



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 Построение регрессионных зависимостей для
гидрометеорологических характеристик речного
бассейна АЗРФ с целью получения фоновых прогнозов
речного стока

Исполнитель Яновская Анастасия Олеговна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Девятов Владимир Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Консультант К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«13» июня 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение.....	3
1 Физико-географическое описание.....	4
1.1 Географическое положение	4
1.2 Рельеф и геологическое строение	10
1.3 Почвы	15
1.4 Растительный и животный мир	20
1.5 Климат	27
1.6 Внутренние воды.....	31
1.7 Население.....	32
1.8 Ледяной Шёлковый путь.....	34
2 Фоновые прогнозы речного стока	36
2.1 Физические основы гидрологических прогнозов.....	36
2.2 Статистический подход долгосрочного прогнозирования.....	38
2.3 Формирование базы данных	40
3 Расчетная часть.....	42
3.1 Исходные данные, определение половодий.....	42
3.2 Расчет слоя стока за период половодий.....	46
3.3 Построение корреляционных графиков с линией тренда.....	48
3.4 Матрица корреляции.....	54
3.5 Уравнения регрессии	56
3.6 Фоновые прогнозы.....	61
Заключение	68
Список литературы	69

Введение

Арктика на длительную перспективу является не только важнейшей ресурсной базой Российской Федерации, опорным регионом для наращивания ее транзитного потенциала, но и узлом пересечения долгосрочных национальных интересов нашей страны и основных зарубежных стран в международной, оборонной и экологической сферах. Уникальный ресурсный потенциал Арктической зоны позволяет при условии формирования специальной системы государственного урегулирования обеспечить динамичное развитие как самой Арктики, так и страны в целом. Добываемые в Арктической зоне полезные ископаемые, их разведанные запасы и прогнозные ресурсы составляют основную часть минерально-сырьевой базы Российской Федерации. В российской части Арктики сосредоточено около четверти мировых ресурсов углеводородов. С каждым годом интерес ученых и практиков к АЗРФ не ослабевает [4]. Освоение и изучение Арктической зоны России является одной из главных стратегических задач на ближайшие годы. Исследований требуют не только богатые минеральными запасами почвы Арктики, но также стоит уделить внимание водным ресурсам данной зоны. Научные прогнозы гидрологического режима рек всегда будут необходимы для многих отраслей промышленности, так или иначе связанных с использованием водных ресурсов. Так же одной из основных задач гидрологических прогнозов является предупреждение и предсказывание опасных водных явлений, в частности для предупреждения о прохождении паводков, о наводнениях, начале весеннего ледохода и т.д. Для районов с развитой промышленностью и достаточно высокой плотностью населения в долинах рек подобные предупреждения имеют особую ценность, так как они помогают своевременно подготовиться и по возможности уменьшить ущерб от разливов рек [2], [3].

В связи с вышесказанным, дипломная работа заключается в построении регрессионных зависимостей для гидрометеорологических характеристик речного бассейна АЗРФ с целью получения фоновых прогнозов речного стока.

1 Физико-географическое описание

1.1 Географическое положение

Термин «АРКТИКА» произошел от греческого «ἀρκτικός» – что означает: медвежий; связанный с созвездием Большой Медведицы; северный. Арктика – это область Земли, ее северная полярная часть.

К территории Арктики относятся северные районы крупнейших материков Евразии и Северной Америки, острова континентального происхождения: крупнейший на земле остров Гренландия (не включая его южную часть), остров Врангеля, архипелаги Северного Ледовитого океана: Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новая Земля, Новосибирские острова, а также просторы Северного Ледовитого океана (за исключением Норвежского моря, его южной и восточной областей) и его окраинные моря: Гренландское, Восточно-Сибирское, Карское, Баренцево, море Лаптевых, Чукотское и Бофорта, море Баффина; а также заливы и проливы Канадского Арктического архипелага, залив Фокс-Бейсин, северные части Атлантического и Тихого океанов.

Исторически в отечественной и мировой практике сложилось двойное понимание арктической зоны. В первую очередь государства рассматривали Арктику с позиции занимаемых территорий, а не как совокупность суши и морских просторов, примыкающих к ним.

Климатические и географические границы Арктики отличаются. У Арктики особое географическое положение. Географическая Арктика обычно относится к суше и морскому району к северу от Северного полярного круга (около 66 градусов 34 минуты северной широты) общей площадью от 21 до 27 миллионов квадратных километров, по разным источникам.

Арктическая зона Российской Федерации – это северная оконечность Европейской и Азиатской частей РФ, расположена вдоль побережья морей Северного Ледовитого океана: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Это самая протяженная морская граница России.

Континентальная часть Арктической зоны Российской Федерации располагается преимущественно в Арктическом и Субарктическом

климатических поясах от западной границы Российской Федерации 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.

В состав Арктической зоны Российской Федерации входят территории следующих субъектов РФ:

- Мурманской области
- Республики Карелии (Беломорский, Лоухский, Кемский муниципальные районы)
- Ненецкого автономного округа
- Чукотского автономного округа
- Ямало-Ненецкого автономного округа
- Республики Коми (муниципальное образование городской округ «Воркута»)
- Архангельской области (ряд муниципальных образований, в том числе муниципальное образование «город Архангельск»)
- Красноярского края (несколько районов: Туруханский район, Таймырский Долгано-Ненецкий муниципальный район, территория городского округа города Норильска)
- Республики Саха (с 13 мая 2019 года 13 районов Якутии входят в состав Арктической зоны. На данный момент этими районами являются: Абыйский, Аллаиховский, Анабарский национальный (долгано-эвенкийский), Булунский, Верхнеколымский, Верхоянский, Жиганский национальный эвенкийский, Момский, Нижнеколымский, Оленекский эвенкийский национальный, Среднеколымский, Усть-Янский и Эвено-Бытантайский национальный районы.)
- Территории некоторых земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане, указанные в постановлении Президиума Центрального Исполнительного Комитета СССР от 15.04.1926 «Об объявлении

территорией Союза ССР земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане» и других актах СССР. [5]

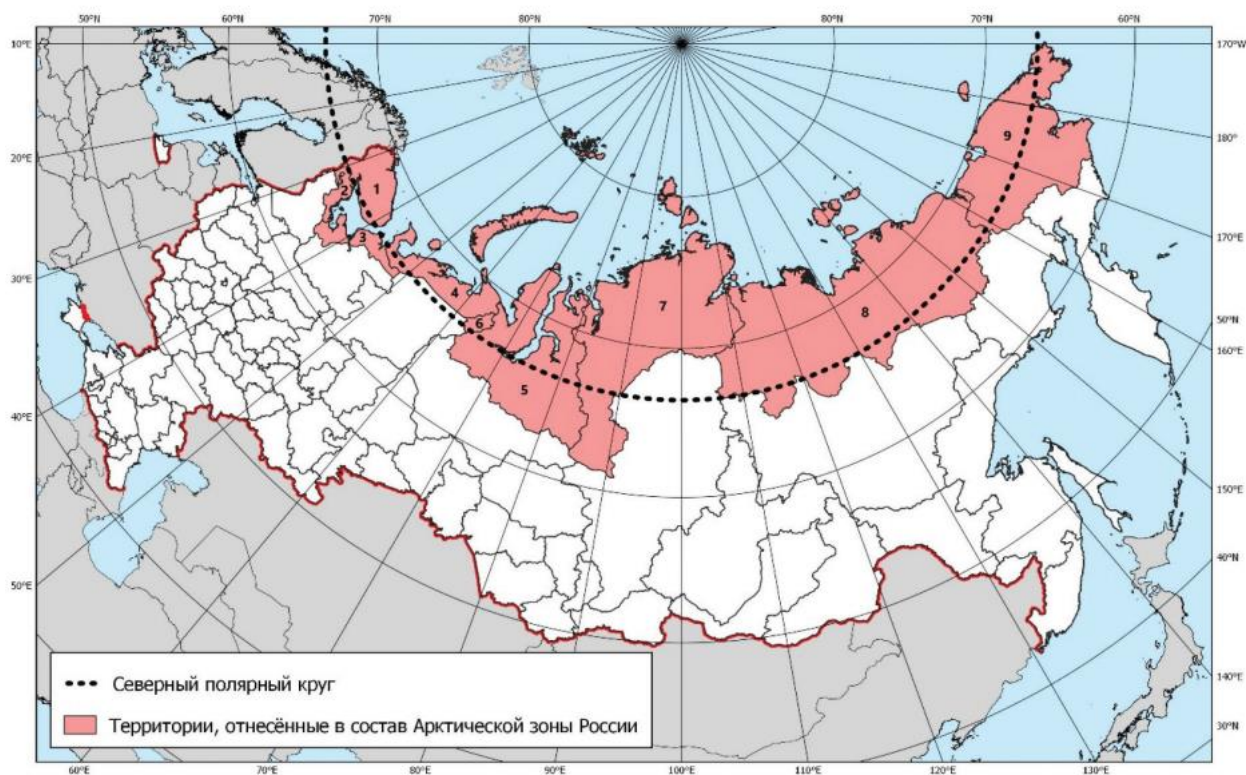


Рисунок 1.1.1 – Арктическая зона Российской Федерации

Примечания:

1. Мурманская область
2. Республика Карелия
3. Архангельская область
4. Ненецкий автономный округ
5. Ямало-Ненецкий автономный округ
6. Республика Коми
7. Красноярский край
8. Республика Саха (Якутия)
9. Чукотский автономный округ
10. Земли и острова в Северном Ледовитом океане

Турухан – река западной Сибири, расположенная в Туруханском районе, входящем в Красноярский край Российской Федерации, является левым притоком Енисея. Впадает в Енисей на 10 км ниже по течению от его правого притока, Нижней Тунгуски, образуя дельту. Около устья располагается деревня Старотуруханск, немного южнее, на другом берегу Енисея расположен посёлок Туруханск. Протекает по Западно-Сибирской низменности. Вытекает из озера в Тазовской тундре, на первых 200 км протекает на юг, затем поворачивает к юго-востоку и, обогнув дугу, направляется к северо-востоку и далее к востоку. В верхнем течении Турухана достаточно высокие отлогие берега, состоящие из рыхлой глины и иловатого песка, сквозь который просачиваются железистые ключи, окрашивающие воду в красноватый цвет и добавляющие ей неприятный привкус. Летом река сильно мелеет. [1]

Основные притоки:

с правой стороны – р. Волочайка, р. Блудная, р. Макониha и Большая Балха;

с левой стороны – р. Марковская, р. Чулкова, р. Глубокая, р. Покатная и Кудосея.



