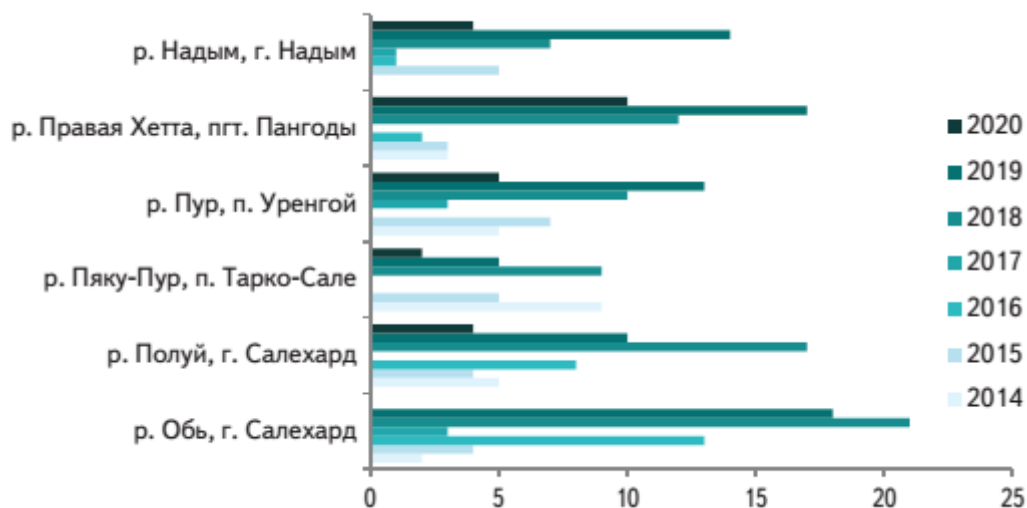


Рисунок 15 – Пункты наблюдений в Ямало-Ненецком АО, в которых регистрировалось максимальное число случаев ВЗ и ЭВЗ за период 2014–2020 гг.

За период 2014–2020 гг. в Архангельской области ежегодно регистрировались от 2 до 10 случаев ВЗ и ЭВЗ поверхностных вод, за исключением 2018 г., когда случаи высокого загрязнения не фиксировались (таблица 5). В 2020 г. в поверхностных водных объектах Красноярского края были зафиксированы следующие максимальные значения загрязняющих веществ: нефтепродуктов – 705 ПДК (р. Амбарная, 2,8 км от устья, г. о. Норильск); никеля – 40,3 ПДК, меди – 39 ПДК (р. Щучья, г. Норильск), где было зафиксировано 14 случаев ВЗ и ЭВЗ.

В 2020 г. на территории Красноярского края произошли две аварии: 29 мая на территории ТЭЦ, принадлежащей Норильско-Таймырской энергетической компании, произошла разгерметизация одного из резервуаров из-за внезапно просевших опор. Топливо разлилось, и начался пожар. Вылившиеся нефтепродукты попали в почву и близлежащие реки – всего более 20 тыс. т. ПДК нефтепродуктов в воде были превышены в десятки тысяч раз, нефть разлилась на расстояние более 20 км от места аварии. 12 июля на территории склада АО «НОРИЛЬСК-ТРАНСГАЗ» при проведении перекачивания в резервуар авиационного топлива из баржи емкостью 608 т, стоящей на р. Большая Хета, произошла разгерметизация

технологического трубопровода диаметром 159 мм на расстоянии 2 км от причала, длина трубопровода – 4 км. В результате разгерметизации трубопровода произошел разлив топлива на грунт в объеме 10–11 м³ (8–8,5 т). После ревизии объем утечки топлива оценен в 55 м³ (44 т). По результатам анализа проб в районе п. Тухард, содержание нефтепродуктов в водных объектах (ручьи, р. Большая Хета в районе ручья Безымянного, озера) составило менее 0,04 мг/дм³. Случаев ВЗ и ЭВЗ не было зафиксировано.

В остальных субъектах Арктической зоны: республиках Карелия и Саха (Якутия), а также в Чукотском АО случаев ВЗ и ЭВЗ поверхностных вод в 2020 г. не было зарегистрировано.

Гидробиологические наблюдения за состоянием поверхностных вод суши экосистем АЗРФ проводятся по основным экологическим сообществам: фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. Каждое из этих сообществ наблюдается по целому ряду параметров, позволяющих получать информацию о количественном и качественном составах экосистем поверхностных водных объектов.

Гидробиологические наблюдения АЗРФ в период с 2007 по 2020 гг. проводились в Восточно-Сибирском, Баренцевском гидрографических районах, а также на территории Республики Саха (Якутия) (рисунки 16-17).

Гидробиологические наблюдения в Баренцевском гидрографическом районе проводятся в Мурманской области. На рисунке 15 представлена картограмма качества вод по гидробиологическим показателям в Мурманской области в 2020 г.

Регулярные многолетние наблюдения в Мурманской области проводятся на 16-ти реках, 7-ми озерах, наиболее значимые из которых реки: Патсо-Йоки, Печенга, Найма-Йоки, Акким, Кола, Кица, Лотта, Вите и Нива; озера: Колозеро, Умбозеро, Чунозеро и Имандра.

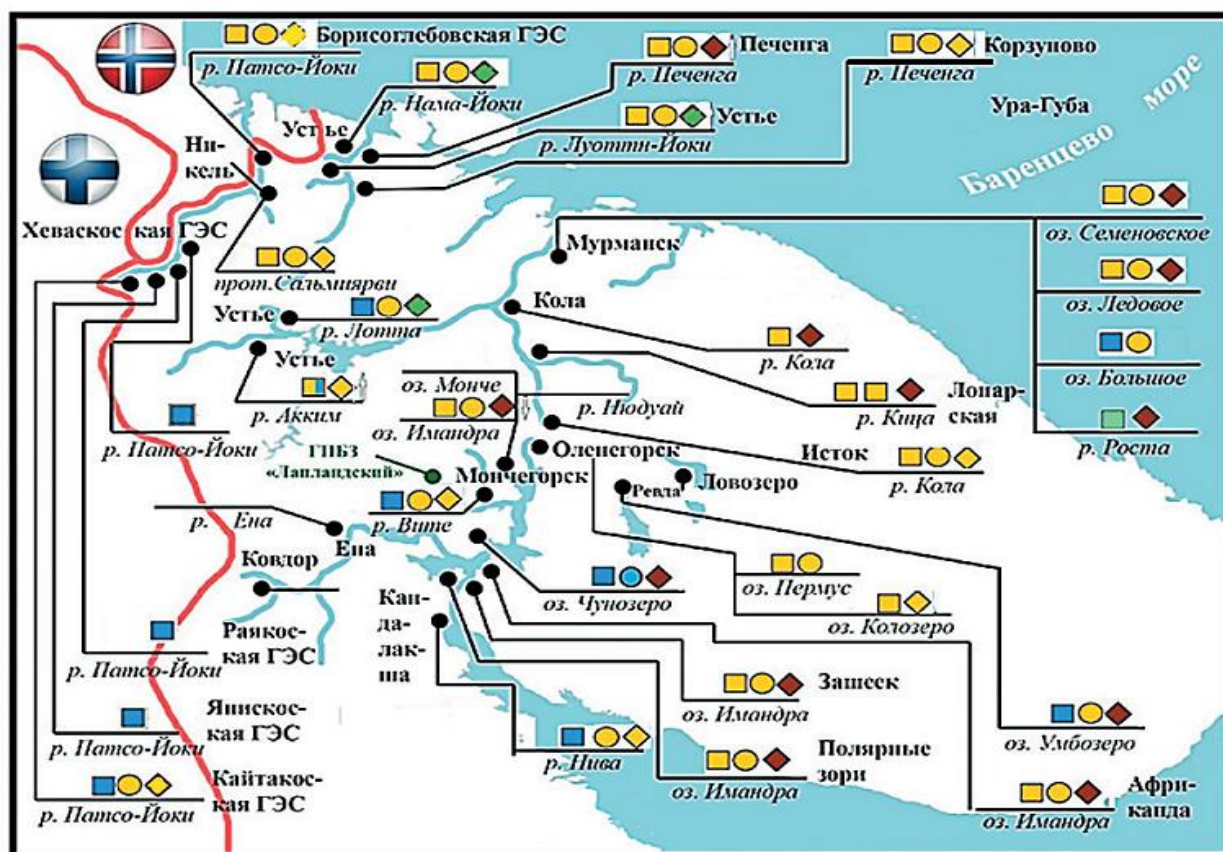


Рисунок 16 – Картограмма качества вод Мурманской области по гидробиологическим показателям в 2020 г.

Примечание:

Класс качества указан цветом, показатель биоценоза указан формой значка

- I – условно чистая
- II – слабо загрязненная
- III – загрязненная
- IV – грязная
- V – экстремально грязная
- ◇ Бентос
- Фитопланктон
- Зоопланктон

Флора и фауна как пресноводных, так и морских арктических водоемов и водотоков является крайне неустойчивой системой, ежегодно формирующейся под воздействием краткосрочного арктического вегетационного сезона. Таким образом, в период с 2014 по 2020 гг. состояние наблюдаемых арктических акваторий Российской Федерации сохраняется на стабильном уровне, кардинальных изменений в таксономическом составе и структуре сообществ, а также градации состояния экосистем не выявлено.

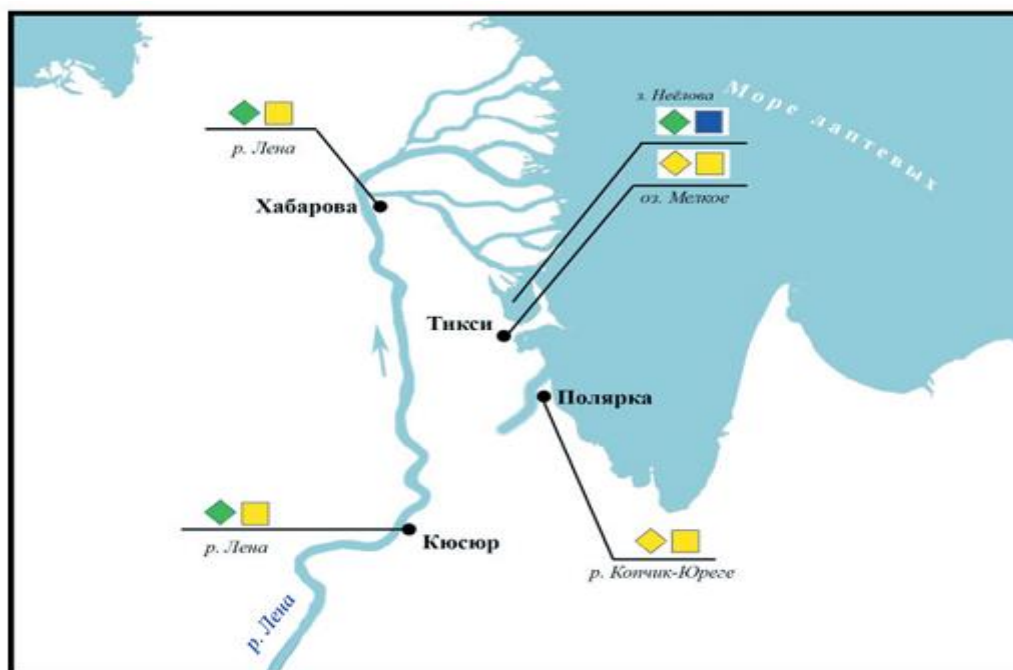


Рисунок 17 – Картограмма качества вод Республики Саха (Якутия) по гидробиологическим показателям в 2020 г.

Примечание:

Класс качества указан цветом, показатель биоценоза указан формой значка

- I – условно чистая
- II – слабо загрязненная
- III – загрязненная
- IV – грязная
- V – экстремально грязная
- ◇ Бентос
- Фитопланктон
- Зоопланктон

В АЗРФ имеются крупнейшие запасы минерально-сырьевых ресурсов. В регионе находится большинство открытых в Российской Федерации месторождений углеводородов, уникальные месторождения алмазов, редкоземельных металлов и прочего сырья, пользующегося спросом как в отечественной промышленности, так и на мировых рынках. По данным Роснедр, в АЗРФ в 2020 г. добывалось 95–100% титана, циркония, редкоземельных металлов, фосфоритовой руды от объема добычи Российской Федерации. Относительно остальных видов полезных ископаемых наибольшую долю в совокупном объеме сырья, добытого в Арктической зоне, составил природный газ. Объем его добычи составил 538

млрд. м³; при этом объем добытого природного газа по всей территории Российской Федерации достиг 598 млрд. м³ (>85%) (таблица 6).

Таблица 6 – Добыча топливно-энергетических и твердых полезных ископаемых

Показатели Добыча основных видов полезных ископаемых	Количественные характеристики 2020	
	Российская Федерация	АЗРФ
Добыча нефти, в том числе газовый конденсат*, млн. т	513	93
Добыча попутного и природного газа*, млрд. м ³	598	538
Добыча железной руды, млн. т	336	13,8
Добыча угля*, млн. т	274,6	7,6
Добыча урана*, тыс. т	3	0
Добыча меди, тыс. т	1134,5	480,3
Добыча хромовых руд, тыс. т	594	261
Добыча алюминия (бокситов), тыс. т	6647	0
Добыча свинца, тыс. т	239,9	0
Добыча никеля, тыс. т	300,6	298,1
Добыча цинка, тыс. т	405,8	0
Добыча олова, тыс. т	4,8	0
Добыча циркония, тыс. т	19,4	19,4
Добыча молибдена, тыс. т	2127	0
Добыча серебра, т	1683,8	132,7
Добыча марганцевых руд, тыс. т	188	0
Добыча титана, тыс. т	438	438
Добыча золота, т	408,4	36,7
Добыча металлов платиновой группы МПГ, т	148,8	148,4
Добыча алмазов, млн. кар	36,2	11,6
Добыча редкоземельных металлов (РМЗ), тыс. т	114,8	114,8
Добыча фосфоритовой руды Р ₂ О ₅ , тыс. т	6129	6062
Добыча солей калийных, млн. т	9,6	0
Добыча шпата плавикового, тыс. т	31	0
Добыча цементного сырья, млн. т	93,9	0,8
Добыча природных песков, млн. м ³	245,4	2,5
Добыча щебня, гравия, гальки, млн. м ³	137,5	4,55
Добыча вольфрама, тыс. т	3,8	0

Примечание:

* - топливно-энергетические полезные ископаемые;

** - по первичным статистическим данным недропользователей.

Важнейшей проблемой являются обширные нарушения в структуре почв и экосистем, связанные с развитием добывающей и обрабатывающей отраслей экономики. Карьеры, рудники, отвалы и хвостохранилища меняют

ландшафт АЗРФ, зачастую радикально нарушая биологический баланс отдельных территорий.

1.5 Геологическая среда

Территория АЗ РФ включает в себя комплекс массивных гидрогеологических структур в пределах Арктического и Бореального климатических поясов. Арктический пояс образуют субокеанические бассейны (Баренцев, Гиперборейский и др.), а также шельфовые и прибрежные зоны морей Северного Ледовитого океана (Лаптевых, Карское и др.). В состав данного пояса также входят донные хребты (Менделеева, Ломоносова и др.).

Что касается Бореального пояса, то он расположен южнее и в его структуру входят артезианские области Западно- и Восточно-Сибирских, Восточно-Европейской территорий.

Особенность АЗ РФ состоит в широком распространении многолетнемерзлых пород, для которых характерна низкая температура, большая мощность и небольшой слой сезонного оттаивания (рисунок 18).

Климатические изменения, а также технологические факторы привели к возникновению экзогенных геологических процессов в АЗ РФ. Характеристика развития экзогенных процессов представлена по субъектам РФ, которые входят в состав Арктике, поскольку протяженность АЗ РФ составляет 22600 км.

Для Архангельской области характерны оползневой, эоловый (дефляция, аккумуляция), криогенный и карстовый процессы, а также осыпи и овражная эрозия.



Рисунок 18 – Карта инженерно-геокриологического районирования АЗ РФ

Для Ямало-Ненецкого автономного округа характерны такие экзогенные процессы, как и эоловые процессы, процесс овражной эрозии, гравитационно-эрозионные процессы, оползневой процесс, суффозия, карстовый процесс, криогенные процессы, подтопление.

В Красноярском крае развиты криогенные процессы (морозная сортировка грунтов, криогенное выветривание пучение, морозобойное растрескивание, термокарст, криогенные склоновые процессы).