Рисунок 1.1.2 – Географическое положение реки Турухан

Описание реки Турухан:

- Бассейн – Северный Ледовитый Океан
- Речной бассейн – Енисей
- Площадь водосбора – 10100 км²
- Длина – 639 км
- Ширина – от 42,6 м до 149 м, местами и больше
- Глубина

в верхнем и среднем течении – от 1,42 м до 4,26 м

в низовьях – до 6,5 м

в ямах – до 12,8 м

- Течение – медленное и крайне извилистое

- Берега

от устья вверх – крутые, низменные, болотистые, весной затопляются на большое пространство

вверх по реке – отлогие берега, хоть и возвышаются, состоят из рыхлой глины и иловатого песка [1]

1.2 Рельеф и геологическое строение

Рельеф Арктики в целом довольно разнообразный, представлен арктическими побережьями материков, островами и Арктическим бассейном. Сам ландшафт варьируется от относительно равнинных участков местности, до выраженных гор. В Арктической части Евразии рельеф преимущественно равнинный. Преобладают низменные окраины Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин, Северо-Сибирской, Яно-Индибирской и Колымской низменностей. Гор сравнительно немного. Наиболее значительными являются: Верхоянский хребет (высота до 2283 м, гора Орулган), Чукотское нагорье (высота до 1887 м, гора Пайер) и горы Бырранга (высшая точка 1125 м). Во многих местах горные хребты увенчаны ледниками. Часто встречаются проявления термокарста – подземные пустоты, провальные формы рельефа в следствие вытаявания льда и оттаивания мёрзлого грунта при повышении среднегодовой температуры воздуха. Большая часть материковой отмели (глубиной до 200 м) Северного Ледовитого океана занята окраинными морями (Баренцевым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским, Чукотским, Бофорта, Баффина), островами материкового происхождения и архипелагами (Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля, Новосибирские острова, Канадский Арктический архипелаг). Центральной глубоководной частью Северного Ледовитого океана является Арктический бассейн, так как там находятся глубоководные котловины, в том числе и самая глубокая котловина Нансена, глубина которой достигает до 5449 м, а так же и подводные хребты (Ломоносова, Гаккеля и Альфа) и поднятия (Менделеева).

Территория Арктической зоны Российской Федерации в широтном направлении располагается в пределах двух крупных поясов гидрогеологических структур – Арктического и Бореального. В состав Арктического пояса входят прибрежно-шельфовые артезианские бассейны морей Северного Ледовитого океана (Карское, Лаптевых и др.) и субокеанические бассейны (Гиперборейский, Баренцев и др.). Также в состав этого пояса входят подводные массивы. Бореальный пояс располагается южнее,

в его строении участвуют Восточно-Европейская, Западно-Сибирская, Восточно-Сибирская артезианские области.

Площадь Арктической зоны Российской Федерации, за исключением самых западных районов, практически полностью находится в зоне развития многолетнемерзлых пород (ММП), или в криолитозоне, характеризующейся большой мощностью, низкой температурой и небольшим слоем сезонного оттаивания (Рисунок 1.2.1) На большей части территории Арктической зоны Российской Федерации ММП имеют сплошное распространение, сменяющееся южнее областями с прерывистыми и островным распространением мерзлых пород.

Экзогенные геологические процессы, их развитие и возникновение в АЗРФ связаны с изменениями климата и техногенными факторами (влияние горнодобывающей промышленности). Протяженность арктического побережья РФ составляет 22600 км, поэтому следует разделить Арктическую зону Российской Федерации по субъектам, входящим в её состав и представить характеристику развития экзогенных процессов отдельно.

В Архангельской области широко распространены овражная эрозия, оползневый процесс, криогенные процессы и эоловые процессы (такие как дефляция и аккумуляция).

В Ямало-Ненецком автономном округе комплекс современных экзогенных процессов достаточно обширен и специфичен: гравитационно-эрозионные процессы, криогенные процессы, процесс овражной эрозии, оползневый процесс, суффозия, карстовый процесс, подтопление и эоловые процессы.

На территории Красноярского края развит следующий комплекс криогенных процессов: криогенное выветривание и морозная сортировка грунтов, морозобойное растрескивание, криогенные склоновые процессы, термокаст, пучение).

В Чукотском автономном округе и в Республике Саха (Якутия) развитие многолетнемерзлых горных пород обусловило широкое распространение криогенных склоновых процессов, которые с процессами не криогенного происхождения образуют единые сложные комплексы склоновых процессов и

соответствующих им проявлений (солифлюкция, десерпция, термоэрозия, морозобойное растрескивание).

Интенсивное экономическое развитие Арктической зоны в последние годы оказывает существенное влияние на состояние геологической среды, вызывая активное развитие негативных геологических процессов. Подобное в свою очередь создает опасность в виде негативного воздействия на объекты инфраструктуры. Негативное воздействие заключается в том, что происходит разрушение и деградация многолетней мерзлоты, изменяются теплофизические свойства пород, их несущей способности, активизируются оползневые процессы, проседание земной поверхности над разрабатываемыми залежами углеводородов и многое другое. [5]



Рисунок 1.2.1 – Карта инженерно-геокриологического районирования Арктической зоны Российской Федерации

Туруханская озерно-холмистая лесотундровая равнина, в которой протекает рассматриваемая река, представляет собой сильно заболоченную местность, поверхность которой испещрена множеством небольших озёр. Местами здесь встречаются гряды и холмы высотой до 100–200 м. Вся эта территория подвергалась зырянскому оледенению, следы которого хорошо сохранились в общем характере водно-ледниковых аккумулятивных форм рельефа. Наиболее возвышенные и лучше дренируемые участки местности заняты участками редкостойных лесов (лиственница сибирская, ель, береза) и болотами. Туруханский район расположен на стыке двух тектонических структур: Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы. В целом для нижней юры описываемого района характерно преобладание алевролитов и аргиллитоподобных глин, сравнительно светлая окраска пород (доминируют светлые тона), что, по-видимому, обусловлено значительным содержанием в них каолинита; и относительно высокая степень уплотненности пород для части Западно-Сибирской низменности, где обычно встречаются рыхлые или слабоуплотненные разности. Нижнеюрские отложения вскрываются разведочными скважинами в среднем течении р. Турухан примерно на глубинах 2250–2400 м. Среднеюрские отложения перекрывают осадки нижней юры. В рассматриваемом районе для средней юры характерно чередование глин, алевролитов, песков, песчаников, наличие прослоев бурых углей и почти полное отсутствие фаунистических остатков. Мощность среднеюрских отложений, где они вскрываются полностью, составляет примерно 230 м. [1]



Масштаб 1:6000000

Рисунок 1.2.2 – Рельеф местности Туруханского района.

1.3 Почвы

На островах в Северном Ледовитом океане в основном залегают арктические почвы маломощные, со слабой кислотностью и низким содержанием гумуса (от 0,5% до 1,5% гумуса). На некоторых южных островах Северного Ледовитого океана и материковой зоне Арктики чаще встречаются кислые почвы (до 10% гумуса) с тонким слоем торфа и наличием явлений вечной мерзлоты, а также оподзоленные и дерновые почвы (содержание гумуса от 4% до 5%).

Одним из факторов, определяющих состав и состояние почвенного покрова Арктической зоны, являются многолетне-мерзлые породы и связанные с ними криогенные процессы мерзлоты (Рис. 1.3.1). Также структура почв зависит от степени континентальности климата, рельефа и почвообразующих пород. Специфика типов арктических почв напрямую зависит от продолжительности периодов промерзания и протаивания почвы, а также общего климатического режима территории.

Почвенному покрову арктических пустынных и тундровых территорий с повсеместным распространением многолетней мерзлоты и связанных с ней криогенных процессов свойственны микроструктуры – широкое распространение комплексов. Они различны в арктической пустынной и тундровой зонах в отношении состава почв и геометрических форм почвенных ареалов (Рис. 1.3.2).[5] Ещё одной особенностью арктической пустыни является то, что здесь повсюду встречаются конкреции – минеральные образования округлой формы в осадочных горных породах. В центре конкреции нередко находится зерно, которое служило затравкой при её росте, чаще всего образованное нарастанием песка, глины и прочего вокруг растительного, животного или «ядра» иного происхождения. Схоже с процессом образования жемчужины (Рис. 1.3.3).

На щебнисто-суглинистых отложениях арктических островов господствуют комплексы каменных многоугольников, которые состоят из пелоземов, на которых задерживаются скудные растительные остатки, переносимые ветром, формирующие тонкий фрагментарный органогенный слой.

Комплексы в мохово-кустарничковых тундрах на суглинках Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин пучинно-бугорковатые и бугорковато-пятнистые, состоят из глееземов с торфяно-глееземами, криоземов глеевых с пелоземами голых и зарастающих пятен. В тундре и лесотундре Восточно-Европейской равнины появляются глееземы поверхностно-осветленные (в пятнисто-бугорковатых комплексах) с почвами пятен), профиль которых достигает 1 м. Комплексы континентальных тундр Средней и Восточной Сибири состоят из типичных криоземов, глееватых и дерновых под пушицево-осоковыми сообществами с глееземами и почвами пятен (пелоземами); преобладают трещинно-полигональные формы, сочетающиеся с полигонально-валиковыми на наименее дренированных участках. На песках и супесях формируются маломощные иллювиально-гумусовые подзолы и подбуры; они занимают малые площади в южной тундре и образуют различные сочетания.

В почвенном покрове таежных территорий Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин, Среднесибирского плоскогорья господствуют мезоструктуры.

Сочетания и вариации пологоволнистых низких равнин северной тайги Восточно-Европейской равнины связаны с процессами ледниковой аккумуляции, термокарстом в рыхлых толщах, линейной эрозией. В состав входят глееподзолистые, торфяно-подзолисто-глеевые и глееватые почвы и торфяно-глеевые олиготрофные торфяники.

Почвенный покров тайги Западно-Сибирской равнины имеет особенности, которые определяются плоским рельефом и горизонтально-слоистым слабо фильтрующим песчано-суглинистыми аллювиальноозерными отложениями.

Среднесибирское плоскогорье по составу и структурам почвенного покрова резко отличается. Здесь распространены сочетания и мозаики, которые

объясняются разнообразием почвообразующих пород, включая основные изверженные породы и расчлененностью рельефа.[1]

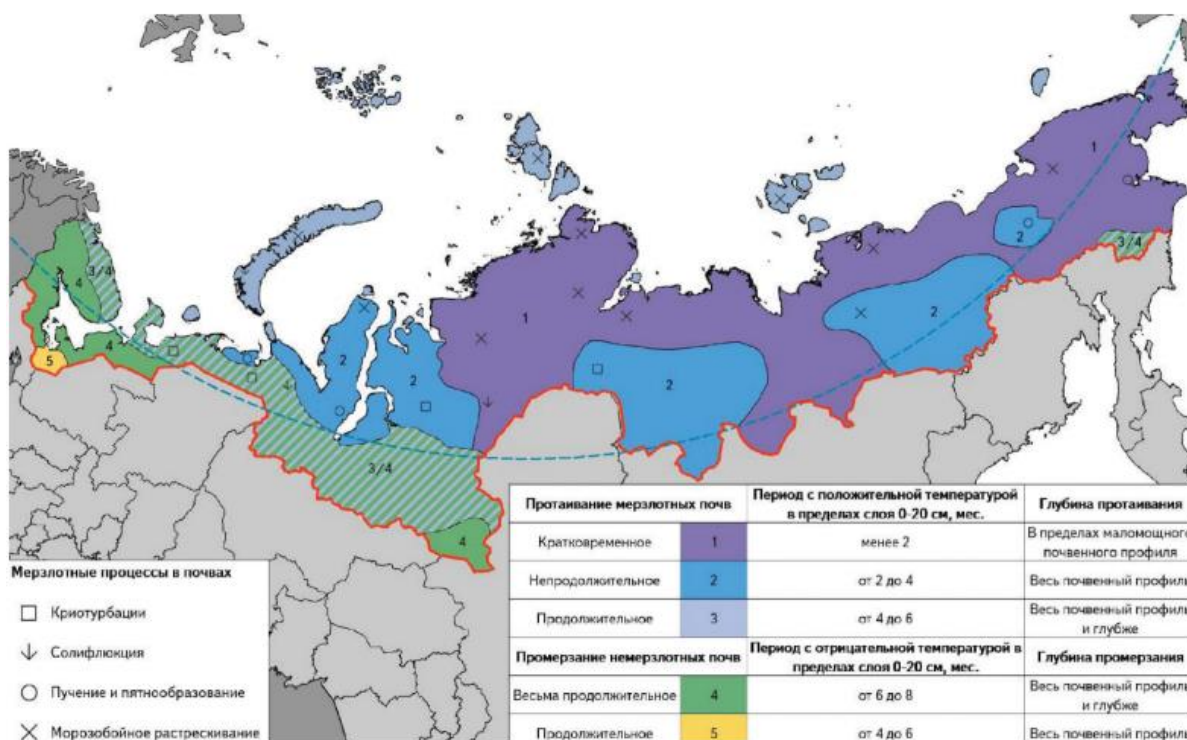


Рисунок 1.3.1 – Карта мерзлотных процессов в почвах Арктической зоны Российской Федерации

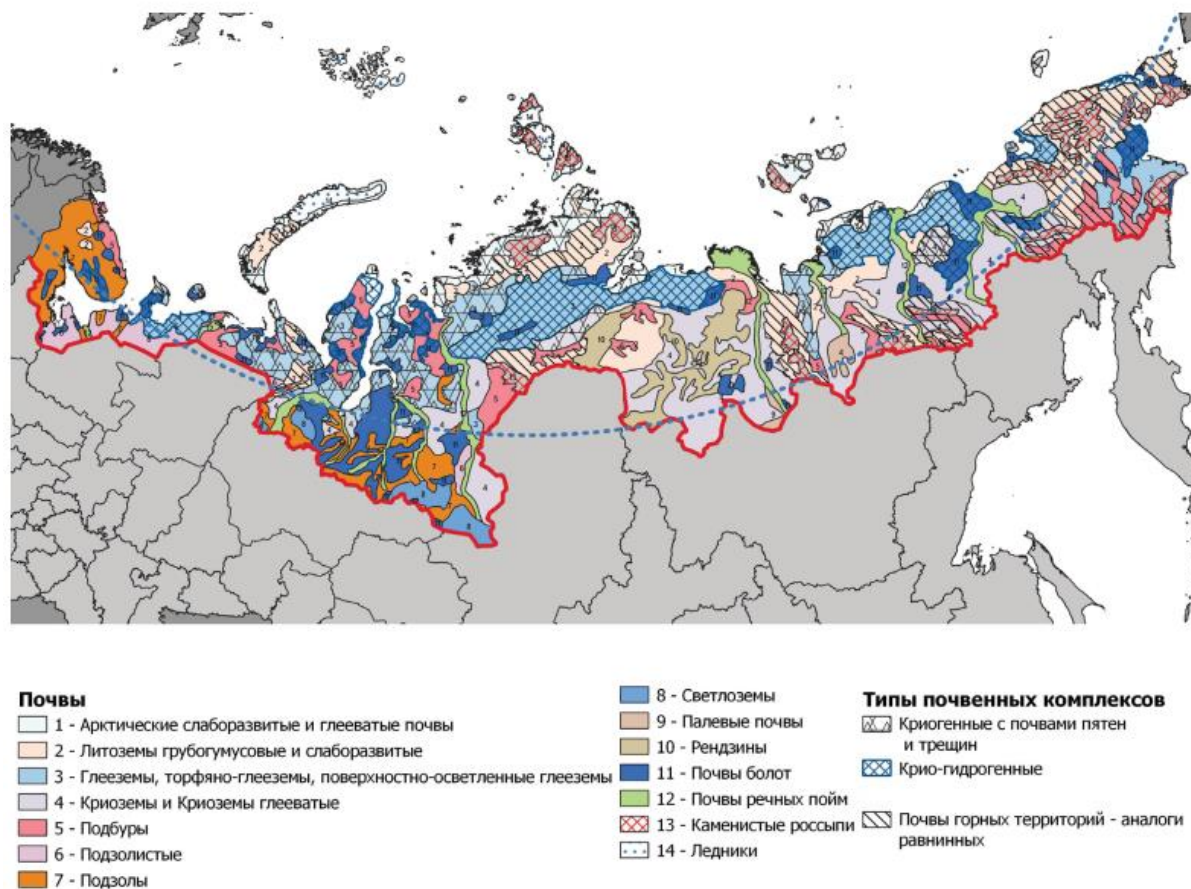


Рисунок 1.3.2 – Структура почвенного покрова Арктической зоны Российской Федерации



Рисунок 1.3.3 – Конкреции

В Туруханском районе широко распространены буротаёжные иллювиально-гумусовые почвы. Кроме того, отмечаются глеевато-буротаёжные, глеево-таежные, дерново-карбонатные, дерново-подзолистые почвы и альфегумусовые подзолы. Буротаёжные и подзолистые почвы развиты в условиях хорошего дренажа под темнохвойными лесами. Глеево-таежные почвы при подчиненной роли буротаёжных и других не переувлажненных почв характерны для плоских поверхностей водораздельных территорий с нерасчлененным рельефом. Дерново-карбонатные почвы формируются на карбонатных породах в условиях хорошего дренажа и имеют развитый темноокрашенный профиль. В бессточных понижениях рельефа, на месте зарастающих водоемов развиваются болота. При заболачивании развиваются болотные торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы. [1]

1.4 Растительный и животный мир

Суровые климатические условия Арктики в известной степени ограничивают развитие растительного и животного мира. Число различных видов и отдельных представителей флоры и фауны убывает в направлении к полюсу. АЗРФ населена большим количеством разнообразных животных, растений и грибов, создающих уникальные природные экосистемы на территории регионов Арктической зоны. Также стоит отметить, что на территории Российской Арктики обитает довольно большое число видов животных и растений, включенных в Красную книгу; в их числе – белый медведь, путоранский снежный баран, лаптевский морж, кит (гренландский, нарвал, горбач), стерх (белый журавль), краснозобая казарка, малый лебедь, кречет, орлан-белохвост. Невзирая на природные условия, близкие к экстремальным, множество представителей флоры и фауны арктических территорий успешно приспособилось к такой среде обитания.