В Республике Саха (Якутия) и Чукотском автономном округе развитие многолетнемерзлых горных пород привело к широкому распространению криогенных склоновых процессов, образующие совместно с процессами не криогенного происхождения единые сложные комплексы склоновых процессов и соответствующих им проявлений (морозобойное растрескивание, десерпция, солифлюкция, термоэрозия).

Активное экономическое развитие Арктики, характерное в современных условиях оказывает значимое влияние на состояние геологической среды, приводя к интенсивному развитию негативных геологических процессов, что может привести к негативному воздействию на объекты инфраструктуры. Наблюдается деградация и разрушение многолетней мерзлоты, происходит активизация оползневых процессов, изменение теплофизических свойств пород, их несущей способности, проседание земной поверхности над разрабатываемыми залежами углеводородов и др.

1.6 Почвы и земельные ресурсы

Многолетнемерзлые породы и связанные с ними криогенные процессы мерзлоты – один из факторов, который определяет состояние и состав почвенного покрова Арктики.

Для почвенного покрова тундровых и пустынных территорий Арктики, с распространением многолетней мерзлоты повсеместно и криогенных процессов, которые связаны с ней, характерны микроструктуры – широкий охват комплексов. В тундровой и пустынной зонах Арктики они отличаются структурой почв и геометрическими формами почвенных ареалов, и именно они являются определяющим фактором состава и характеристики почвы в определенном месте (рисунок 19).

Специфика типов почв Арктику определяется продолжительностью периодов протаивания и промерзания почвы, а также общим климатическим режимом территории (рисунок 20).



Рисунок 19 – Карта мерзлотных процессов в почвах АЗ РФ

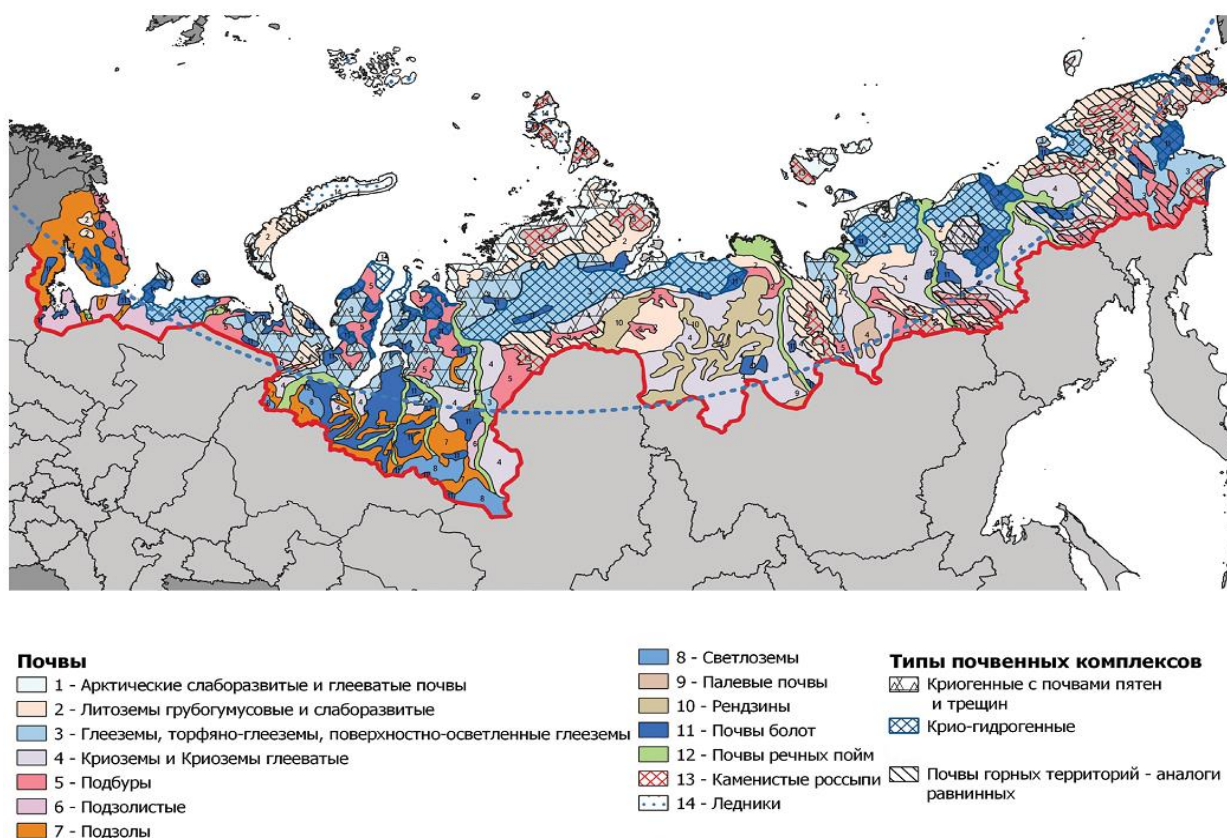


Рисунок 20 – Состав почвенного покрова АЗ РФ

Важной особенностью АЗ РФ является то, что для большей части территории Арктики характерна многолетняя мерзлота, для которой

характерны небольшой слой сезонного оттаивания и низкие температуры. Местами породы промерзают на глубину 1500 м.

1.7 Биологическое разнообразие

Несмотря на экстремальные природные условия, большое количество представителей фауны и флоры Арктики успешно приспособилось к данной среде обитания. АЗ РФ населена большим количеством разнообразных животных, растений и грибов, которые создают уникальные природные экосистемы на арктической территории (Приложения 1-8). Необходимо отметить, что арктическая территория заселена разнообразными растениями и животными, которые включены в Красную книгу.

В Арктике имеется большое количество природоохранных зон с целью снижения негативных последствий от деятельности человека и предотвращения возможного ущерба. АЗ РФ включает в себя обширные по площади особо охраняемые природные территории (ООПТ) различной классификации.

Большое количество представителей фауны и флоры на территории Арктики, требует как особого природоохранного режима, так и специализированных учреждений, деятельность которых связана с изучением природных особенностей некоторых территорий, которые важны для сохранения популяций животного мира: редких и находящихся под угрозой исчезновения; включая путоранского снежного барана, белого медведя, лаптевского моржа, кита (горбач, нарвал, гренландский,), стерха (белый журавль), краснозобую казарку, малого лебедя, кречета, орлан-белохвоста. К 2020 году на территории Арктики создано 224 особо охраняемых природных территорий, общая площадь которых составляет 109,5 млн. га (рисунок 21).



Рисунок 21 – ООПТ федерального значения, расположенные в АЗ РФ

В их число входят:

- 40 ООПТ федерального уровня, общая площадь которых составляет 40,3 млн. га, из них 16,2 млн. га приходится на морскую акваторию, в т.ч. 10 национальных парков, 14 государственных природных заповедников, 4 памятника природы федерального значения, 8 государственных природных заказников федерального значения, 4 ботанических сада;
- 164 ООПТ регионального значения, общая площадь которых составляет 54,3 млн. га, из них 56 заказников, 6 природных парков, 26 ресурсных резерватов, 75 памятников природы, 1 уникальное озеро;
- 20 ООПТ местного уровня, общая площадь которых составляет 14,9 млн. га.

ГЛАВА 2 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

2.1 Основные отрасли промышленности арктического региона

Экономическое развитие Арктики связано с наличием на ее территории больших запасов полезных ископаемых. Однако освоению АЗ РФ препятствует суровый климат, недостаточно развитая транспортная инфраструктура. Не смотря на это, в настоящее время освоению Арктики уделяется особое внимание.

В структуру Европейской части Арктики входит Республика Коми, Архангельская и Мурманская области. Здесь развиты добывающие и перерабатывающие отрасли промышленности, приоритетными отраслями являются черная и цветная металлургия, гидроэнергетика, целлюлозно-бумажная, деревообрабатывающая и рыбная промышленность, транспорт (таблице 7).

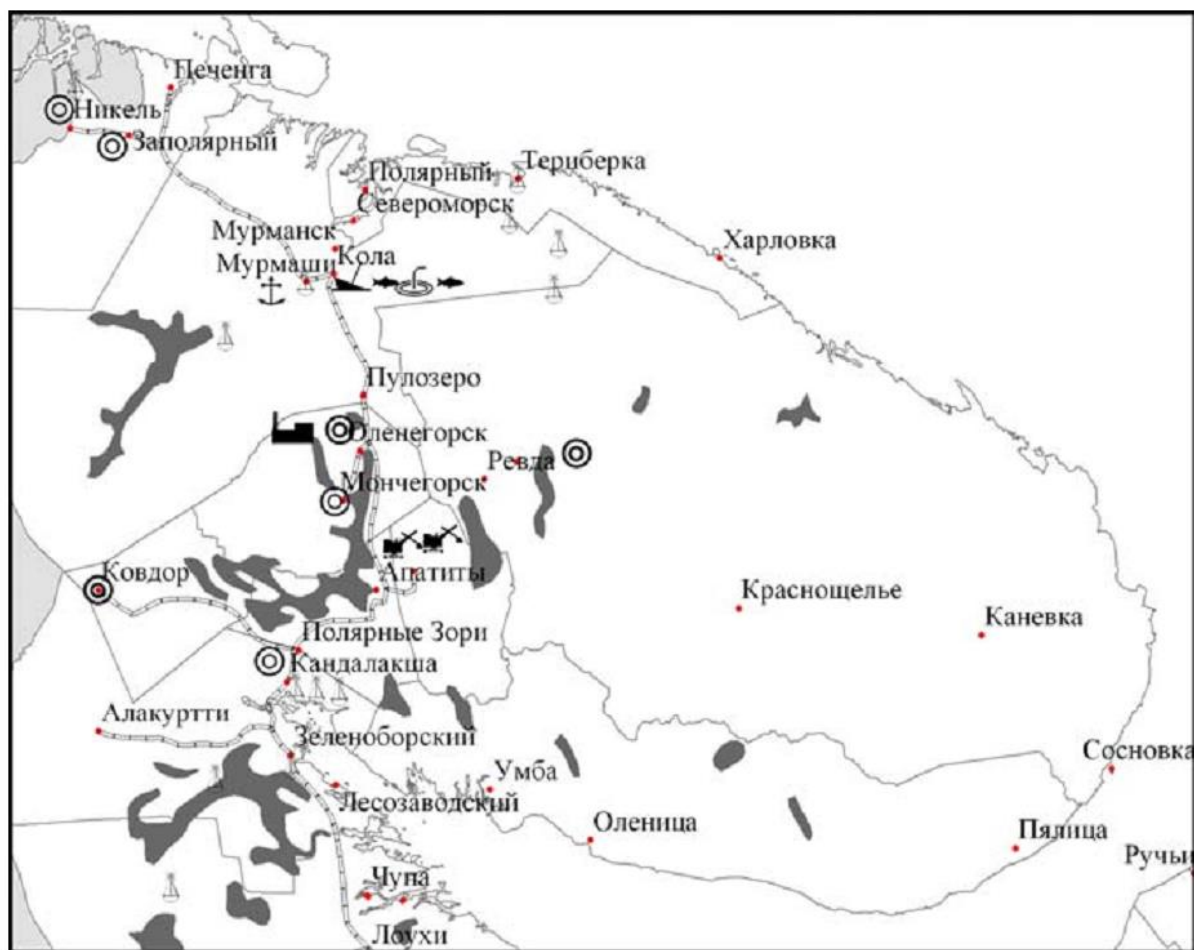
Таблица 7 - Основные промышленные предприятия Европейской части Российского сектора Арктики и их источники водоснабжения

Субъект	Отрасль	Промышленное предприятие	Водный объект
Мурманская область	Атомная энергетика	Кольская АЭС	оз. Имандра, р. Нива
	Гидроэнергетика	Нивский, Туломский, Пазский, Серебрянский, Териберский каскады	р. Нива, р. Тулома, р. Патсо-Йоки, р. Воронья, р. Териберка
	Цветная металлургия	Комбинаты: «Североникель», «Печенганикель», Кандалакшский алюминиевый завод	Кандалакшский залив, оз. Мончеозеро, оз. Имандра, р. Печенга, р. Нива
	Черная металлургия	Ловозерский, Ковдорский горно-обогатительные комбинаты	оз. Ловозеро, р. Ковда
	Горно-химическая	Кировский и Апатитский горно-химические комплексы	оз. Имандра, оз. Умбозеро
	Рыбная	Рыбоперерабатывающие комбинаты (Мурманск)	р. Кола, р. Роста, Кольский залив

Продолжение таблицы 7

Субъект	Отрасль	Промышленное предприятие	Водный объект
Архангельская область	Машиностроение	Краснофлотский машиностроительный завод, завод «Полярная звезда», Северодвинский завод дорожных машин	р. Северная Двина, Двинская губа
	Лесозаготовительная	Лесозавод №3, Карпогорский ЛПХ, Тигрозерский леспромхоз	р. Северная Двина, р. Кулой, р. Ваенга, р. Пинега, р. Моша
	Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная	Соломбальский ЦБК, Котласский ЦБК, Архангельский ЦБК	р. Северная Двина, р. Вычегда
	Водный транспорт	Порт Архангельск	р. Северная Двина
Республика Коми	Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная	Лесопильно-деревообрабатывающие комбинаты	р. Вычегда, р. Сысола
	Нефтедобывающая	Усинское и Сосногорское месторождения нефти	р. Уса, р. Колва
	Угольная	Интинское и Варгашорское угольные месторождения	р. Воркута, р. Инта

В АЗ РФ промышленность наиболее развита в Мурманской области (рисунок 22). В состав данной области входят гидроэлектростанции, представленные в таблице 7, которые создают благоприятные условия для развития гидроэнергетики в регионе [19]. Такие комбинаты, как «Североникель» и «Печенганикель» поддерживают производственную мощность посредством запасов медно-никелевых руд. Основными объектами черной металлургии в области являются Ковдорский и Ловозерский горно-обогатительные комбинаты. Горно-химическая промышленность представлена Апатитским и Кировским горно-химическими комплексами. В Мурманске работают крупные заводы по переработке продукции рыбного промысла баренцевоморского региона.



Отрасль промышленности

- ⚓ водный транспорт
- 🏗️ гидроэнергетика
- 🏭 горнохимическая
- 🌲 лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная
- 🏭 машиностроение
- 🛢️ нефтедобывающая
- 🐟 рыбная
- 🚢 судостроительная
- ⦿ цветная металлургия
- ⦿ черная металлургия

Проекция Гаусса-Крюгера
Масштаб 1:3000000

Рисунок 22 - Основные отрасли промышленного производства
Мурманской области

В северо-восточной части Республики Карелия и Архангельской области расположены комбинаты деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности: «Сегежский ЛДК», «Муезерский ЛПХ», «Кемский лесопильно-деревообрабатывающий завод», «Соломбальский ЦБК», «Котласский ЦБК», «Архангельский ЦБК» и др.

На территории республики Коми находятся значительные месторождения нефти, газа и угля. Основными добывающими и перерабатывающими предприятиями являются компании «Коминнефть» и «Тэбукнефть» (Сосногорское и Усинское месторождения нефти), «Воркутауголь» и «Интинская угольная компания» (Варгашорское и Интинское угольные месторождения).

В азиатскую часть Российской Арктики входят территории Ненецкого, Ямало-Ненецкого, Долгано-Ненецкого и Чукотского автономных округов (АО), север Красноярского края и Республики Саха (Якутия) и частично Магаданская область. Здесь развиты отрасли, связанные с добычей природного газа, нефти, угля, драгоценных металлов и алмазов, древесины (таблица 8). Организовать переработку «на месте» зачастую весьма затруднительно: строительство объектов перерабатывающих отраслей требует значительных финансовых затрат, и трудоспособное, квалифицированное население в этих районах малочисленно. Основная часть добываемых ископаемых транспортируется на запад по нефтепроводам, газопроводам, железнодорожными и водными путями. Водный транспорт играет ключевую роль в грузообороте этих труднодоступных районов.