В летний период на территорию Арктики приходится достаточное количество солнечной радиации, которая, попадая на поверхность земли, в свою очередь стимулирует рост и развитие растительности. При этом, температура поверхности почвы может быть выше температуры воздуха даже на 20° С. На материковых просторах Арктики деревья встречаются очень редко, но в некоторых районах севера России посажены леса, следовательно на территории можно встретить сосновые, еловые, а также и березовые леса. Площадь земель лесного фонда, покрытых лесной растительностью, в Арктической зоне Российской Федерации составляет примерно 50 380 тысяч га. Растительный покров Арктической зоны Российской Федерации характеризуется бедностью видового состава и исключительно низкой продуктивностью. Видовое разнообразие зависит от климатических условий разных районов: с повышением средней температуры увеличивается количество видов сосудистых растений: при менее 3 °С встречается от 1 до 35 видов (где преобладают травянистые растения), при 3—5 °С – от 60 до 100 видов (злаки, простратные кустарнички,

осоки), при 5—8 °С – более 100 видов (кустарники, кустарнички), при 9—12 °С – от 200 до 500 видов и более.

Список сосудистых растений арктической зоны и субарктической территории Российской Федерации включает в себя 1691 вид, в том числе 764 из которых характерны для тундр и 526 видов заходят в Арктику с её южной границы из области бореальных лесов (Рис. 1.4.1). Наибольшее разнообразие характерно для гипарктических южных тундр – порядка 500 видов сосудистых растений на 100 км², в то время как в высокоарктических биомах эта величина примерно в десять раз меньше. Более 20 видов включено в Красную книгу Российской Федерации, многие из которых входят в списки региональных Красных книг, часть редких видов охраняется на заповедных территориях.

Видовое разнообразие мохообразных не уступает разнообразию сосудистых растений. Биофлора АЗРФ в границах Российской Федерации состоит из 590 видов мхов и 215 видов печеночников. Видовое богатство мохообразных постепенно убывает к северу, резко сокращается на границу арктических тундр и полярных пустынь (Рис. 1.4.2). [5]

На арктической и субарктической территории РФ произрастает около 1950 видов лишайников и систематически близких к ним нелихенизированных грибов, потенциальное разнообразие которых, по экспертным оценкам, может достигать 2,5 тысяч видов (Рис. 1.4.3). Разнообразие лишайников зависит сугубо от субстратов и мест обитаний, поэтому наибольшим видовым богатством отличаются горные биомы, наименьшим – равнинные тундровые и полярнопустынные биомы (Рис. 1.4.4). При этом в полярных пустынях и горноарктических биомах разнообразие лишайников значительно превышает разнообразие сосудистых растений и мохообразных. [4]

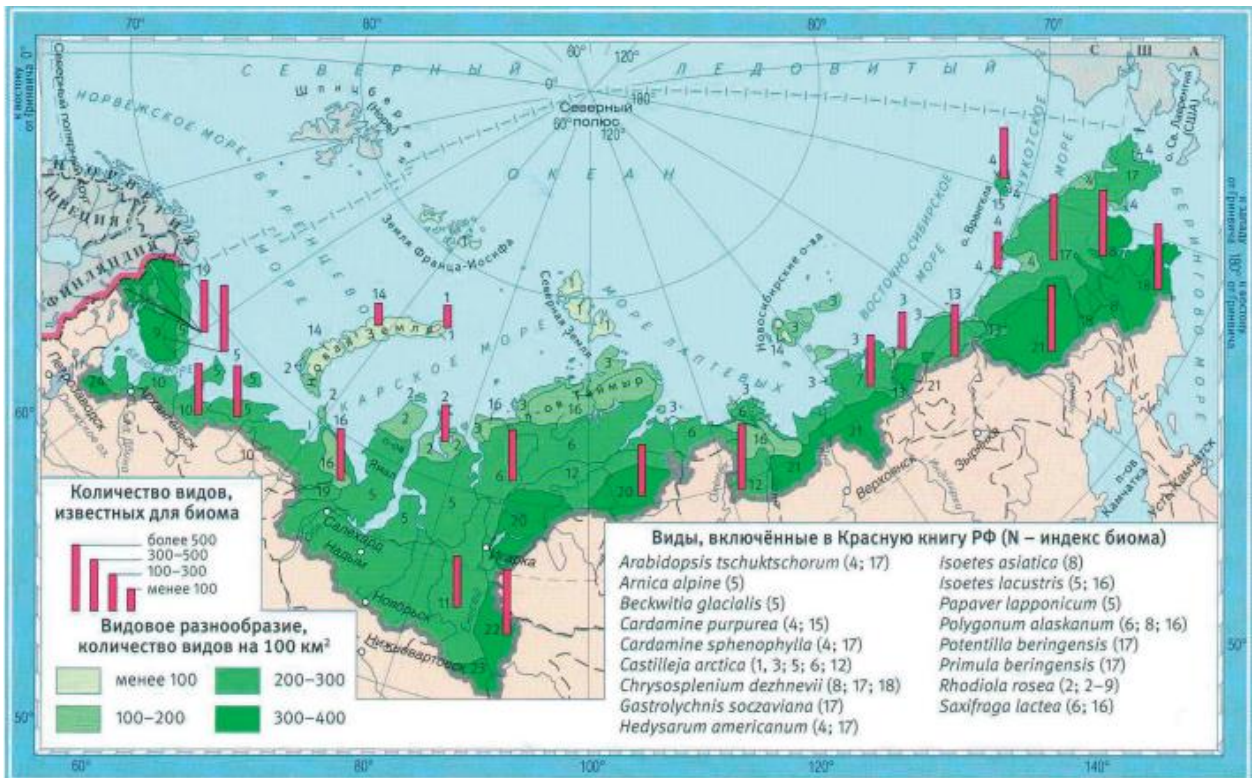


Рисунок 1.4.1 – Видовое разнообразие сосудистых растений

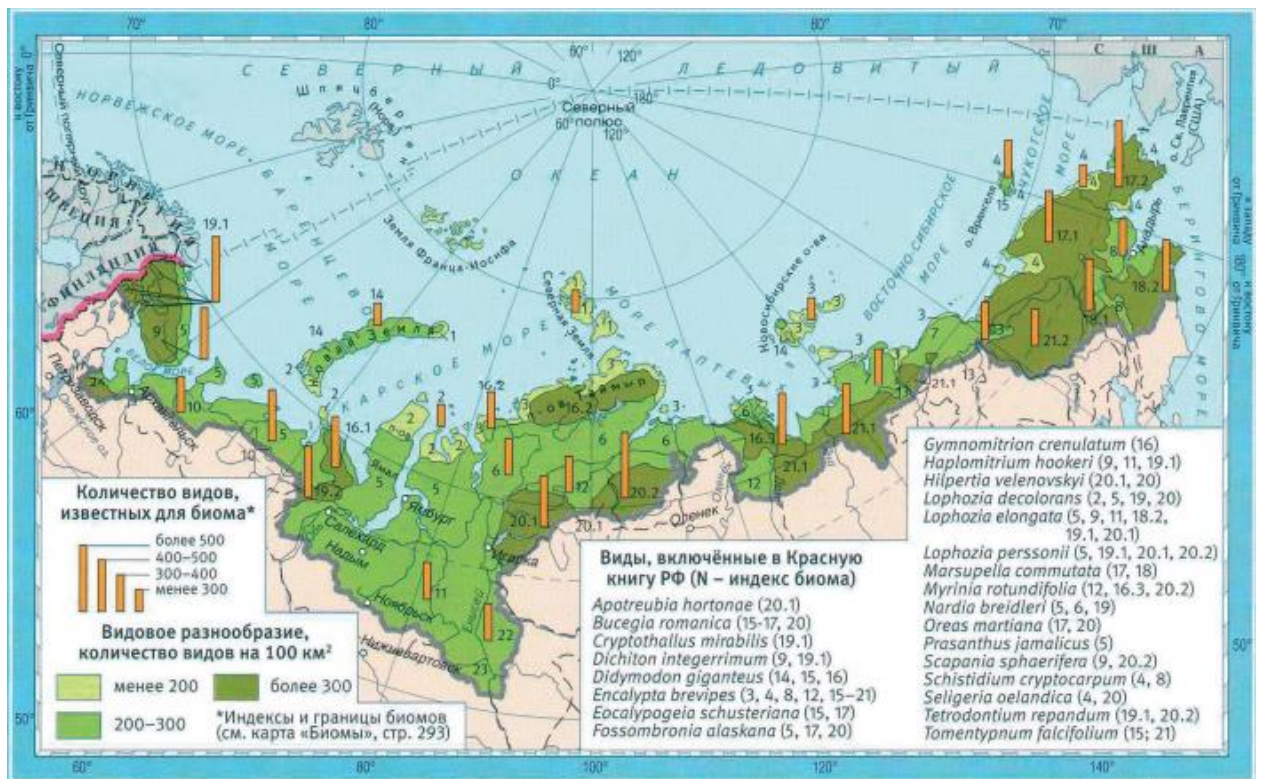


Рисунок 1.4.2 – Видовое разнообразие мохообразных

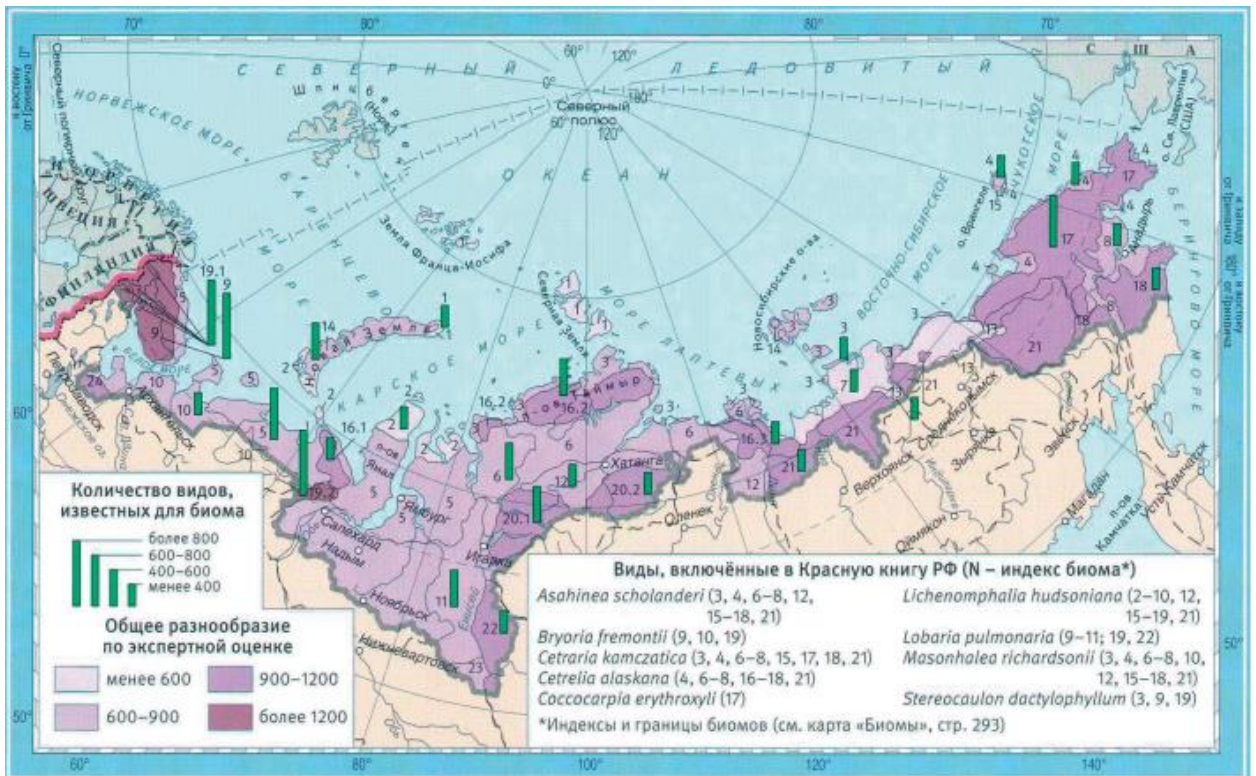


Рисунок 1.4.3. – Видовое разнообразие лишайников

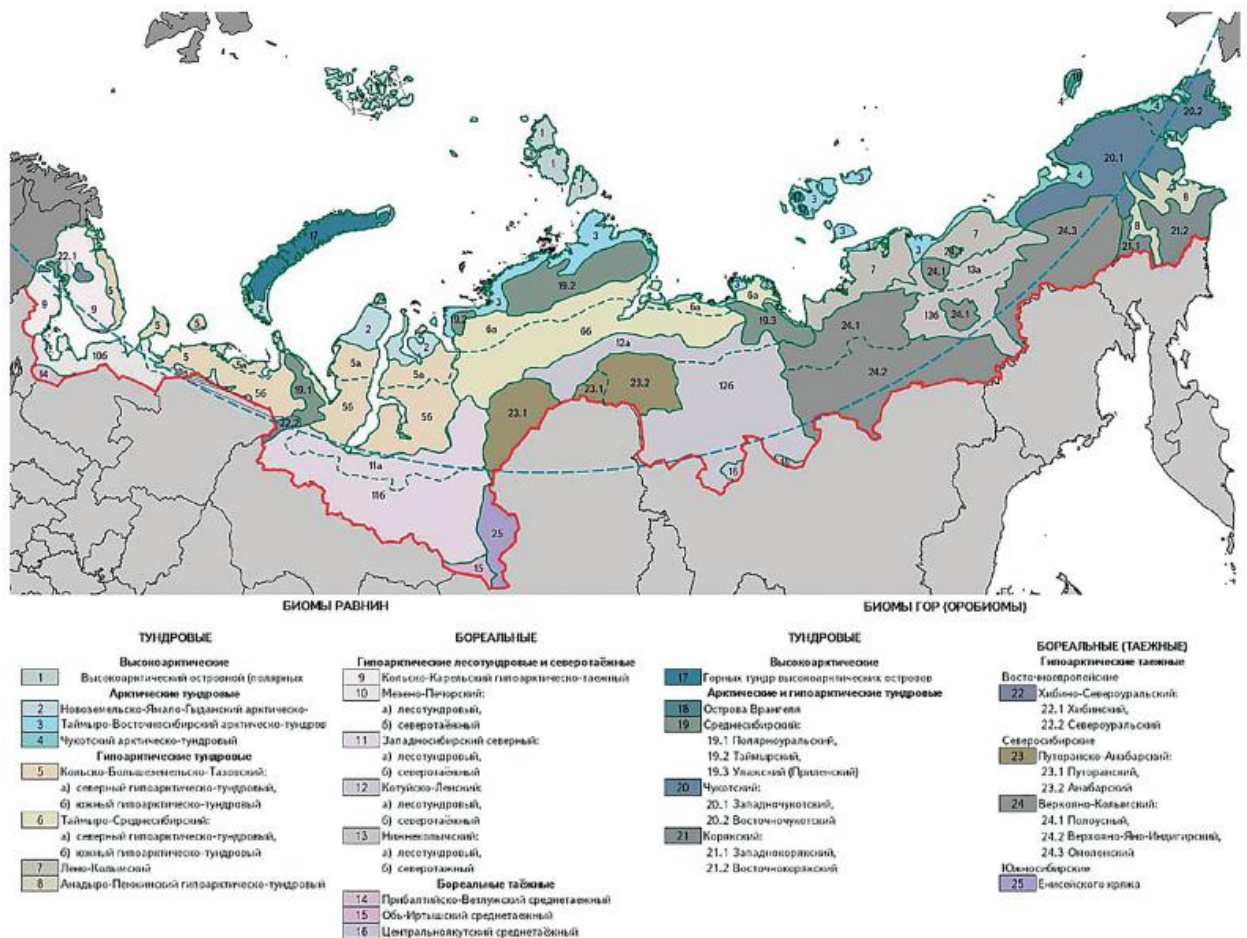


Рисунок 1.4.4 – Биомы Арктической зоны Российской Федерации

Животный мир в Арктической зоне Российской Федерации достаточно разнообразен, на ее территории распространено около 130 видов млекопитающих. Млекопитающие арктических морей представлены отрядом ластоногих, китообразных и белым медведем. В океане встречаются кольчатая нерпа, морж, нарвал и белухи (Рис. 1.4.5). Вдоль берегов проходят миграционные пути восточно-тихоокеанской популяции серых китов. Баренцево море лидирует среди арктических морей по числу видов млекопитающих. К востоку их количество сокращается, особенно китообразных, а в Чукотском море видовое разнообразие вновь повышается.

Среди наземных представителей фауны наиболее широко распространены песец, арктический заяц-беляк, лемминги, полярный волк, северный олень, которые хорошо приспособлены к обитанию при низких температурах.

Водные птицы представлены обширной экологической группой, неоднородной в систематическом плане. К ним относятся истинно морские, факультативно-колониальные птицы, а также морские утки (Рис. 1.4.6). С приморскими местообитаниями, особенно во внегнездовой период, тесно связаны другие водоплавающие и околоводные птицы, в том числе кулики. Баренцево море лидирует и по числу видов птиц, где обычны некоторые атлантические виды: чайки, бакланы, олуши и глупыш.[5]