Таблица 8 - Основные промышленные предприятия Азиатской части Российского сектора Арктики и их источники водоснабжения

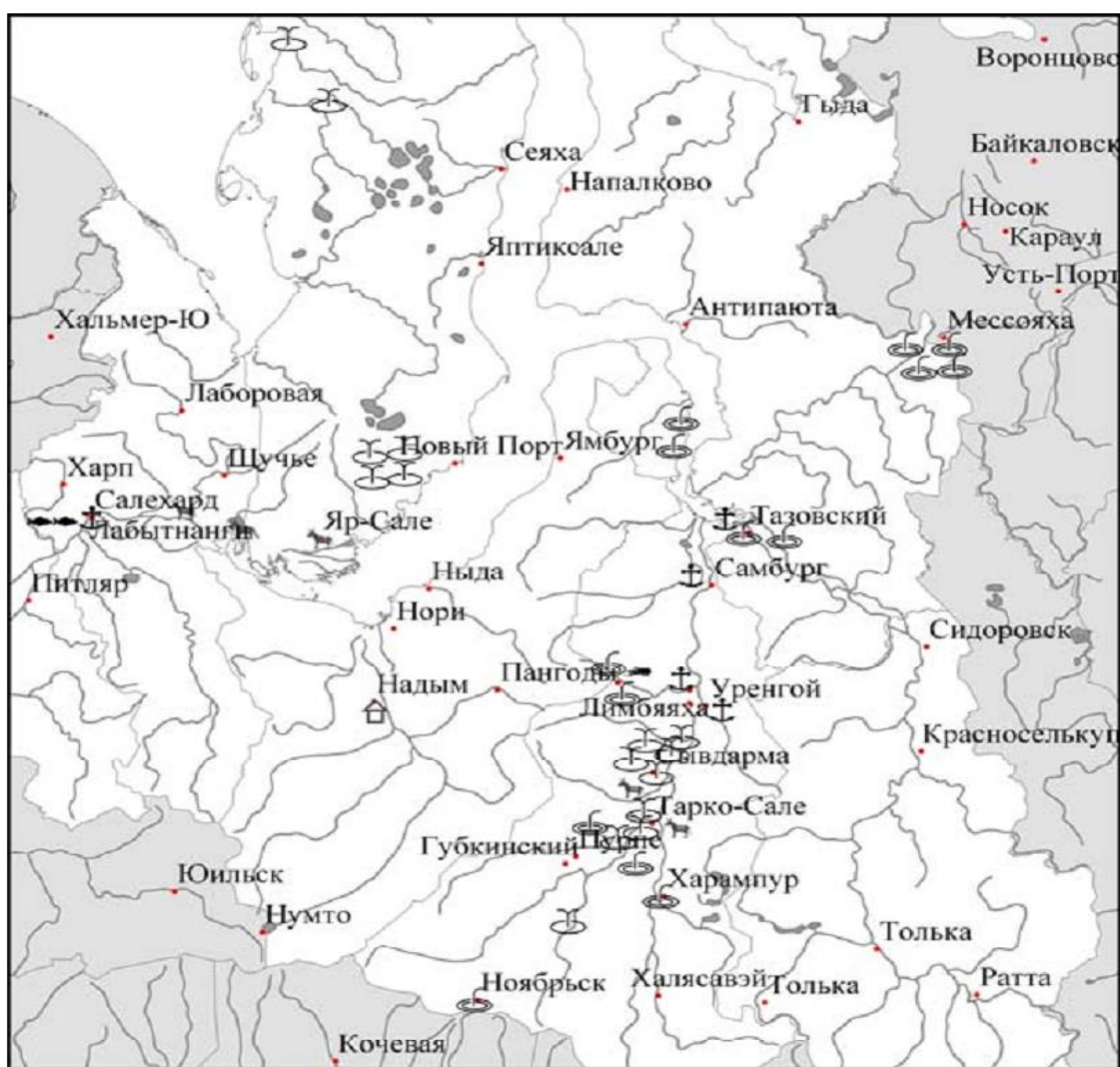
Субъект	Отрасль	Промышленное предприятие	Водный объект
Ненецкий АО	Водный транспорт	Порт Амдерма	Тазовская губа
	Лесозаготовительная	Лесозаготовительная компания	Р. Печора
	Добыча природного газа	Газоконденсационное месторождение	Р. Печора
	Рыбная	Рыбоперерабатывающий завод	Р. Печора
Ямало-Ненецкий АО	Добыча природного газа	Вынгапурское, Харасавейское, Ямсовейское, Юбилейное, Комсомольское, Бованенковское месторождения	р. Пур, Пурпе, Харампур, Айваседапур, Ямсавай

Продолжение таблицы 8

Субъект	Отрасль	Промышленное предприятие	Водный объект
	Нефтедобывающая	Западно-Мессояхское и Восточно-Мессояхское месторождения, Ноябрьское месторождение	р. Мессояха, р. Нянгусьяха
	Водный транспорт	Порты Салехард, Тазовский и Уренгой	р. Обь, р. Пур, р. Таз
Таймырский (Долгано-Ненецкий) АО	Горнодобывающая	Рудники: Комсомольский, Мая, Медвежий ручей, Ангидрид	оз. Пясино, реки Пясины, Норилка, Амбарная, Рыбная
	Цветная металлургия	Талнахская, Норильская обогатительные фабрики, Надежинский завод	оз. Пясино, р. Пясины, Норилка, Амбарная
	Водный транспорт	Порт Дудинка, порт Диксон, порт Хатанга	р. Енисей, р. Хатанга
Республика Саха (Якутия)	Угольная	Месторождения: Согийской, Таймыльское, Куларское, Эликчанское, Тихонское	р. Кунга, Куч-чугуй-Кюэгюлюр, Уяндина, Индигирка
	Цветная металлургия	Усть-Неринское золотоносное месторождение, Оловянный завод	р. Яна, р. Иргичан
	Добыча драгоценных металлов и алмазов	Месторождения: Удачинское, Айхальское, Эбеляхское	реки Анабар, Малая Куоманка, Далдын, Марха
	Водный транспорт	Порты: Тикси, Среднеколымск, Черский, Певек, Чокурдах, Средняянск	р. Лена, Яна, Колыма, Индигирка
Чукотский АО	Атомная энергетика	Билибинская АЭС	р. Большой Поннеурген
	Добыча драгоценных металлов и алмазов	Рудники Комсомольский и Билибинский	р. Большой Поннеурген
	Угольная	Углекопское и Нагорное месторождения	р. Волчья, р. Алякватваам

На территории Ненецкого АО располагается Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция (НГП). В его состав входят крупные высокодебитные нефтяные (Западно-Тэбукское, Пашнинское, Усинское, Возейское, Харьягинское и др.) и газоконденсатные (Вуктыльское) месторождения.

На территории Ямало-Ненецкого АО расположена Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция, куда входят Уренгойское, Ямбургское, Заполярное, Медвежье, Надымское, Тазовское месторождения газа (рисунок 23). Особое значение сейчас приобретают Ямальские газоконденсатные месторождения (Бованенковское, Крузенштернское, Харасавейское и др.).



Отрасль промышленности

⚓ водный транспорт

⚡ гидроэнергетика

🔥 добыча природного газа

🛢️ нефтедобывающая

🦌 оленеводство

🏠 промышленность строительных материалов

🐟 рыбная

🛣️ транспорт

Проекция стереографическая
Масштаб 1:7500000

Рисунок 23 - Основные отрасли промышленного производства Ямало-Ненецкого автономного округа

Крупнейшие промышленные предприятия Долгано-Ненецкого АО принадлежат концерну «Норильский никель», горнометаллургические комбинаты которого используют медно-никелевые руды Норильского, Талнахского и Октябрьского месторождений. Основной продукцией являются медь, никель, кобальт, платина и другие металлы. Порт Дудинка обеспечивает транспортировку грузов.

На востоке азиатской части Российской Арктики располагаются Тунгусский, Таймырский и Ленский угольные бассейны, которые в своих недрах заключают и энергетические, и коксующиеся угли. Права разработки основных месторождений угля (Согийское, Таймыльское, Куларское, Эликчанское, Тихонское) принадлежат холдинговой компании «Якутуголь». В последнее время большое внимание уделяется перспективной, в плане добычи углеводородов, Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции [10].

Добыча золота сосредоточена вблизи Усть-Неринского месторождения, разработку которого проводит компания «Индибирзолото». Высококачественные алмазы добываются на Удачинском, Айхальском, Эбеляхском месторождениях, принадлежащих компании «Алроса».

Наземная транспортная сеть развита крайне плохо, поэтому перевозки осуществляются по водным магистралям через порты Тикси, Среднеколымск, Черский, Певек, Чокурдах, Среднеянк.

2.2 Производственные функции основных отраслей экономики арктического региона

Водные ресурсы используются в любом промышленном производстве, бесперебойная и экологически безопасная работа предприятий обоснована расчетами с использованием гидрологических характеристик с заданным уровнем вероятности появления. При расчетах регулирования поверхностного стока и водоотвода с горнодобывающих и угольных выработок используют данные о максимальных расходе.

Оценка достаточности водных ресурсов для целей водоснабжения предприятий цветной и черной металлургии, нефтеперерабатывающих и целлюлозно-бумажных комбинатов базируется на данных о минимальном стоке. Выбор конструктивной схемы водозабора и условия его эксплуатации ограничиваются расчетными максимальными и минимальными уровнями воды и водностью источника [4]. Экологические требования к предприятиям формулируются исходя из расчетов условий разбавления сточных вод, которые опираются на статистические характеристики годового и минимального стока.

Технико-экономическое обоснование строительства объектов наземной транспортной инфраструктуры также опирается на расчетные гидрологические характеристики: габариты железнодорожных и автомобильных мостовых переходов и трубопроводов, высота пойменных насыпей и ограждающих сооружений базируется на оценках многолетней изменчивости максимального стока. При определении лимитирующих судоходство уровней воды на водных магистралях необходимы данные о максимальных и минимальных ежедневных уровнях. Строительство портовых сооружений и расчет проектной навигационной глубины ориентируется на наинизшие судоходные уровни, а следовательно, на минимальный сток. Продолжительность навигации определяют сроки замерзания и вскрытия водных объектов. Как показано в работах [6], только повышение температуры воздуха на 2,5–3,0 °С, которое прогнозируется большинством моделей общей циркуляции атмосферы, приведет к увеличению сроков навигации на 8-12 суток. Однако сроки вскрытия и замерзания основных речных портов, расположенных в устьях крупных северных и сибирских рек, зависят не только от климатических факторов, но и от стоковых характеристик этих водных объектов.

Определение гидроэнергетического потенциала рек и строительство гидроэлектростанций опирается на расчеты годового и сезонного стока (в

зависимости от вида регулирования, осуществляемого ГЭС) [1]. При расчетах параметров водопропускных сооружений гидроузлов используются данные о максимальных расходах воды.

Прогнозы численности промысловых рыб и оценки объема допустимого улова опираются на данные о водности [15]. Так, в работе [16] отмечено, что среди наиболее значимых факторов воспроизводства сиговых стад в Обском бассейне является водность года. Высокоурожайные поколения муксуна и нельмы появляются при совпадении многоводного года с высокой численностью производителей. Коэффициенты корреляции численности этих видов рыб со среднегодовым уровнем воды составляют 0,58–0,73.

Специалисты ГОИН используют данные о стоке р. Печоры в замыкающем створе в качестве предиктора для прогнозирования численности промысловой части лососевых в Печорском регионе [21].

Формализованные производственные функции основных отраслей экономики Российского сектора Арктики обобщены в таблицах 9 и 10, графические пояснения представлены на рисунке 24.

Таблица 9 - Производственные функции добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности арктического региона

Отрасль промышленности	Показатель технико-экономического обоснования	Лимитирующие гидрологические характеристики	Соотношение
Рыбная	Численность промыслового стада (ЧПС)	Уровень воды, объемы весеннего половодья	$ЧПС = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$, где гидрологическая характеристика является одним из предикторов (X)
Черная и цветная металлургия, дерево-, нефте-, газоперерабатывающие отрасли	Расход источника водоснабжения	Минимальные среднемесячные расходы ($Q_{ис}$) обеспеченностью 85, +0 и 95% (в зависимости от категории водозабора III-I)	$Q_{ис} = Q_{пр} + Q_{гар}$, где $Q_{пр}$ – расходы воды потребляемой предприятием; $Q_{гар}$ – гарантированные расходы ниже водозабора предприятия

Продолжение таблицы 9

Отрасль промышленности	Показатель технико-экономического обоснования	Лимитирующие гидрологические характеристики	Соотношение
	Гарантированный расход воды ниже водозабора ($Q_{\text{гар}}$)	$Q_{\text{мин}}$ – минимальный среднесуточный расход 95% обеспеченности	$Q_{\text{гар}} \leq Q_{\text{мин}}$
	Глубина водозаборного колодца ($H_{\text{вод}}$) (рис. 24, а)	Максимальные ($H_{\text{макс}}$) и минимальные ($H_{\text{мин}}$) уровни воды обеспеченностью 1, 3, 5% и 90, 95, 97% (в зависимости от категории водозабора I-III)	$H_{\text{мин}} < H_{\text{вод}} < H_{\text{макс}}$
Горно-, нефте-, газодобывающие отрасли	Размеры отводных каналов (D_k)	Максимальный паводковый расход 5% обеспеченности (Q_p)	$D_k = f(Q_p)$

Таблица 10 - Производственные функции гидроэнергетического и транспортного комплексов арктического региона

Отрасль промышленности	Показатель технико-экономического обоснования	Лимитирующие гидрологические характеристики	Соотношение
Гидроэнергетика	Габаритные размеры водопропускных сооружений (L_h)	Максимальные расходы воды ($Q_{\text{макс}}$) обеспеченностью 0,1, 1, 3, 5% (для основного случая) и 0,01, 0,1, 0,5, 1% (для поверочного случая)	$L_h < Q_{\text{макс}}$
	Объем водохранилища многолетнего	Норма, коэффициенты вариации и асимметрии	$W=f(N, C_v, C_s)$
	Потенциальные гидроэнергоресурсы ($N_{\text{гэ}}$)	Норма годового стока (N)	$N_{\text{гэ}} = 85900NH$, где H – отметка уровня воды в верхнем бьефе
Транспорт	Минимальная судоходная глубина ($h_{\text{с}}^{\text{мин}}$)	Минимальный уровень воды ($H_{\text{мин}}$), обеспеченностью 95, 97, 99% (в зависимости от категории пути)	$h_{\text{с}}^{\text{мин}} = H_{\text{мин}} - H_{\text{дн}} - S'$, где S' – суммарные поправки на волнение, осадку судна и пр.