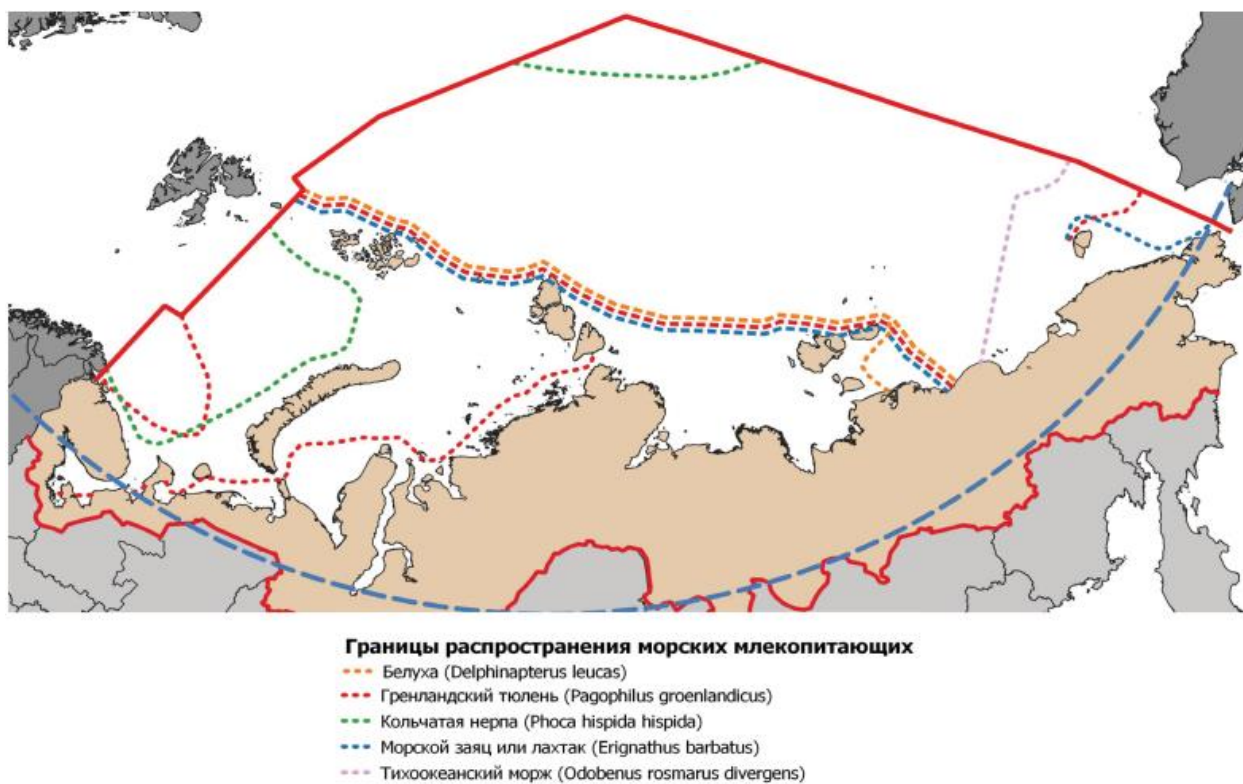
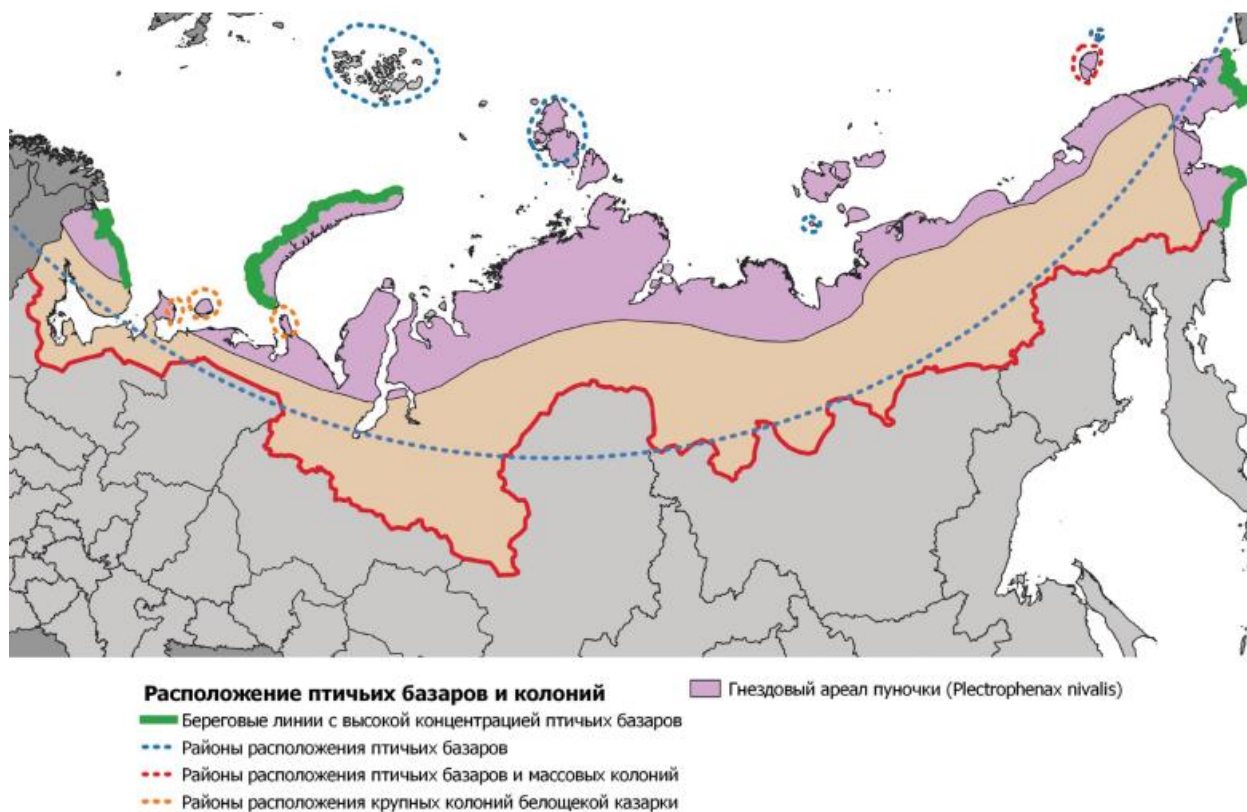


Рисунок 1.4.5 – Карта границ распространения ключевых видов морских



млекопитающих Арктической зоны Российской Федерации

Рисунок 1.4.6 – Карта ареалов распространения птичьих базаров и колоний

В северных пределах рассматриваемой зоны Туруханского района лесотундры широко распространены кустарниковые, моховые и лишайниковые тундры, среди которых на открытых междуречьях появляется древесная растительность, представленная пятнами угнетенной лиственницы и ели, а в южной части зоны появляются кедр и береза. Лесная растительность на водоразделах р. Турухан имеет довольно угнетенный характер. Здесь, в условиях мерзлого грунта, залегающего на глубине 40-60 см, преобладают кедрово-елово-лиственничные леса с примесью березы, а также леса с подлеском из ольхи и карликовой березки и мощным покровом из гипновых и сфагновых мхов с участием многих видов лишайников. В долинах реки и ее притоков произрастают значительно угнетенные елово-кедровые сильно заболоченные леса и распространены торфяники с заметно выраженным мелкобугристым рельефом. Поймы рек занимают березовые вейниковые леса. По низменным берегам в низовьях Турухана развита кустарниковая и луговая растительность. В водах Турухана обитают различные представители ихтиофауны, такие как: осетр, стерлядь, омуль, туруханская сельдь, таймень, голец дрягина, язь и многие другие. По словам участников похода на Турухан 1970 года: «В Туруханске огромное хранилище в вечной мерзлоте, из Туруханска каждый день на самолете хорошую рыбу отправляют в Москву к кремлевскому столу и в посольство». [9]

1.5 Климат

Климат Арктики по праву считается наиболее холодным и суровым на земле. В Арктике господствует арктический климат, особенностью которого являются низкие годовые температуры. Природные характеристики Арктики: полярные дни и ночи, холодные температуры, в том числе и летом, преобладание твердых осадков, наличие большого количества ледников, вечная мерзлота, практически полностью покрытые льдом морские акватории, отсутствие деревьев. Арктика представлена зонами тундры и арктических пустынь.

Северный полярный круг является границей, севернее которой солнце не поднимается над горизонтом во время зимнего солнцестояния (21 декабря), а во время летнего солнцестояния (соответственно 21 июня) солнце не поднимается над горизонтом. Продолжительность полярного дня и полярной ночи увеличивается на север, из-за длительности которых солнечная радиация поступает крайне неравномерно.

Широкая географическая протяженность Арктической зоны – причина значительного разнообразия климатических и погодных режимов (Рисунок 1.5.1). В Арктическую зону входят территории сразу трех климатических поясов: умеренного, субарктического и арктического, что оказывает сильное влияние на природное и экологическое разнообразие флоры и фауны. Для арктического пояса характерно преобладание в течение года арктических воздушных масс. Наибольшие различия в показателях климата проявляются в основном зимой, летом таяния больших масс льда в морях Северного Ледовитого океана и преимущественно пасмурная погода создают однообразный режим температуры воздуха. В субарктическом поясе наблюдается сезонная смена арктических и умеренных воздушных масс. [5]

Территория Арктической зоны Российской Федерации разделена на три сектора: Европейский (до 62° в.д.), Сибирский (до 125° в.д.) и Восточный. Данные об аномалиях среднегодовой температуры воздуха за 2020 и предшествующие годы показаны на Рисунке 1.5.2 в сравнении с аномалиями на Северном полушарии. Согласно графику, можно сделать вывод, что 2020 г. в северной

полярной области (далее – СПО) был вторым среди самых теплых лет за весь период наблюдений и самым теплым в Северном полушарии.[4]

Самые крупные аномалии на материковой части СПО наблюдались на территории Западносибирского и Восточносибирского районов. Значения температуры составили 5,9 и 4,7 °С соответственно. Такие аномалии температуры в эти районах оказались наибольшими по рангу теплых лет за период с 1936 года.

В течение последних трёх десятилетий (1991-2020 гг.) температура росла во всех регионах СПО. В целом для СПО линейный рост среднегодовой температуры за 30 лет составил около 2,64°С

В последнее время значимое внимание уделяется изменениям климата на акваториях Северного Ледовитого океана, через которые проходят трассы Северного морского пути. Потепление в этом районе отмечается с 1998 г. зимой, с 1996 г. – летом. Максимальная температура зимой отмечена в 2012 г., летом – в 2016г.

По данным последних докладов рабочей группы Арктического совета, членом которого является Российская Федерация, прогнозные оценки изменений климата с использованием глобальных климатических моделей указывают на продолжающееся потепление, интенсивность которого в дальнейшем будет зависеть от будущих концентраций парниковых газов и других антропогенных воздействий. Если не будут приняты меры по смягчению последствий изменения климата, а глобальные температурные показатели будут продолжать расти в соответствии с нынешними тенденциями, к 2030 году Арктика имеет перспективу освободиться от морского льда в течение лета.[10],[11] Подобные последствия открывают ряд новых маршрутов для судоходства, которыми в будущем могут воспользоваться различные государства, реализуя ряд проектов развития, в том числе и Китай. [7],[8]

По мере изменения температурных характеристик и характеристик поверхности (трансформация льда и снежного покрова) также происходит циркуляция атмосферы. Прогнозируемые изменения приземного ветра наряду с уменьшенным ледяным покровом приведут к увеличению высоты волн и

продолжающейся эрозии берегов. Сокращение площади, занятой морским льдом, в сочетании с повышением количества осадков влияет на ввод пресной воды в Северный Ледовитый океан, перемешивание ветров и передачу материалов, которые влияют на свойства морской воды и модели циркуляции воды.[5]

Климат Туруханского района резко континентальный. Зимой морозы могут достигать -60°C , а летом температура повышается до $+35^{\circ}\text{C}$. [9]