Продолжение таблицы 10

Отрасль промышленности	Показатель технико-экономического обоснования	Лимитирующие гидрологические характеристики	Соотношение
	Максимальная судоходная глубина ($h_{\text{с макс}}$)	Максимальный уровень воды ($H_{\text{макс}}$), обеспеченностью 1, 3, 5%	$h_{\text{с макс}} = H_{\text{макс}}$
	Габариты надводного сооружения ($h_{\text{габ}}^{\text{гор}}$, $h_{\text{габ}}^{\text{верт}}$) (рис. 24, б)	Максимальные и минимальные уровни воды, обеспеченностью 1, 3, 5 и 95, 97, 99%	$h_{\text{габ}}^{\text{гор}} = H_{\text{макс}} + H'$, где H' - регламентируемая высота превышения габарита, $h_{\text{габ}}^{\text{верт}} = f(H_{\text{мин}})$
	Продолжительность навигационного периода Т	Сроки замерзания и вскрытия D_3 , $D_в$	$T = D_3 - D_в$, где D_3 , $D_в$ зависят от водности объекта

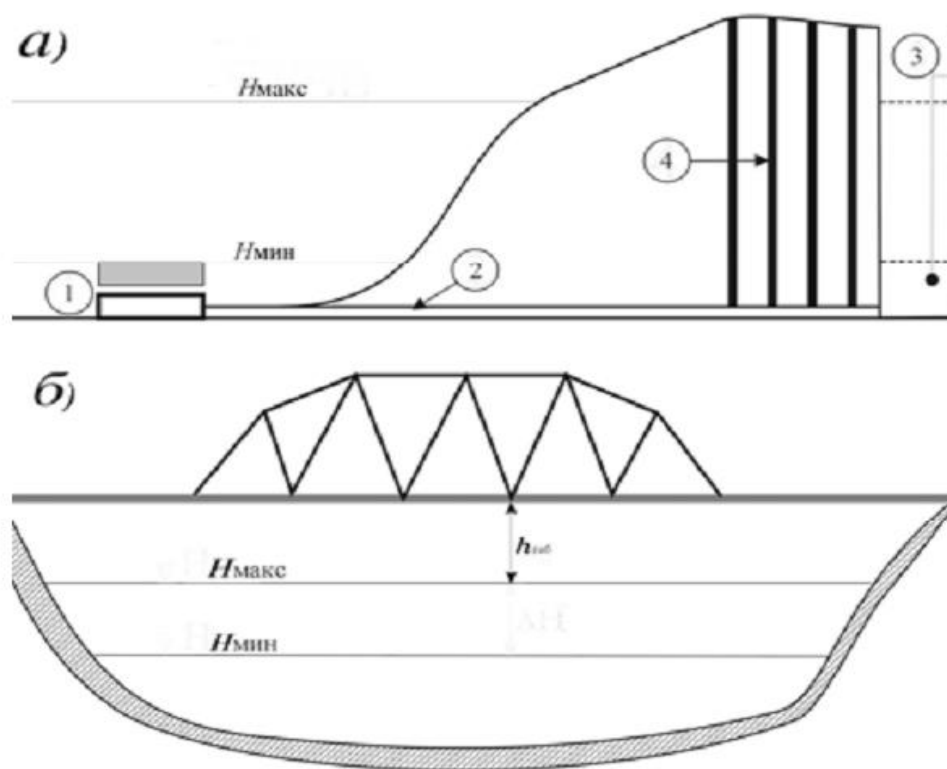


Рисунок 24 - Определение глубины головки водозабора предприятия(а) и высоты мостового сооружения(б) [20]. а: 1– водоприемный фильтрующий оголовок; 2 – самотечный трубопровод; 3– береговой водоприемный колодец; 4 – шпунтовое ограждение; б: $H_{\text{мин}}$ и $H_{\text{макс}}$ – минимальный и максимальный уровень воды заданной обеспеченности; $h_{\text{габ}}$ – высота надводного габарита

2.3 Чувствительность отраслей экономики к долгосрочным изменениям гидрологического режима в Арктике

В производственных функциях большинства отраслей экономики используются кривые плотности вероятности (обеспеченности) годового, минимального и максимального видов стока. Наиболее востребованными являются обеспеченные годовые расходы воды, минимальные и максимальные расходы и уровни воды. В настоящее время решению задачи научно обоснованного получения расчетных обеспеченных характеристик стока уделяется большое внимание [14].

Расчеты гидрологических характеристик нормирует СП33.101-2003. В документе регламентируются основные процедуры анализа гидрологических рядов на однородность и стационарность, приводятся рекомендации по приведению рядов гидрологических наблюдений к необходимой продолжительности, а также дается руководство по построению кривых обеспеченности и определению расчетных обеспеченных величин стока.

Однако в основе данного СП лежит гипотеза о стационарности гидрологического режима, что фактически означает неизменность параметров кривых обеспеченности (плотности вероятности) основных видов водного стока на протяжении всего периода эксплуатации сооружения. Его надежность определяется, в том числе, статистическими характеристиками стока, которые используются в инженерных расчетах параметров сооружений [5]. Игнорирование последствий климатических изменений в части их влияния на статистические моменты распределения основных видов стока (рисунок 25, а, б) приведет к тому, что спроектированные объекты не будут отвечать заданному уровню надежности [24].

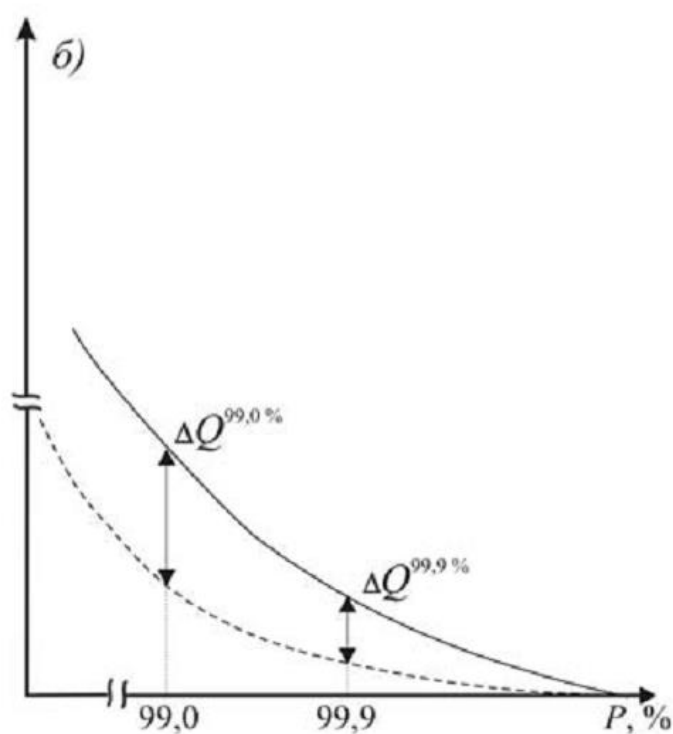
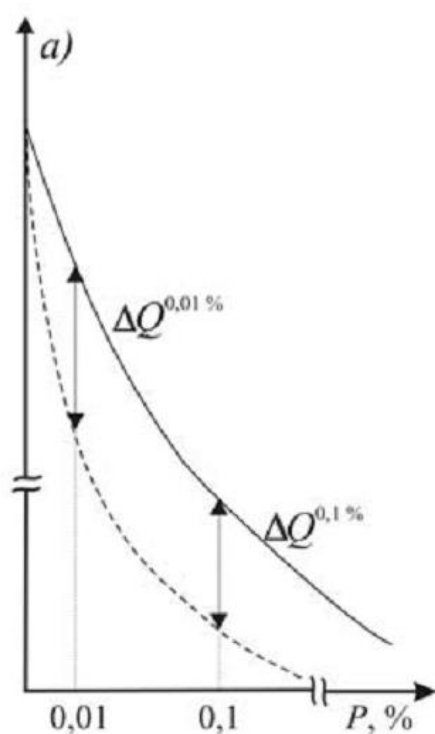
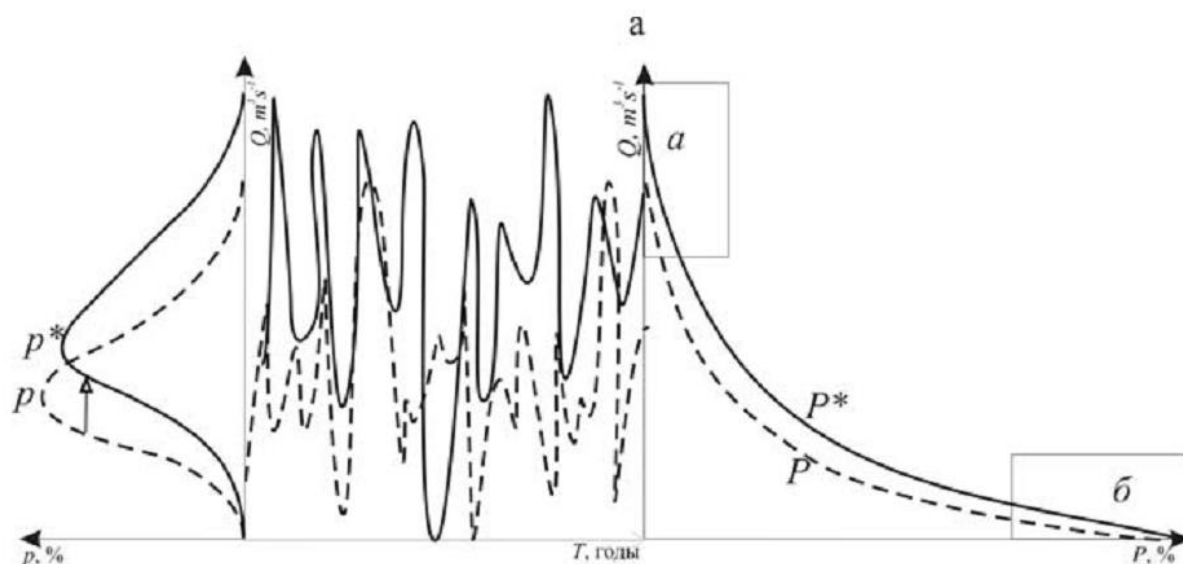


Рисунок 25 - Изменения прогнозной кривой обеспеченности стока (P^*) относительно существующей (P) (вверху) и значений обеспеченных гидрологических величин (внизу), использующихся в производственных функциях основных отраслей экономики (а, б)

Климатические изменения, наблюдаемые в настоящее время, вызывают изменения водности, которые проявляются как в виде трендов, так и в виде увеличения частоты появления экстремальных гидрологических

явлений. Методы стохастического моделирования с использованием современных климатических сценариев позволяют получить долгосрочные прогнозы параметров кривых плотности вероятности основных видов водного стока (рисунок 24).

Методика прогнозирования параметров кривых обеспеченностей основана на использовании уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК), стохастически обобщающего модель для речного стока:

$$\tau dQ/dt + Q/k = \dot{X} \quad (1)$$

В модель вводятся обозначения $c = 1/k\tau = \bar{c} + \tilde{c}$, $N = \dot{X}/\tau = \bar{N} + \tilde{N}$

где k – коэффициент стока;

τ – время релаксации речного бассейна;

$\dot{X}$ – интенсивность осадков;

$\tilde{c}$ и $\tilde{N}$ — белые гауссовские шумы с интенсивностями $G_{\tilde{c}}$, $G_{\tilde{N}}$ и взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$.

Применив известную в теории случайных процессов процедуру стохастического обобщения [12], получим уравнение

$$\frac{\partial p(Q,t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial Q}(A(Q,t)p(Q,t)) + 0,5\frac{\partial^2}{\partial Q^2}(B(Q,t)p(Q,t)), \quad (2)$$

где $A(Q,t)$ и $B(Q,t)$ — коэффициенты сноса и диффузии.

Это уравнение уже можно применить для решения поставленной задачи. Однако на практике достаточно ограничиться системой обыкновенных дифференциальных уравнений [18], аппроксимирующих уравнение (2):

$$\begin{aligned} dm_1/dt &= -(\bar{c} - 0,5G_{\tilde{c}})m_1 - 0,5G_{\tilde{c}\tilde{N}} + \bar{N}; \\ dm_2/dt &= -2(\bar{c} - G_{\tilde{c}})m_2 + 2\bar{N}m_1 - 3G_{\tilde{c}\tilde{N}}m_1 + G_{\tilde{N}}; \\ dm_3/dt &= -3(\bar{c} - 1,5G_{\tilde{c}})m_3 + 3\bar{N}m_2 - 7,5G_{\tilde{c}\tilde{N}}m_2 + 3G_{\tilde{N}}m_1; \\ dm_4/dt &= -4(\bar{c} - 2G_{\tilde{c}})m_4 + 4\bar{N}m_3 - 14G_{\tilde{c}\tilde{N}}m_3 + 6G_{\tilde{N}}m_2. \end{aligned} \quad (3)$$

где m_i – начальные статистические моменты i -го порядка. Первых трех уравнений достаточно для получения эволюции асимметричных вероятностных распределений.

Возможны различные варианты параметризации системы (3). С учетом того что $c = 1/k\tau$, $N = \dot{X} / \tau$ и при этом k и τ известны из оптимизации модели, а $\dot{X}$ — из метеопрогноза, необходимо определить только интенсивности $G_{\tilde{c}}$, $G_{\tilde{N}}$ и $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$ из первых трех уравнений системы (3) при известных m_1 , m_2 и m_3 . Они могут быть определены на основе 30-дневных наблюдений за стоком в створе, для которого дается прогноз.

В течение суток происходят изменения расходов воды, которые не измеряются и не фиксируются, — на практике используют только среднесуточные значения, делая как бы статистическое обобщение внутрисуточных вариаций расходов воды.

Решением системы уравнений для начальных моментов (3) являются прогнозные значения трех первых моментов, которые характеризуют среднесуточное значение, вариацию расходов воды внутри суток ($Cv = \sqrt{m_2 - m_1^2} / m_1$) и отклонение среднего значения от модального ($Cs = (m_3 - 3m_2m_1 + 2m_1^3) / (Cv^2m_1^3)$).

Интерес к долгосрочным прогнозам климата остается значительным в последние десятилетия. Наблюдаемые вариации температуры воздуха и количества осадков значительно влияют на гидрологический режим. Для характеристики гидрологического режима, в рамках гипотезы о его стационарности, достаточно описать первые три статистических момента распределения плотности вероятности годового, минимального и максимального видов стока.

Долгосрочное прогнозирование гидрологического режима позволяет получить его изменение в виде отклонений экстремальных обеспеченностей от существующих значений [12].

Картирование величины этих отклонений позволит выявить зоны изменений статистических характеристик стока, отрасли промышленного производства и отдельные предприятия, вообеспеченность которых значительно пострадать.

Исследования долгосрочных изменений водности пока не получили столь широкого масштаба, как, например, исследования климатических вариаций.

Одной из причин этого является недопонимание последствий таких изменений для экономической системы в условиях, когда «стереотип мышления, связанный с рыночной экономикой, оценивает развитие отрасли или отдельного предприятия не более чем на 10–15 лет вперед. Этот «горизонт анализа» обусловлен использованием рыночных оценок, связанных жестко со структурой экономики, которая в ходе развития меняется все быстрее: период в два десятилетия уже достаточен для существенных структурных изменений» [9].

В то же время стратегическое планирование развития отраслей и строительство промышленных предприятий подразумевает более долгосрочное планирование. В этом контексте долгосрочное прогнозирование статистических характеристик основных видов стока с учетом изменений климата и хозяйственной деятельности приобретает особое значение.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В АРКТИКЕ

3.1 Применение методики долгосрочной оценки характеристик максимального стока

Методика долгосрочной оценки статических характеристик основных видов стока (в том числе максимального) позволяет получить их вероятностные прогнозы с учетом изменений климата [12]. Прогнозные карты нормы, коэффициента вариации и его соотношения с коэффициентом асимметрии (полученные на основе климатических сценариев) выявляют зоны, где следует ожидать значительных изменений режима формирования максимального стока (аномалии) [13]. В таких географических регионах необходимо оценить возможные последствия для социально-экономической инфраструктуры, в частности транспортной.

Выбор значений обеспеченности максимального расхода при строительстве мостовых переходов регламентируется. При подготовке технико-экономического обоснования расчеты одного из основных показателей (эксплуатационные расходы) проводятся на период времени, сравнимый с оценками климатических сценариев (несколько десятилетий). Следовательно, недоучет возможных изменений статистических характеристик максимального стока вследствие изменений климата может привести к непредвиденным авариям или необоснованным денежным затратам при строительстве.

Использование карт прогнозных статистических характеристик максимального стока, полученных на основе методики долгосрочной оценки, аналогично принятой еще в Советском Союзе практике расчета обеспеченных величин максимального стока. В работе [22, 23] представлен

порядок расчетов максимального расхода заданной обеспеченности (P , [%]), на основе формулы:

$$Q_{P\%} = k_0 \mu h_{P\%} \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3 F / (F + b)^n, \quad (4)$$

где k_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья, определяется по данным рек-аналогов обратным путем по формуле (4);

$h_{P\%}$ – расчетный слой стока весеннего половодья заданной обеспеченности (мм), определяется в зависимости от среднемноголетнего слоя стока (h) и параметров кривой обеспеченности максимального стока;

μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока весеннего половодья и максимальных расходов;

$\delta \delta_1 \delta_2 \delta_3$ – коэффициенты, учитывающие особенности водосбора (озерность, залесенность, заболоченность и проч.);

F – площадь водосбора, км²;

b – эмпирический параметр, учитывающий снижение степени редукции модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора (км²);

n – показатель степени редукции.

Большинство параметров, входящих в эту формулу учитывают зональные особенности объекта исследования и определяются на основе классификаций и/или эмпирических формул, представленных в работах [22, 23]. Однако в формулу также входит и слой стока весеннего половодья определенной обеспеченности, который может быть получен с карт (при отсутствии данных наблюдений) или оценен на основании ретроспективных наблюдений.

Рассмотрим ситуацию с точки зрения учета возможных изменений статистических характеристик максимального стока, полученных на основе климатических сценариев, для расчета максимальных расходов заданной обеспеченности. Для этого, обозначим $R = k_0 \mu h_{P\%} \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3 F / (F + b)^n$ – коэффициент пропорциональности максимального расхода к слою стока

заданной обеспеченности. Он содержит параметры размерности и учитывает локальные особенности объекта (для удобства приравняем его 1).

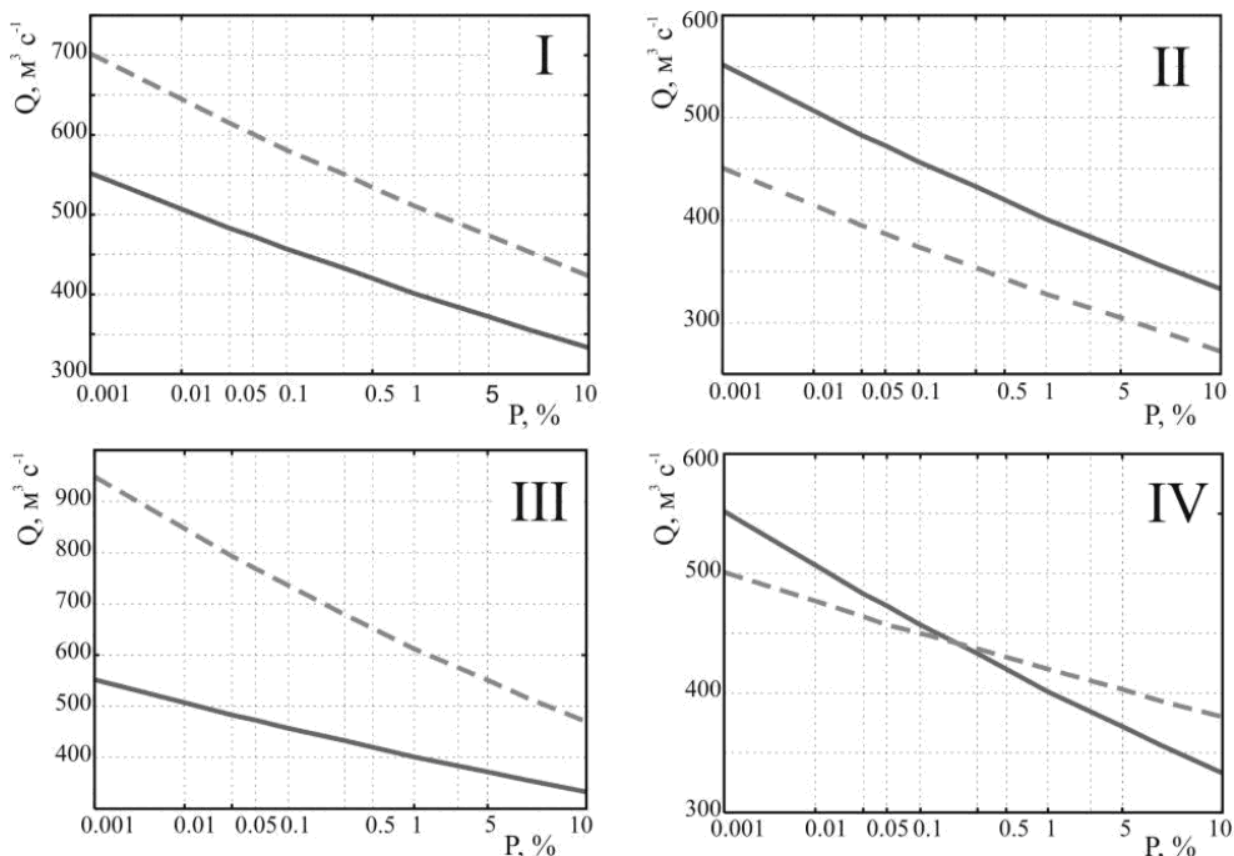
При подготовке обоснования строительства/реконструкции мостового перехода проектный максимальный расход заданной обеспеченности в первом приближении равен:

$$Q_{P\%} = Rhk_{P\%}, \quad (5)$$

где h – норма слоя стока половодья (может быть получена на основе данных ретроспективных наблюдений, согласно рекомендациям [17, 22] или определяться по методике позволяющей учесть возможные изменения климата [11]),

$k_{P\%}$ – определяется параметрами кривой обеспеченности (коэффициенты вариации и асимметрии).

Возможные комбинации изменений этих статистических характеристик (в будущем по отношению к настоящему) приводят к увеличению и занижению расчетного максимального расхода заданной обеспеченности (рисунок 26).



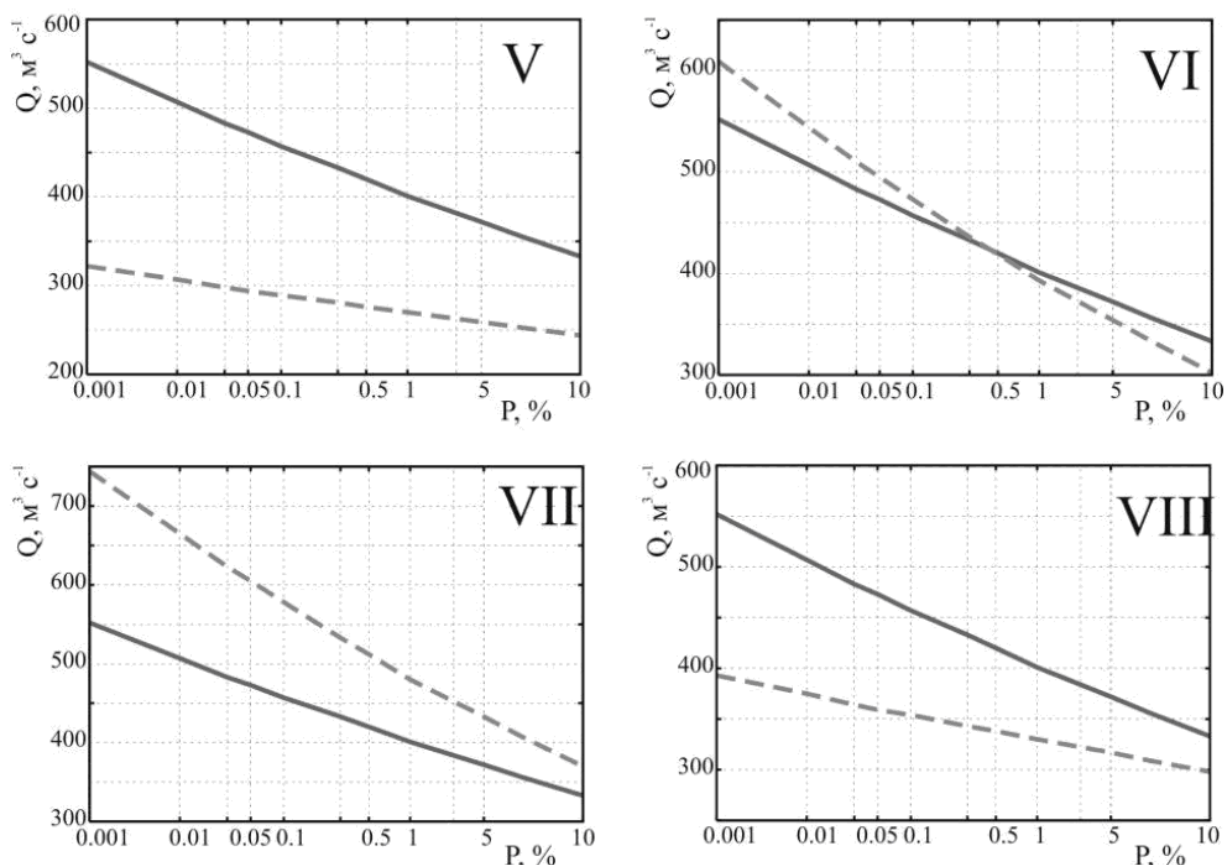


Рисунок 26 - Область малых обеспеченностей максимальных проектных расходов (сплошная линия – получены по ретроспективным данным; прерывистая линия – при учете климатических изменений) в различных комбинациях изменений нормы и коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья (цифры в правом верхнем углу соответствуют нумерации таблице 11)

Как видно из рисунков, все случаи делятся на два класса [занижение или завышение расчетного расхода воды заданной обеспеченности (таблица 11)], что при гидрологическом обосновании строительства/реконструкции мостовых переходов приводит к увеличению риска их затоплений/разрушений или необоснованному удорожанию проекта.

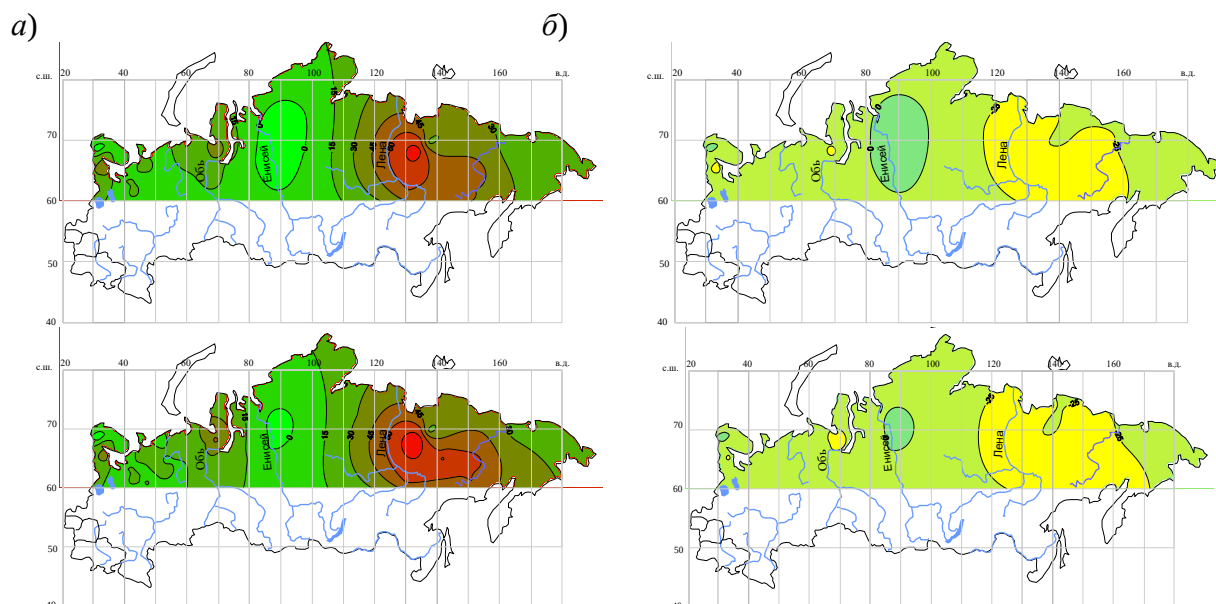
Располагая прогнозными картами нормы, коэффициента вариации и его соотношения с коэффициентом асимметрии, можно выделить зоны аномалий (значительных их изменений по отношению к водности,

характеризуемой современными рядами наблюдений за стоком) (рисунок 27).

Таблица 11 - Комбинации случаев изменений нормы и коэффициента вариации максимального стока

Вариант*	Описание	Результат	Вывод
I	Увеличение нормы при неизменном C_v	$Q_{1\%} \rightarrow^{**} Q_{13\%}$	Увеличение риска аварий
II	Снижение нормы стока при неизменном C_v	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{0,02\%}$	Удорожание проекта
III	Увеличение нормы стока и C_v	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{20\%}$	Увеличение риска аварий
IV	Увеличение нормы стока и снижение C_v	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{5\%}$	Увеличение риска аварий
V	Снижение нормы стока и C_v	$Q_{1\%} \rightarrow$ меньше $Q_{0,001\%}$	Удорожание проекта
VI	Снижение нормы стока и увеличение C_v	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{0,8\%}$	Нет последствий
VII	Увеличение C_v при неизменной норме стока	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{7\%}$	Увеличение риска аварий
VIII	Снижение C_v при неизменной норме стока	$Q_{1\%} \rightarrow$ меньше $Q_{0,001\%}$	Удорожание проекта

Примечания: * – соответствует нумерации на рисунке 26; ** – обеспеченные значения максимального расхода, рассчитываемые за ретроспективный период (слева) соответствуют обеспеченным значениям, полученным с учетом изменений климата (справа).