Рисунок 1.5.1 – Климатические пояса Арктической зоны Российской Федерации

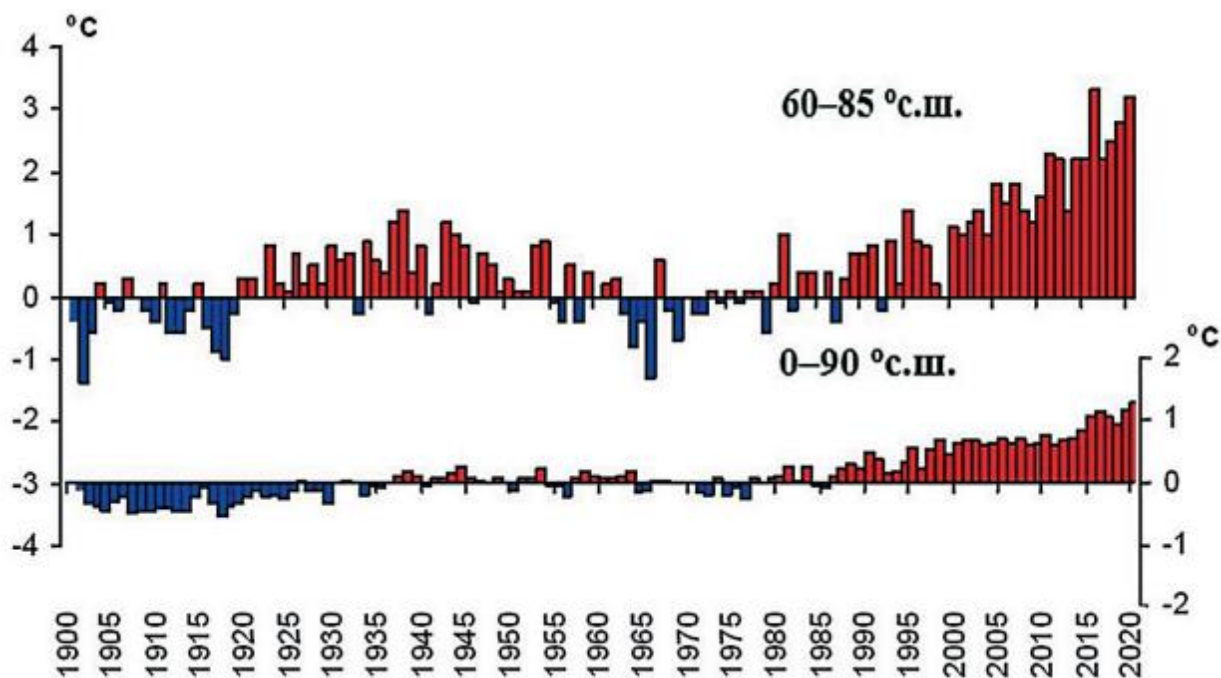


Рисунок 1.5.2 – Аномалии среднегодовой температуры воздуха СПО (60–85°с.ш.) и северного полушария (0–90°с.ш.)

1.6 Внутренние воды

Реки Арктики замерзают почти на целый год, от 9 до 10 месяцев, немногие промерзают до дна. Реки на материковой части замерзают в октябре, вскрываются с мая по июнь, на островах замерзают в начале осени, вскрываются в середине лета. Уровень воды зимой обычно низкий. На материке, особенно в низменности, в течение большей части года много достаточно маленьких термальных карстовых озер, покрытых льдом. Наиболее крупное из них на территории Российской Федерации – озеро Таймыр (45 000 км²). Около 30% площади от всех арктических островов занято ледниками. Особенно много глетчеров расположено на Земле Франца Иосифа. Эти ледяные глыбы относятся к покровным, так как лежат на уровне моря, а по мере накопления продвигаются к берегу, обламываются и образуют айсберги. Средняя толщина льда достигает до 300 метров.

Важной отличительной чертой российской Арктической зоны является наличие значительных водных ресурсов, представленных в виде обширных бассейнов крупнейших рек Российской Федерации (Обь, Енисей, Лена).[5] Эти реки не только входят в ресурсную базу региона, но и напрямую влияют на общую экологическую обстановку, климат, состояние арктической флоры и фауны. [7]

1.7 Население

Безусловно, Арктическая зона Российской Федерации важна для государства как огромная кладовая минеральных и биологических ресурсов, хотя она важна и с геополитической точки зрения. Тем не менее, ее основным ресурсом являются люди, так как без наличия постоянного населения удержать данную территорию и развить ее практически невозможно. Особенную важность этот фактор приобретает в условиях Арктической зоны с её особенностями климата, которые крайне негативно влияют на здоровье проживающего населения и препятствуют адаптации вновь прибывших.[6]

Из-за суровых условий окружающей среды население Арктики достаточно мало. Самые известные жители Арктики – эскимосы. Их предки, так называемые палеоэскимосы, появились в северных широтах только четыре тысячи лет назад. На самой северной оконечности Евразии коренными народами являются саамы в северной Скандинавии и Финляндии, ненцы на севере и чукчи на северо-востоке России.[4]

Население в основном сосредоточено в крупных городах. Увеличение численности населения АЗРФ при сохранении темпов естественного прироста означает следующее – активное привлечение мигрантов, из которых на постоянное место жительства останутся немногие. Это значит, что привлекаются скорее всего временные мигранты и вахтовики. Мигрирующее население в основном занимается обслуживанием горнодобывающей промышленности и транспортных маршрутов. Помимо этого, некоренные жители обычно приезжают на небольшой срок и работают врачами, учителями, полицейскими, медсестрами, а также административным персоналом. Между тем, здоровьем работников, вынужденных постоянно перемещаться из одной климатической зоны в другую – ухудшается. Это связано с тем, что организм не успевает адаптироваться к изменениям. К сожалению, этот вопрос весьма непросто. С одной стороны – при таких миграциях организм не успевает восстанавливаться, с другой – большинство

представителей некоренного населения не обладают адаптационными ресурсами организма, которые позволяли бы сохранять здоровье длительное время в условиях Арктики. [6]

Многие добровольные и вынужденные иммигранты поселились в российской Арктике, вследствие чего во многих районах коренные народы стали меньшинствами. В Арктической зоне Российской Федерации плотность населения составляет 0,1–0,2 человека на один квадратный километр, когда плотность населения зарубежной Арктики в разы меньше, а именно – 0,03 человека на один квадратный километр. В российской Арктике туристы в основном живут в промышленных, горнодобывающих или административных центрах, в более крупных городах, таких как Норильск.

Рост населения в некоторых регионах Российской Арктики можно объяснить некоторыми причинами. К примеру, прирост населения в Ненецком автономном округе и в Нарьян-Маре можно связать не только с наличием нефтегазового комплекса, но и с тем, что проводится активная демографическая политика.[8]

Три крупнейших города за Полярным кругом находятся на территории Арктической зоны Российской Федерации, а именно: Мурманск – 305 000 жителей, Норильск – 180 000 жителей и Воркута – 85 000 жителей.

1.8 Ледяной Шёлковый путь

На сегодняшний момент Арктический регион является своеобразным связующим узлом национальных оживленных интересов для многих государств, как арктических, так и неарктических стран. [11]

Стратегически заинтересованные государства делятся на три группы:

1. Государства Арктического клуба (Норвегия, Россия, США, Канада, Гренландия в лице Дании), территории которых прилегают к Северному Ледовитому океану.
2. Приарктические страны (Финляндия, Швеция и Исландия), которые входят в Арктический Совет и находятся в достаточной близости к Полярному Кругу.
3. Неарктические аркторы (Китай, Южная Корея, Сингапур, Индия, Великобритания, Германия, Франция, Польша и многие другие)

КНР, если говорить о неарктических странах, будучи одной из наиболее активных участников среди своей группы, являющаяся второй мировой экономикой и имеющая все необходимые международные статусы на мировой арене, способна стремительно продвигать свои интересы в Арктической Зоне. [10]

Концепция «Ледяного (Полярного) Шелкового пути» – важный и стратегический пункт Белой Книги. Ледяной Шелковый путь (ЛШП) стал шестым маршрутом заявленной китайской государственной программы. ЛШП даёт возможность развития не только двусторонних российско-китайских отношений, но и потенциал для многостороннего сотрудничества в рамках Евразийского Экономического Союза. Помимо этого, Шёлковый путь подразумевает реализацию соглашения между

Россией и Китаем об углублении партнерства и стратегического взаимодействия.[8]

Строительство инфраструктуры по линиям «юг – север» входит в планы ЛШП, что играет непосредственную роль в обеспечении освоения прибрежного арктического пространства. [10]

Активизация присутствия Китая в Арктике также обусловлена следующими ключевыми обстоятельствами:

- Богатые залежи полезных ископаемых
- Возможность прокладки и использования новых, рентабельных морских путей (правда, это чревато глобальными последствиями в виде изменения климатических условий)
- Научные исследования

Для проведения поисковых и разведывательных работ Пекин вкладывает большие средства и активно участвует в освоении зарубежных нефтяных месторождений, привлекая китайские технологии и капитал. Эта универсальная тактика применяется и в отношении Арктики. Успешным российско-китайским сотрудничеством можно считать пример в Ямало-Ненецком округе. Проект «Ямал СПГ», 50,1% акций которого принадлежат российской «НОВАТЭК», 20% – китайской CNPC, 20% – французской Total, 9,9% – китайскому инвестиционному Фонду Шелкового пути. В то же время, сложившаяся модель сотрудничества, которую можно охарактеризовать как «инвестиции и технологии Китая в обмен на доступ к российским ресурсам», периодически вызывает замечания, ибо данная модель не способствует повышению доли российской продукции с высокой добавленной стоимостью во внешнеэкономических связях с КНР.[7]

2 Фоновые прогнозы речного стока

2.1 Физические основы гидрологических прогнозов

Гидрология вод Арктики вызывает с каждым годом всё больший интерес, который растёт по мере расширения сведений о территории и её водных объектах в том числе.