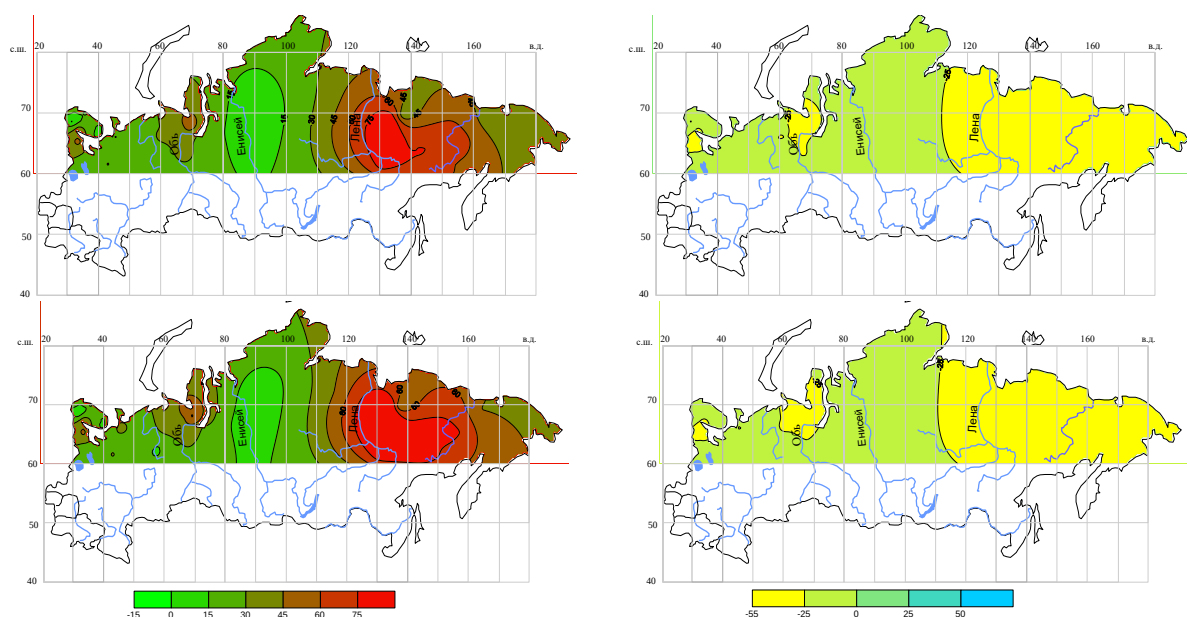
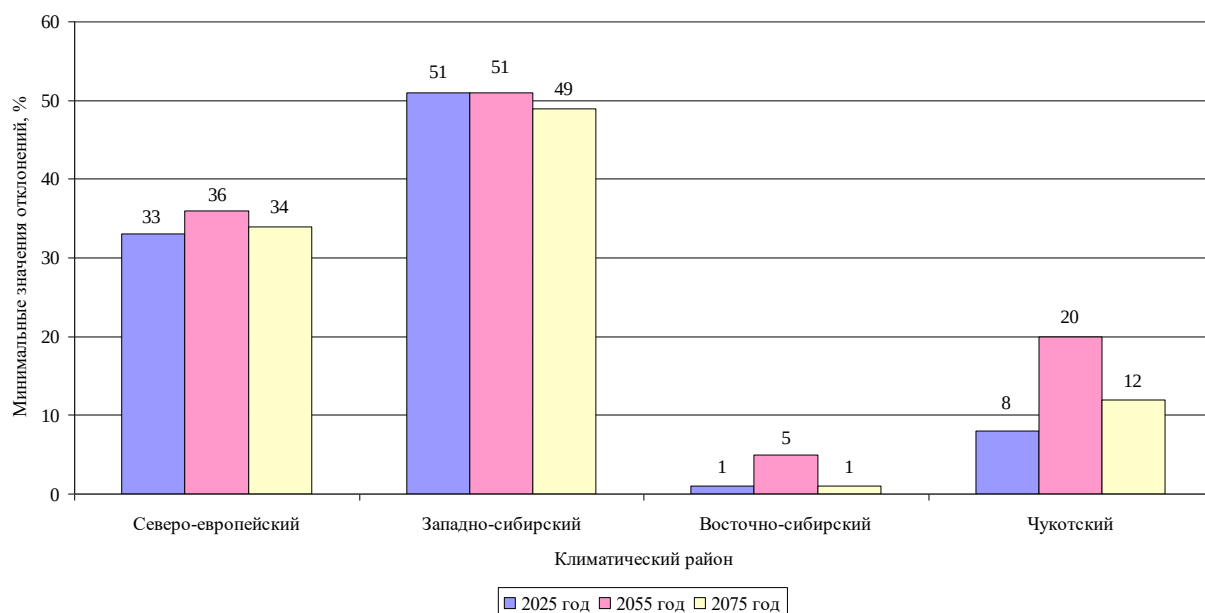
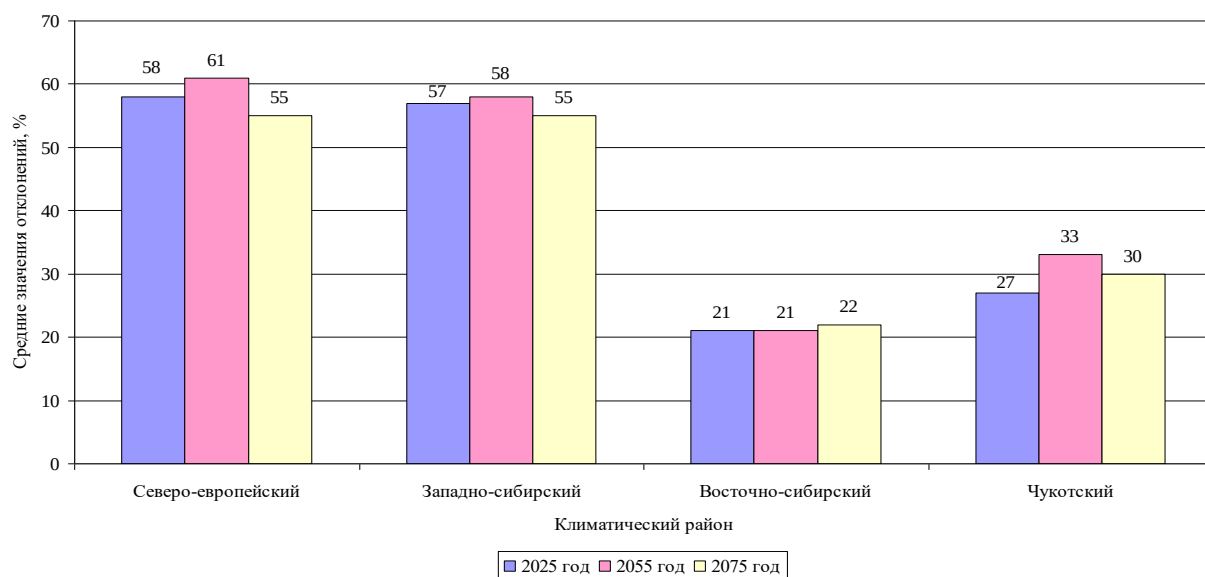
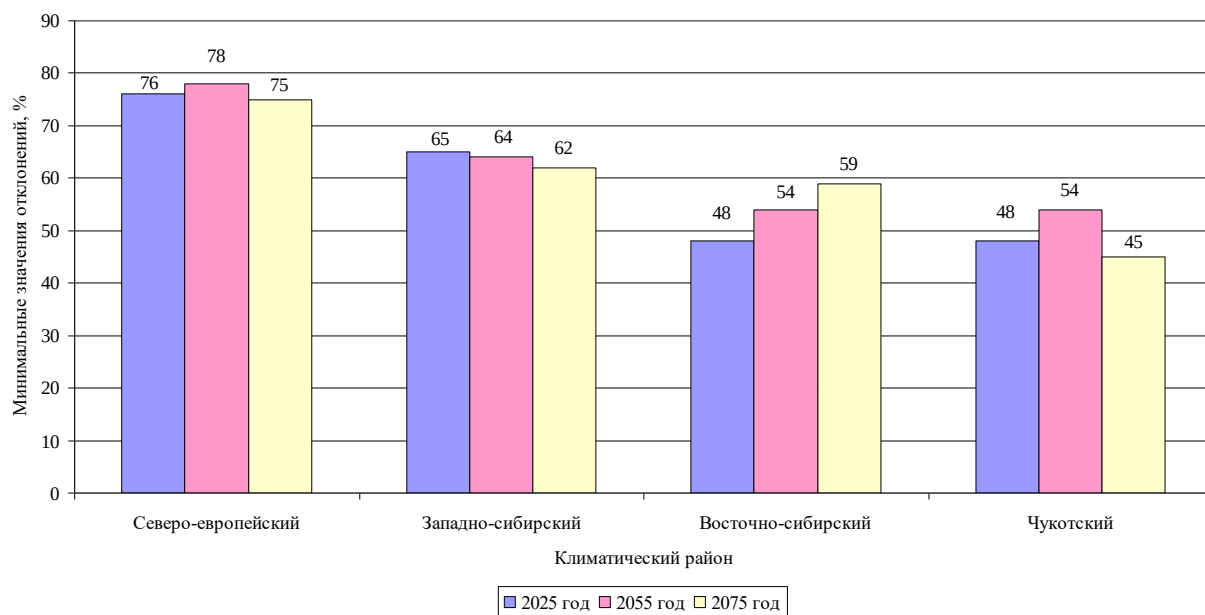


Рисунок 27 – Динамика смещений зон аномалий нормы (а) и коэффициента вариации (б) по интервалам сверху вниз (2010–2039), (2040–2069), (2070–2089), (2180–2199).

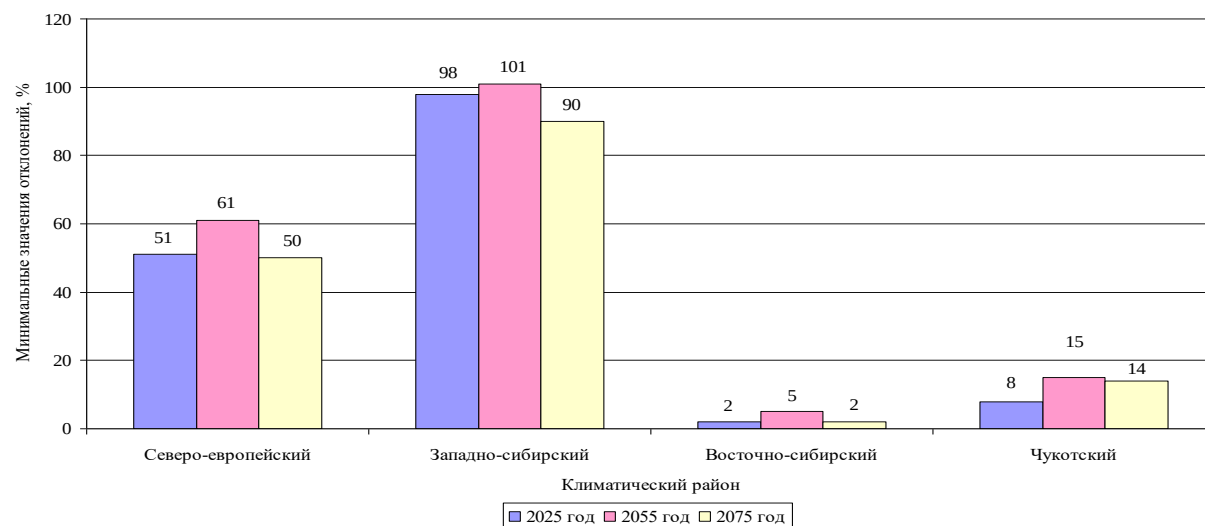
На рисунке 28 представлены отклонения характеристик максимального стока по годам для Северо-европейского, Западно-сибирского, Восточно-сибирского и Чукотского районов.

а)





б)



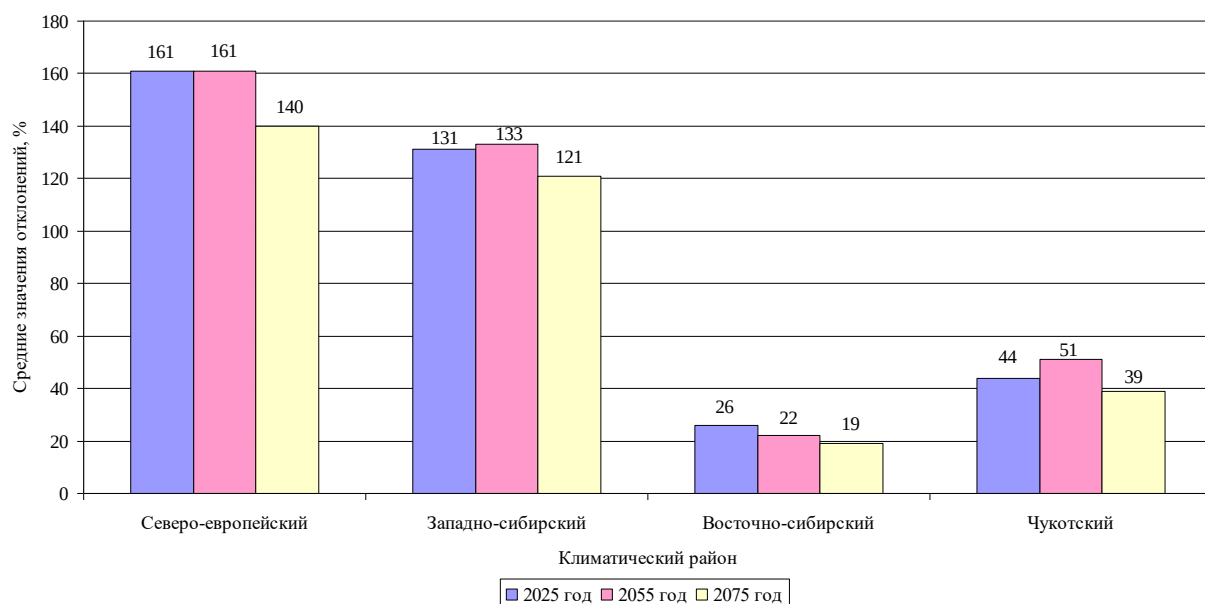
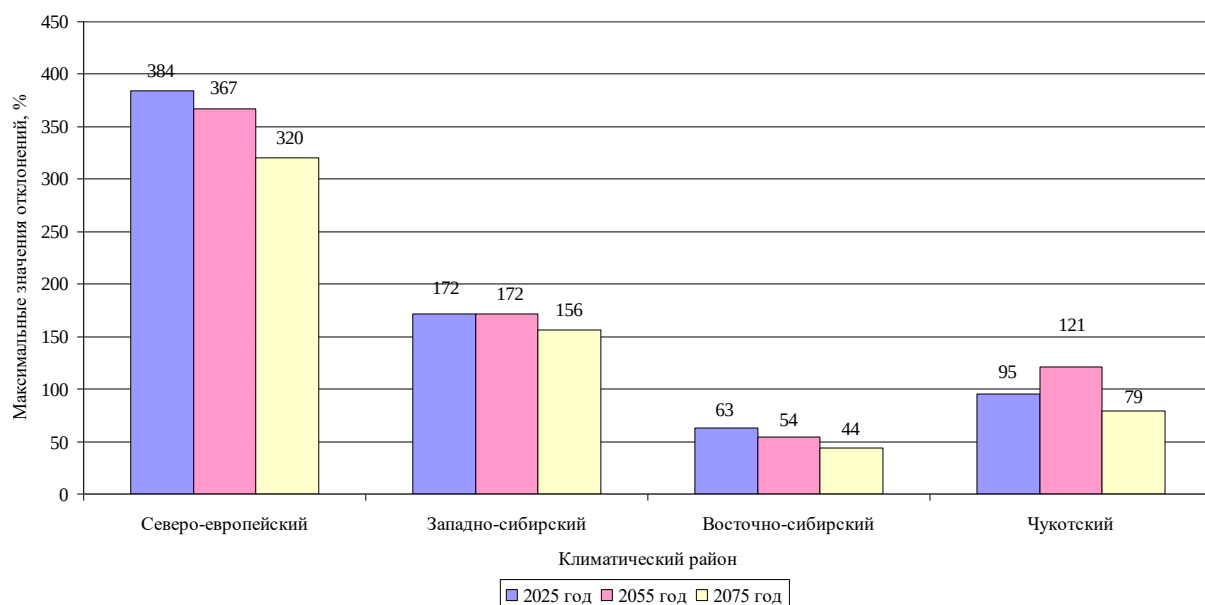


Рисунок 28 – Отклонения по годам для климатических районов Арктики по нормам (а) и коэффициентам вариации (б) максимального стока весеннего половодья

Из рисунка 28 видно, наибольшее отклонение значений как по норме, так и по коэффициенту вариации к 2055 году, после чего значения показателей снижаются.

3.2 Оценка экономической эффективности методики долгосрочной оценки

Для оценки экономической эффективности методики долгосрочной оценки предлагается следующий подход для случаев I, III, IV, VII (занижение проектного расхода расчетной обеспеченности). Сравнение вариантов проектных решений основано на функции от основных технико-экономических показателей, к которым относятся единовременные затраты (капиталовложения) и текущие затраты (эксплуатационные расходы). Экономически наиболее эффективное проектное решение определяют из условия минимума суммарных, приведенных к году окончания строительства, затрат, определяемых для каждого из сравниваемых вариантов по формуле:

$$P_{np} = \frac{E_n}{E} K_{np} + \sum_1^t \frac{\mathcal{E}_{np}}{(1-E)^t}, \quad (6)$$

где E_n – нормативный коэффициент сравнительной эффективности для транспорта, равный 0,12;

E – нормативный коэффициент для приведения к одному моменту времени разновременных дат, (0,08);

K_{np} – приведенная величина единовременных затрат;

$\mathcal{E}_t$ – текущие затраты в t -м году;

t – срок сравнения вариантов, принимаемый равным 35 годам.

Первое слагаемое характеризует капиталовложения и зависит, в частности, от высоты мостового перехода, которая определяется на основании расхода определенной обеспеченности. Текущие расходы связаны с плановым ремонтом и предполагается их постоянное увеличение (по закону арифметической или геометрической прогрессии).

В случае возникновения аварии в этой части формулы (6) должна появиться еще одна составляющая, характеризующая затраты на внеплановые ремонтные работы (рисунок 29). Обозначим такие затраты α , а число аварий,

последствия от которых потребовали капиталовложений, – n . Тогда суммарные затрат на строительство/реконструкцию одного мостового сооружения будут определяться формулой:

$$P_{np} = \frac{E_n}{E} K_{np} + \sum_1^t \frac{\mathcal{E}_{np} + n\alpha}{(1-E)^t} \quad (7)$$

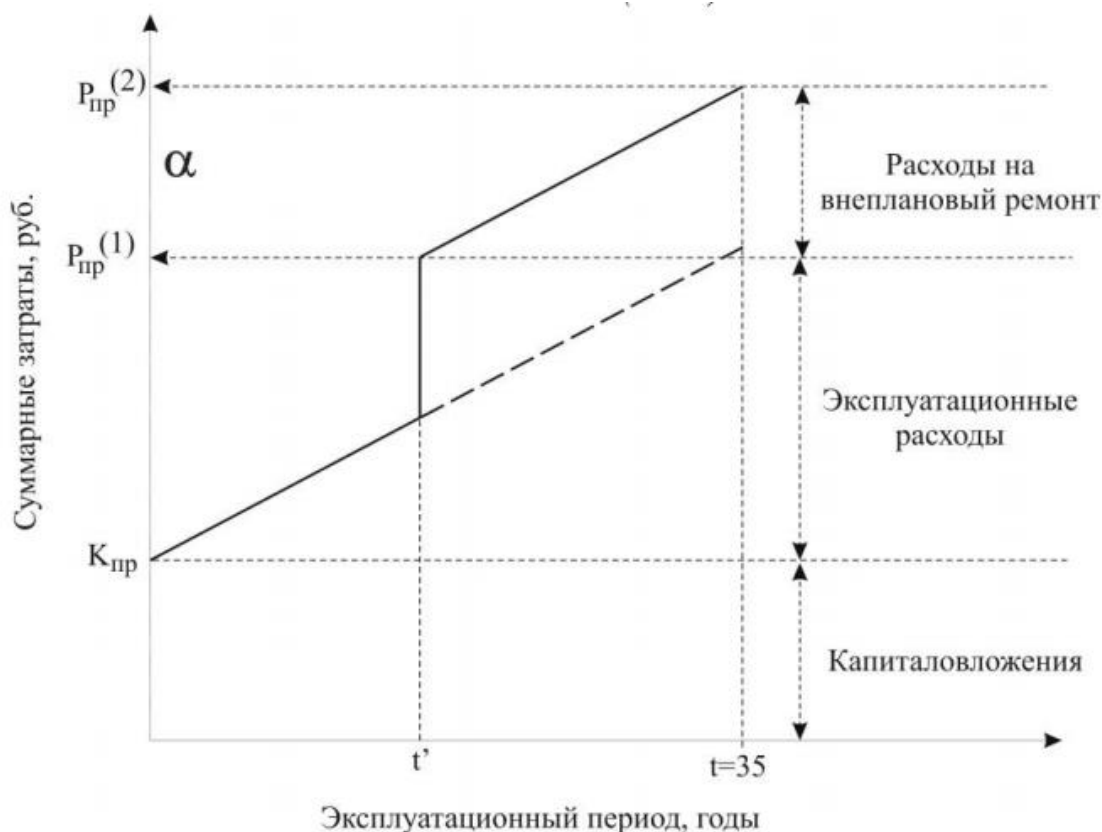


Рисунок 29 - Суммарные расходы на строительство/реконструкцию мостового перехода при подготовке технико-экономического обоснования проекта в случае отсутствия аварии (1) и при ее возникновении (2)

Вероятность возникновения аварии на ГТС связана с обеспеченностью проектного максимального расхода/уровня, на который рассчитывается высота мостового сооружения. В случае, если происходит занижение расчетного расхода риск возникновения аварий и необходимость дополнительных затрат на внеплановый ремонт мостов увеличивается (причем значительно, поскольку n – входит в формулу мультипликативно, а α – может быть сравнимо с капиталовложениями). Из этого следует, что в зонах аномалий (для вариантов I, III, IV, VII из

таблицы 11) затраты на внеплановый ремонт могут сильно зависеть от числа аварий («выбросов») и числа объектов, попадающих в эти зоны.

При использовании прогнозных карт статистических характеристик максимального стока, полученные по методике долгосрочной оценки, суммарные затраты на строительство/реконструкцию мостового перехода на величину, связанную с «завышением» расчетного расхода при учете климатических изменений, может быть больше [см. формулу (8)]. Такая величина входит в капиталовложения [первое слагаемое формулы (6)] аддитивно. Однако, она невелика, поскольку на этапе проектирования может быть принято наиболее эффективное проектное решение.

Для оценки укрупненного экономического эффекта использования прогнозных карт статистических характеристик максимального стока в зонах аномалий используем возможности геоинформационного подхода [25]. На основе тематических карт, характеризующих гидрографическую сеть, протяженность/расположение автомобильных/железнодорожных магистралей и распространение зон аномалий, получим общее число мостовых переходов (N). При этом существенную роль играет желаемый административный уровень рассмотрения, поскольку «подробность» (детальность) представления тематической информации на карте зависит от ее масштаба.

Пусть из множества (N) за период эксплуатации аварии возникнут на части мостовых переходов (число аварий по отношению к общему числу мостовых переходов обозначим через x). Тогда в зонах аномалий суммарные затраты на содержание и развитие транспортной инфраструктуры будут равны:

$$P_{np} = \frac{E_n}{E} (K_{np} + N\beta) + \sum_1^t \frac{\mathcal{E}_{np} + nNx\alpha}{(1-E)^t}, \quad (8)$$

где β – «удорожание проекта» за счет использования прогнозных статистических характеристик максимального стока;

α – стоимость внепланового ремонта/реконструкции мостового перехода;

n – число лет за период эксплуатации, когда наблюдались превышения расчетного максимального расхода/уровня («выбросы»).

В формуле (8) появились два аддитивных члена, связанные с изменением стоимости строительных/реконструкционных работ (причем α заведомо много больше β). Параметр, характеризующий «выбросы» и входящий в формулу (8) может быть определен с использованием методики, представленной в работах [7, 12].

К увеличению риска аварий в зонах ожидаемых аномалий может привести недоучет изменений статистических характеристик максимального стока. Методики оценки базируются на использовании экономических показателей, а именно: ущерб готовой продукции, ущерб зданиям, сооружениям, оборудованию и сырью, ущерб транспорту и связи, сельскохозяйственному производству и лесному хозяйству, жилому фонду и имуществу граждан. Численные показатели зависят от административной принадлежности территории объекта. Показатели ущербов рассчитаны на максимальные уровни воды, соответствующие определенному проценту превышения расчетного паводка.

По промышленным предприятиям он равен 1 %-ой обеспеченности.

Показатели ущерба от аварии оцениваются по следующим данным: количество объектов ГТС определенного класса в данном субъекте РФ, объектов промышленного производства, развитость транспортной инфраструктуры, Для оценки возможного экономического ущерба требуется знать следующие статистические данные: площадь, средняя плотность населения, численность населения, общая длина автодорог, балансовая стоимость основного производственного фонда, валовой национальный продукт и т. д.

Для выполнения целей настоящего исследования достаточно выявления целевой функции, представленной в формуле (8), связывающей

суммарные затраты на обеспечение функционирования и последовательное развитие инфраструктуры транспорта и экономики в регионе и изменения статистических характеристик максимального стока (поправки на эти изменения).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано влияние долгосрочных изменений статистических характеристик стока на расходы малой обеспеченности. Выделены соотношения изменений нормы стока и коэффициента его вариации, которые приводят к занижению или завышению расхода малой обеспеченности.

Рассмотрена возможность использования карт распространения зон, где согласно модельным расчетам ожидаются значимые изменения нормы и коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья (аномалий), для укрупненной экономической оценки в проектных решениях для мостовых переходов. В качестве такой оценки используется суммарные, приведенные к году окончания строительства, затраты.

Рассмотрены варианты обобщения модели суммарных затрат на строительство/реконструкции моста на случай, позволяющий учесть влияние занижения/завышения расчетного максимального расхода/уровня при проектировании мостовых переходов. Показано, что при увеличении риска аварий, величина текущих затрат повышается с числом мостовых переходов, где могут возникнуть аварии, и количеством аварий. Учитывая, что затраты на внеплановый ремонт мостовых переходов больше, чем затраты на внесение изменений в проект строительства/реконструкции, показана эффективность использования методики долгосрочной оценки статистических характеристик максимального стока в зонах ожидаемых аномалий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арсеньев Г.С. Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2005. – 230 с.
2. Анисимов А.О., Нельсон Ф.Э., Павлов А.В. Прогнозные сценарии эволюции криолитозоны при глобальных изменениях климата в XXI веке// Криосфера Земли. – 1999. - №4. - С. 25–31.
3. Баймаганбетов А.Е., Гайдукова Е.В. Применение метода стохастического фонового прогноза к речным бассейнам Казахстана //Гидрометеорология и экология. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - № 59. - 2020. - С. 41-50.
4. Беликов В.Е., Католикова Н.И. Водный режим как фактор руслоформирования (на примере рек Сахалина) // Метеорология и гидрология. – 2008. - №1. - С. 90–97.
5. Болгов М.В., Сенцова Н.И. Инженерно-гидрологическое обоснование надежности систем технического водоснабжения АЭС // Гидротехническое строительство. – 2006. - №6. - С. 2–8.
6. Гинзбург Б.М. Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные их изменения в XXI веке // Метеорология и гидрология. - 2005. - № 12. - С. 88–97.
7. Громова М. Н., Викторова Н. В. Прогноз характеристик минимального стока для целей управления водными ресурсами // Научно-техн. ведомости СПбГПУ, 2007, № 2 (50), с. 284–287.
8. Данилов А.И., Алексеев Г.В., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В., Моргунов Б.А., Петров В.С. Изменения климата и устойчивое развитие Арктики // Труды ААНИИ. – 2007. - Т. 447. - С. 241–258.
9. Данилов-Данилян В.И., Лосев К.С., Рейф И.Е. Перед главным вызовом цивилизации. Взгляд из России. Инфра-М, 2005. – 24 с.

10.Иванов Ю.А., Мясникова И.П. Новые аспекты перспектив нефтегазоносности северных районов Сибирской платформы // Геология нефти и газа. – 2000. - №3. - С. 16–20.

11.Коваленко В.В. Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при изменении климата. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 100 с.

12.Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В. Моделирование гидрологических процессов. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2006. – 559 с.

13.Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Викторова Н. В., Хаустов В. А., Громова М. Н., Девятков В. С., Шевнина Е. В. Методология оценки гидрологических последствий изменения климата для рек арктической зоны России // Тез. Междунар. науч. конф. «Морские исследования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/08», Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2010 г., с. 124.

14.Лобанов В.А., Беликов В.Е. Определение расчетных гидрологических характеристик с учетом исторических максимумов // Метеорология и гидрология. – 2007. - №2. - С. 89–99.

15.Малкин Е.М. О концепции ОДУ как средстве управления промыслом// Рыбное хозяйство. – 2005. - №5. - С. 46–47.

16.Матковский А.К. Определение объемов искусственного воспроизводства ценных видов рыб на примере популяций Обского бассейна // Рыбное хозяйство. – 2006. - №5. - С. 75–77.

17.Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: Нестор-История, 2009. – 193 с.

18.Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате / Под ред. В.В. Коваленко. - СПб: изд-во РГГМУ, 2010. - 51 с.

19.Минин В.А., Дмитриев Г.С. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове. – Мурманск: Изд-во Белтона, 2007. – 94 с.

20.Михайлов А.В. Внутренние водные пути. – М: АСВ, 2004. – 448 с.

21.Смирнова А.И., Арсеньчук М.О., Яковлева Н.П., Антонова В.П., Антонов Л.Г. Учет климатических и региональных гидрометеорологических режимообразующих факторов при составлении прогнозов численности лососевых рыб// Труды ГОИН. – 2007. - № 210. - С. 300-317.

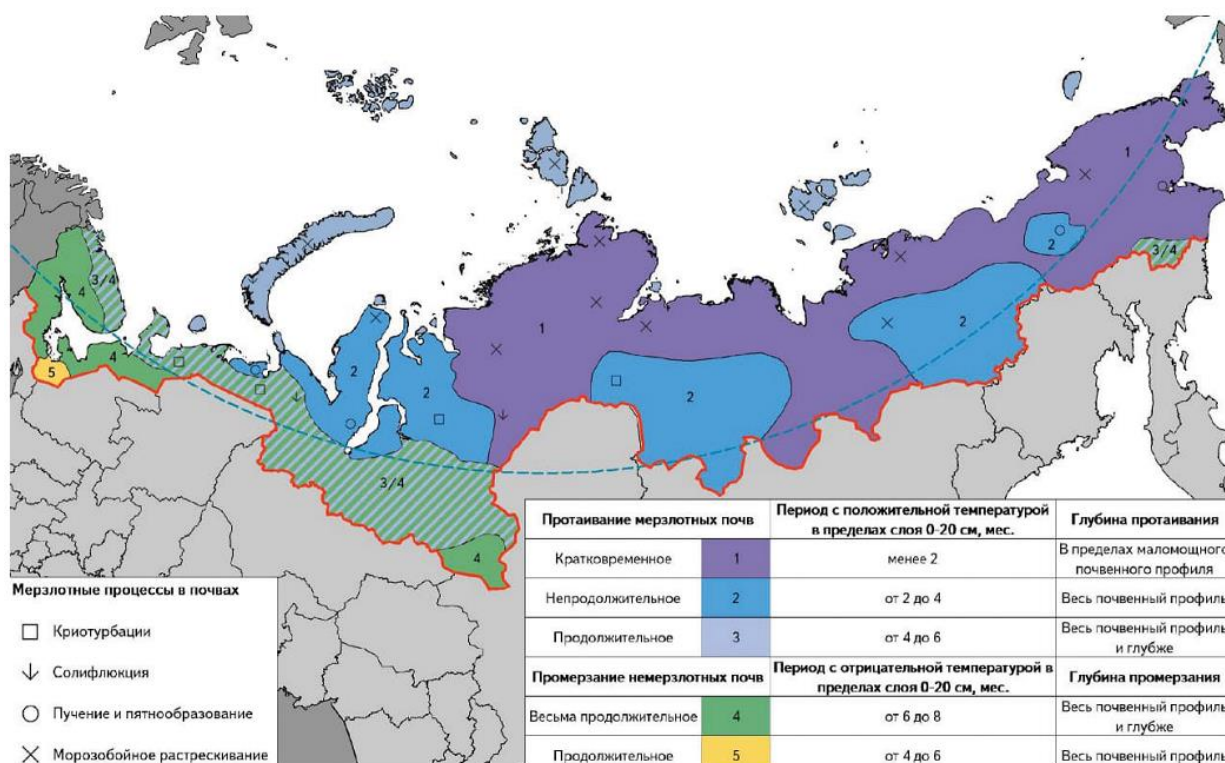
22.СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 73 с.

23.Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.

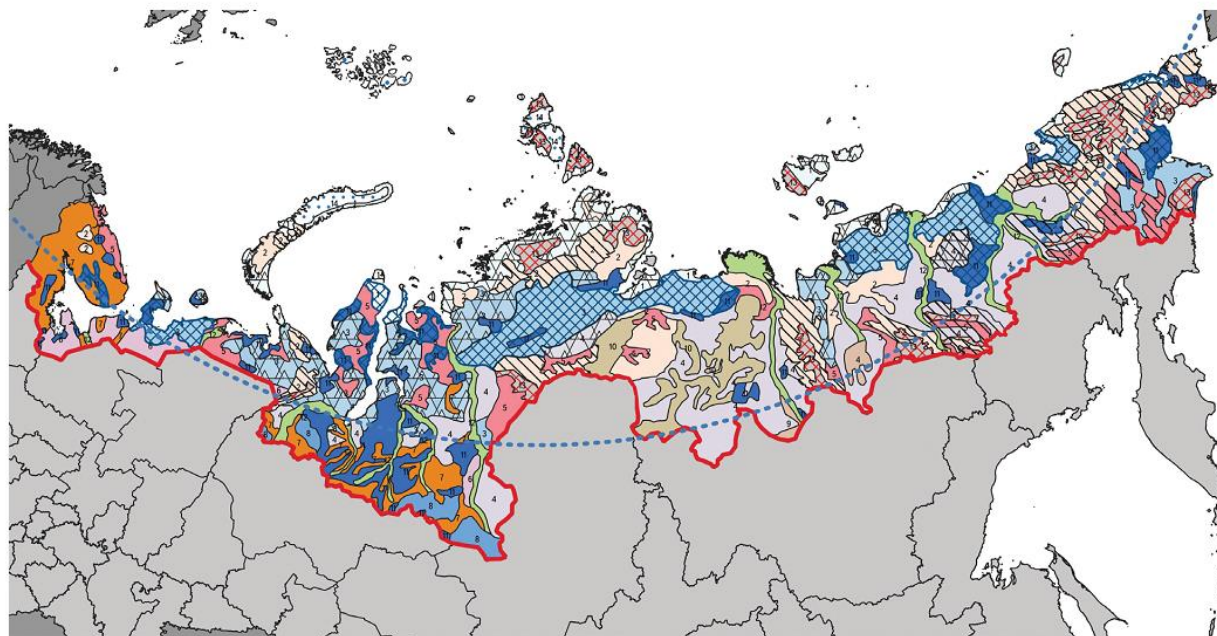
24.Финагенов О.М., Беликов С.Н. Оценка эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. – 2007. - №9. - С. 24-27.

25.Шипулин В. Д. Основные принципы геоинформационных систем: Учебное пособие / Харьковская национальная академия городского хозяйства. – Харьков: ХНАГХ, 2010. – 337 с.

Карта мерзлотных процессов в почвах Арктической зоны Российской Федерации



Структура почвенного покрова Арктической зоны Российской Федерации



Почвы

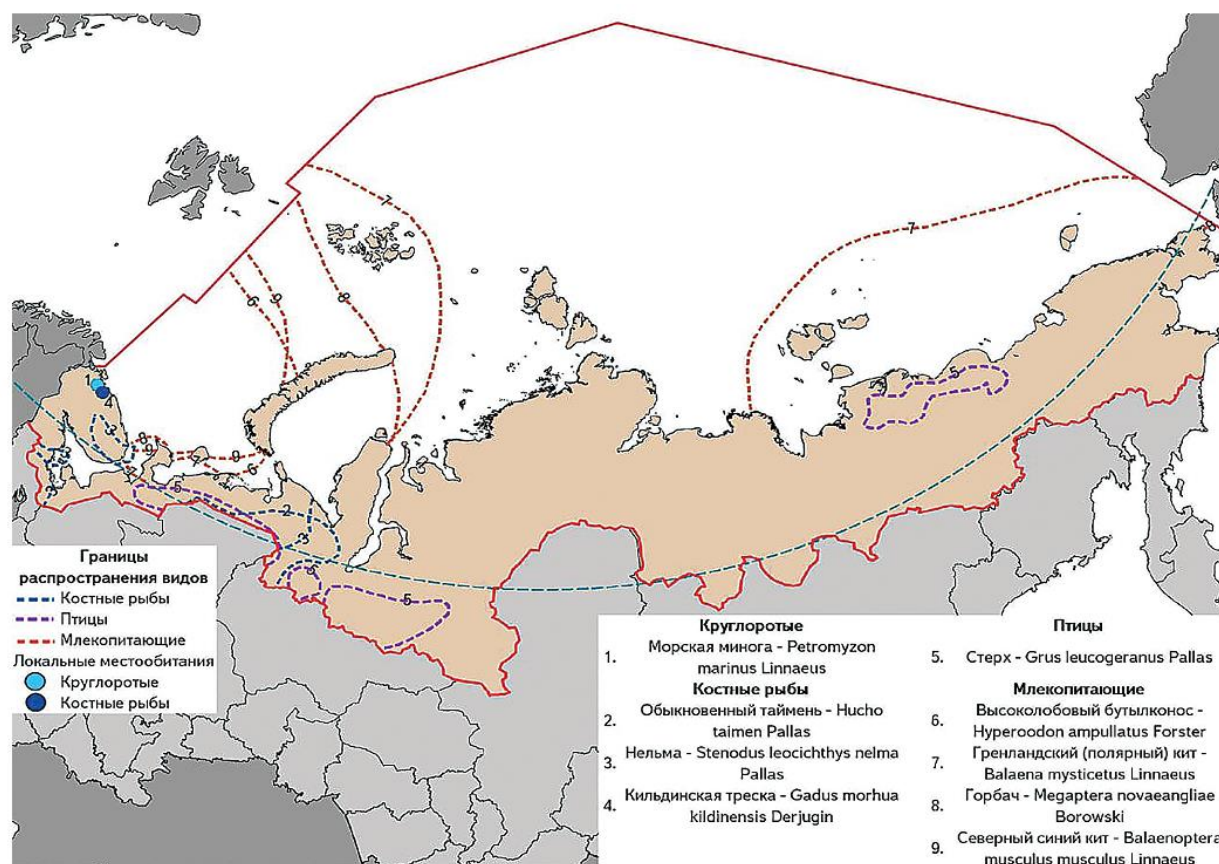
- 1 - Арктические слабообразованные и глееватые почвы
- 2 - Литоземы грубогумусовые и слабообразованные
- 3 - Глееземы, торфяно-глееземы, поверхностно-осветленные глееземы
- 4 - Криоземы и Криоземы глееватые
- 5 - Подбуры
- 6 - Подзолистые
- 7 - Подзолы

- 8 - Светлоземы
- 9 - Палевые почвы
- 10 - Рендзины
- 11 - Почвы болот
- 12 - Почвы речных пойм
- 13 - Каменистые россыпи
- 14 - Ледники

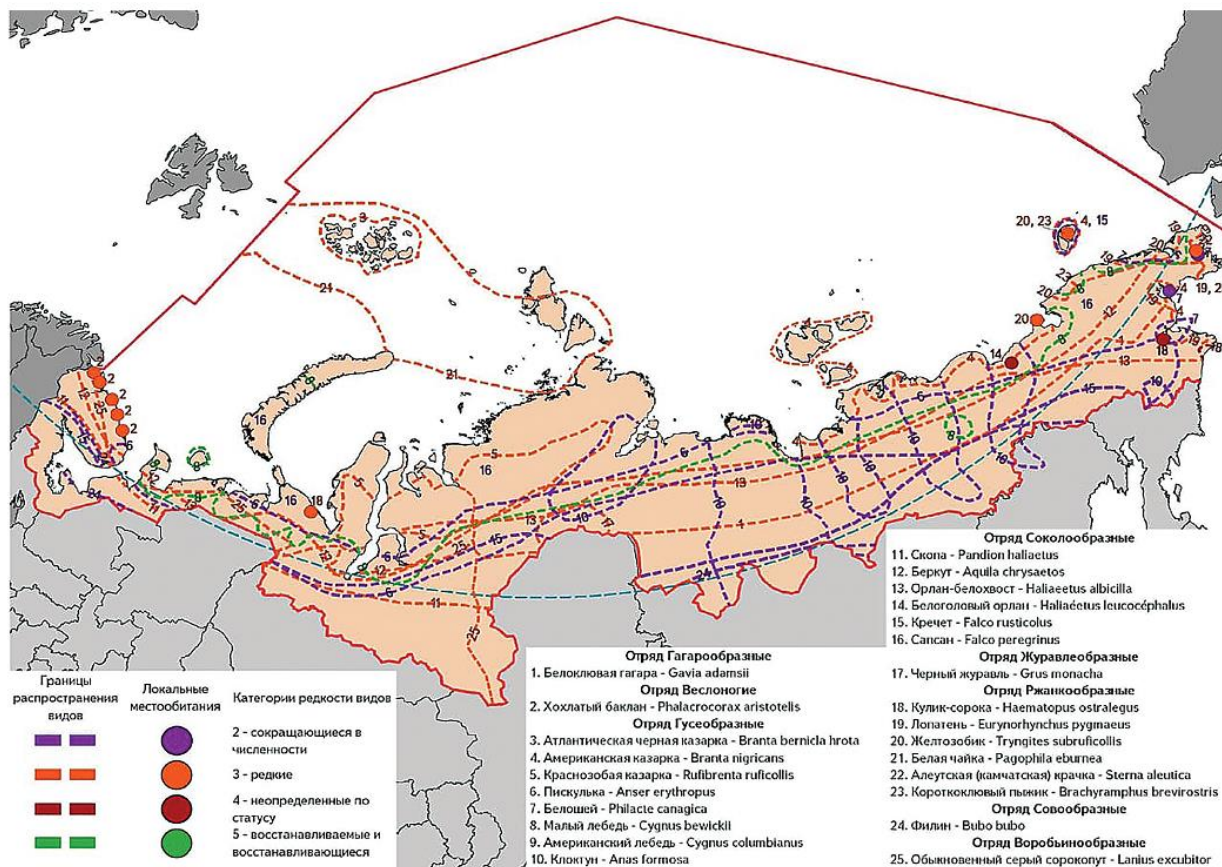
Типы почвенных комплексов

- Криогенные с почвами пятен и трещин
- Крио-гидрогенные
- Почвы горных территорий - аналоги равнинных

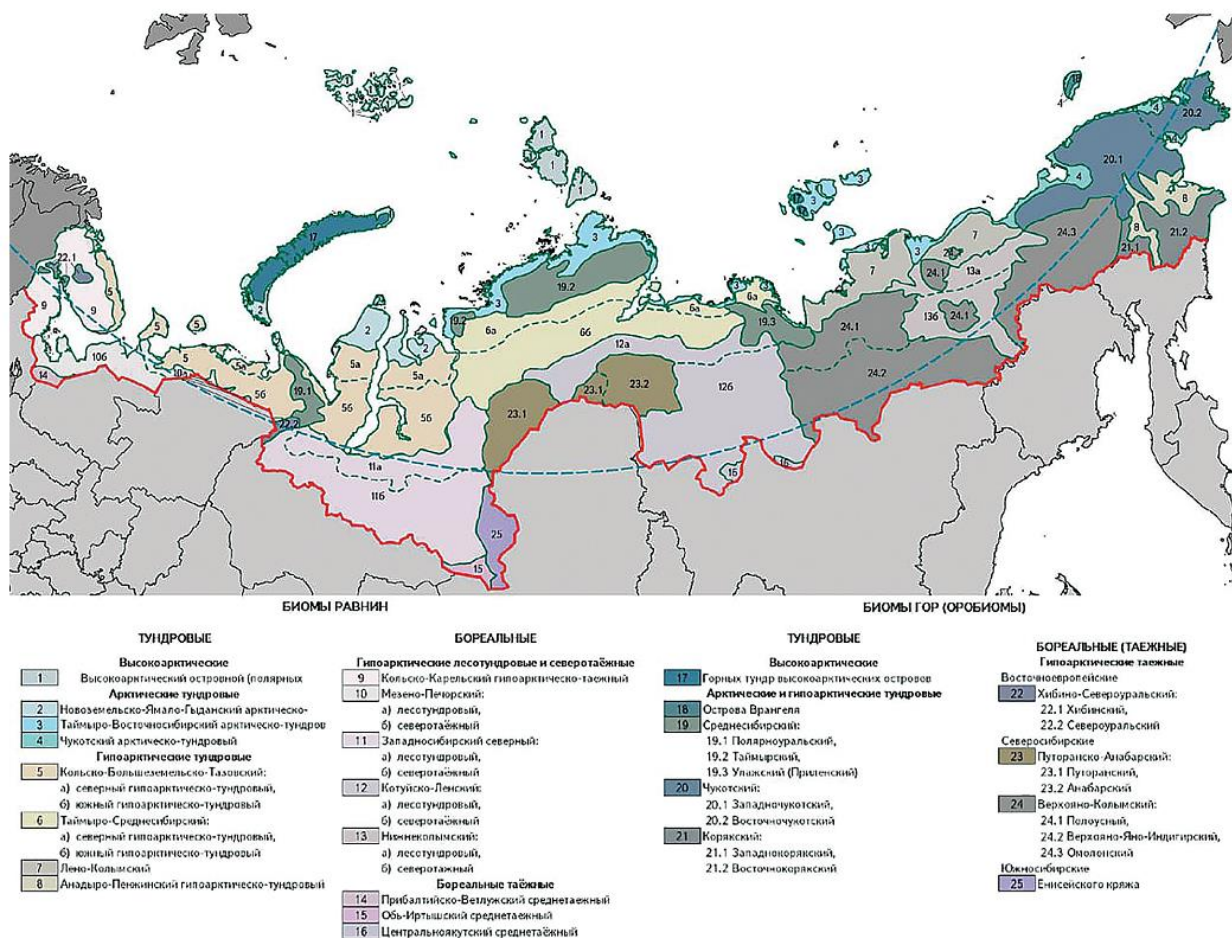
Исчезающие виды животных Арктической зоны Российской Федерации



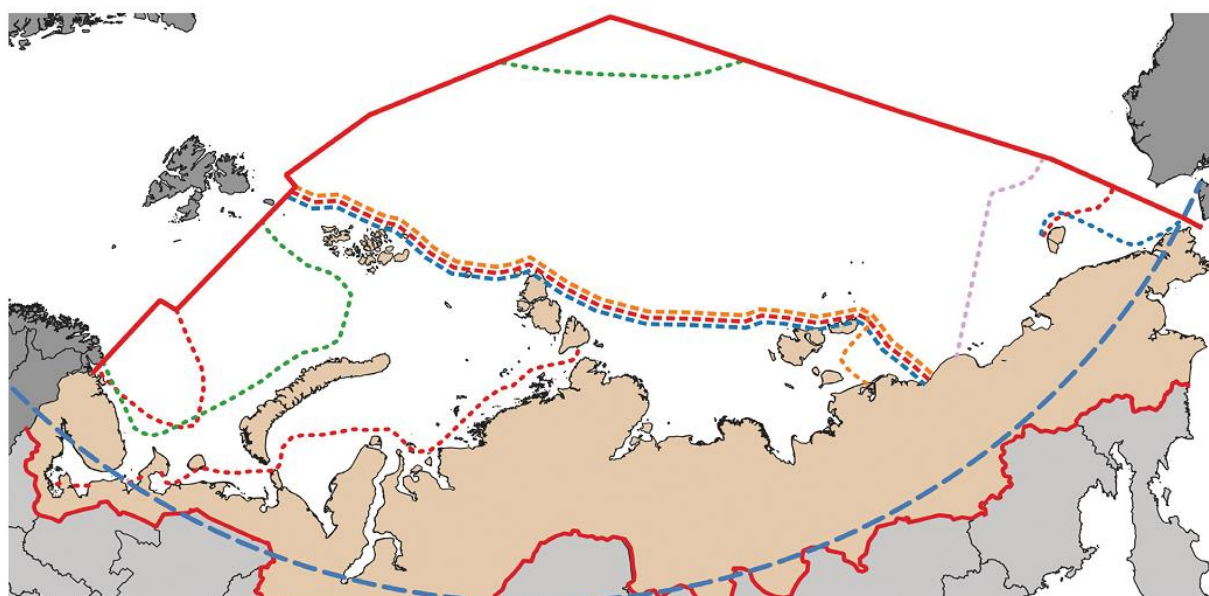
Редкие виды птиц Арктической зоны Российской Федерации



Биомы Арктической зоны Российской Федерации



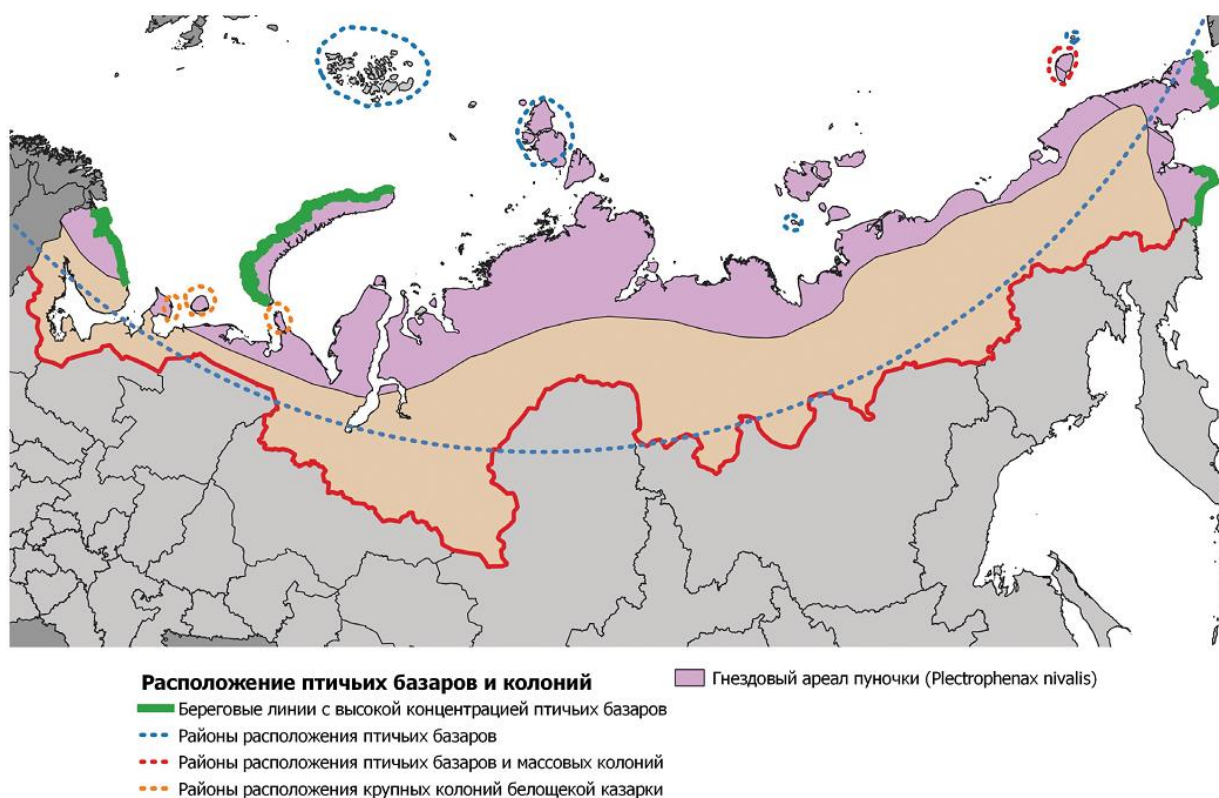
Граница распространения ключевых видов морских млекопитающих Арктической зоны Российской Федерации



Границы распространения морских млекопитающих

- Белуха (*Delphinapterus leucas*)
- Гренландский тюлень (*Pagophilus groenlandicus*)
- Кольчатая нерпа (*Phoca hispida hispida*)
- Морской заяц или лахтак (*Erignathus barbatus*)
- Тихоокеанский морж (*Odobenus rosmarus divergens*)

Ареалы распространения птичьих базаров и колоний



Распространение ключевых видов ихтиофауны Арктической зоны Российской Федерации