Данное исследование сосредоточено на построении регрессионных зависимостей для гидрометеорологических характеристик речного бассейна АЗРФ с целью получения фоновых прогнозов речного стока.

Гидрологические прогнозы являются одной из важнейших областей практического приложения гидрологии к использованию водных ресурсов, одной из главных задач которых является исследование закономерностей развития предсказываемых явлений. Эти исследования включают в себя как теоретический анализ, так и проведение полевых экспериментов и наблюдений. Условия погоды во многом определяют гидрологические явления, их предсказания в ряде случаев зависят от степени развития и точности метеорологических прогнозов. Гидрологические прогнозы заключаются в предвычислении с различной заблаговременностью и степенью точности элементов режима или явлений, основанном на знании закономерностей развития гидрометеорологических процессов.[12]

В настоящее время, существующие речные гидрологические прогнозы можно классифицировать по трем основным признакам:

1. По виду реки: (прогнозы на равнинных реках; прогнозы на горных реках)
2. По прогнозируемому элементу: (прогнозы стока (уровня, расхода); прогнозы на горных реках)
3. По заблаговременности прогноза: (краткосрочные – заблаговременность до 10 суток; долгосрочные – от 10 суток до года; сверхдолгосрочные – от года и более)
4. По территориальному признаку: (локальные или местные; фоновые или районные) [2]

Формирование гидрологических явлений в неоднородных и чрезвычайно многообразных условиях географической среды представляет собой следствие комплекса сложных взаимосвязанных процессов, происходящих как в атмосфере, так и на поверхности, и в некоторой толще земли. В основу разработки методов гидрологических прогнозов входит отыскание зависимостей. Изменчивость элементов и характер гидрологического режима связаны с климатом непосредственно, а также с изменчивостью погодных условий на территории речных бассейнов.

Сток рек, который по выражению А. И. Воейкова является «продуктом климата», не может не реагировать на происходящие его изменения. Учитывая важность стока, как ресурса, определяющего разнообразные аспекты деятельности человека, представляется важным многолетние его изменения, в том числе и в условиях меняющегося климата.

В работе был задействован один из трех подходов для долгосрочного прогнозирования весеннего стока, а именно – статистический метод.

2.2 Статистический подход долгосрочного прогнозирования

Метод статистических прогнозов предполагает возможность оценки будущего значения процесса по результатам наблюдений прошлых и текущих значений как самого процесса, так и определяющих его факторов. В данном методе основная роль отводится анализу физико-географических условий формирования стока и выявлению основных стокообразующих факторов, а также выбору оптимальной группы предикторов. Исследование взаимосвязей природных процессов осуществляется при помощи довольно распространенного метода – метода множественной регрессии, а также статистические методы включают в себя корреляцию, в том числе множественную, с отбором предикторов просеивающими методами.

В общем виде задача заключается в установлении взаимосвязи исследуемого процесса (Y), или же предиктанта, с факторами, которые влияют или определяют этот процесс, так называемыми предикторами (X_1, X_2, \dots, X_m). В нашем случае в роли предиктанта – весеннее половодье, а предикторами являются различные гидрологические и метеорологические явления, такие как: осадки, влажность, температура и многие другие, но об этом немного позже.

Корреляция является одним из приемов, который получил достаточно широкое применение ещё на ранней стадии развития гидрологического анализа и прогнозов. Следует отметить, что как корреляция, так и регрессионный анализ сыграли в изучении различных сторон формирования весеннего стока весьма положительную роль. Помимо изучения формирования весеннего стока, данные методы хорошо повлияли на постановку экспериментальных воднобалансовых исследований, на развитие массовых сетевых гидрометеорологических наблюдений, и, наконец, в развитии концепций и углублении физических представлений о сложном процессе формирования талого стока.

Статистические методы сами по себе не потеряли своего практического применения в прогнозах весеннего стока и в настоящее время. Довольно часто в силу недостаточности гидрометеорологических наблюдений и их невысокой

точности невозможен воднобалансовый расчет, который является одним из методов долгосрочного прогнозирования весеннего стока. В случаях подобного рода, определенное представление о возможности прогнозов могут дать только методы регрессионного (корреляция) и дискриминантного анализа. Суть дискриминантного анализа заключается в том, что в поле метеорологических величин выявляются составляющие, связанные с прогнозируемым явлением, а именно, метод применяется с целью долгосрочного прогноза начала ледообразования на реках севера.

Множественная корреляция (регрессия) является составной частью многомерного статистического анализа. Методы многомерного анализа начали внедряться в практику гидрологических прогнозов, начиная с семидесятых годов прошлого века. Используются также методы, в основе которых лежит нахождение многофакторных регрессионных связей с набором различных предикторов гидрометеорологического и другого характера.

Судя по различным опытам, на ограниченных выборках иногда удается получить формально удовлетворительные зависимости, которые, к сожалению, оказываются неустойчивыми и не выдерживают испытаний временем.[2]

2.3 Формирование базы данных

Для достижения качественных и репрезентативных результатов фоновых прогнозов речного стока следует тщательно подойти к процессу выбора исследуемого объекта, чтобы был задействован достаточно важный экономический регион, входящий в Арктическую зону Российской Федерации, имеющий дальнейшую перспективу изучения и подготовки базы данных.

В качестве экономически важного региона был выбран Красноярский край, в котором уже довольно долгое время проводится добыча полезных ископаемых. Красноярский край занимает первое место в Российской Федерации по древесным запасам, второе – по запасам ресурсов гидроэнергетики, третье – по запасам минерального топлива, в основном бурого угля, но помимо этого обнаружены запасы нефти. Также немалую роль в развитии региона играют огромные месторождения руд черных и цветных металлов, золота, природного камня и многого другого.

Для дальнейшего исследования и изучения была выбрана река Турухан, находящаяся в Туруханском районе Красноярского края. В Туруханском районе открыто месторождение углеводородного сырья, помимо этого район является представителем одного из наиболее крупных в России месторождения оксидных руд, расположенного в северной части Енисейского края, а точнее – Порожинское месторождение марганцевых руд.

Из-за нехватки и сложности поиска более современных гидрологических и метеорологических данных на реке Турухан, было принято решение взять всевозможные современные данные за 2008-2016 гг. и добавить к ним ретроспективные. Обратившись к гидрологическим ежегодникам и метеорологическим ежемесячникам, в качестве ретроспективных были взяты следующие года: 1961, 1963, 1966-1970 гг.

В качестве расчетного гидрологического поста был выбран гидрологический пост Янов Стан, расположенный на реке Турухан и ведущий гидрологические наблюдения с 19.06.1938 г.

В качестве расчетной метеорологической станции была выбрана Гидрометеорологическая обсерватория Туруханск, которая берет своё начало в сборе метеорологических наблюдений в декабре 1843 года. [13]

Общая информация по обсерватории Туруханск:

- Помимо метеорологических наблюдений, станция проводит аэрологический сбор данных с 25.12.1958 г., а также наземные озонметрические, актинометрические, теплобалансовые, воднобалансовые, наблюдения за уровнем загрязнения атмосферных осадков, снежного покрова, а также радиационный мониторинг загрязнения окружающей среды.
- Метеостанция расположена в таежной местности, в 30 километрах от посёлка Старый Туруханск, на правом берегу р. Енисей.
- Высота метеоплощадки – 38 метров над уровнем моря.
- Гидрометеорологическая обсерватория входит в состав реперной климатической сети Росгидромета, глобальной сети наблюдений за климатом, региональной опорной климатической сети.
- Обсерватория осуществляет методическое руководство работой двенадцати гидрологических и озерных гидрометеорологических постов, расположенных на реках Горбиачин, Гравийка, Енисей, Ерачимо, Нижняя Тунгуска, Советская Речка, а также Турухан и озеро Някшингда.
- За заслуги в проведении высококачественных наблюдений коллектив ГМО Туруханск был награжден похвальной грамотой Всемирной метеорологической организации.

3 Расчетная часть

3.1 Исходные данные, определение половодий

Фоновые прогнозы стока будут выполнены при помощи статистического подхода долгосрочного прогнозирования.

Для расчета методики требуется гидрологическая и метеорологическая информация.

Были собраны следующие данные за 16 лет:

- Расходы воды (среднемесячные данные)
- Уровни воды (среднемесячные данные)
- Осадки (среднемесячные данные)
- Температура воздуха (среднемесячные данные)
- Температура почв по глубинам 0,2 и 0,4 метра (среднемесячные данные)
- Относительная влажность воздуха (среднемесячные данные)
- Высота снежного покрова (среднемесячные данные)
- Продолжительность солнечного сияния (среднемесячные данные)

Данные были собраны за все месяцы, исключая метеорологические данные за июнь, июль и август. Ниже будут предоставлены таблицы гидрологических и метеорологических данных за 1961 год, но более подробно и репрезентативно данные за все годы указаны в приложении. Также были собраны данные о температуре почвы на поверхности, но из-за нехватки значений за годы они не были использованы для расчетов.

Таблица 1 – Данные по средним уровням воды (Н, см) за 1961 г.

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1961	547	552	568	579	726	1399	938	620	683	706	592	555

Таблица 2 – Данные по средним расходам воды (Q, м³/с) за 1961 г.

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1961	8,78	5,64	4,57	3,75	6,41	1160	146	34,1	26,3	56,8	17,3	9,3

Таблица 3 – Все среднемесячные метеорологические данные за 1961 г.

Вид Данных	Месяц									
	1	2	3	4	5	9	10	11	12	
Осадки, мм	0	0	0	0	0	0	31,5	0	0	
Температура воздуха, °С	-31,7	22,6	-8,2	-4,0	-0,5	6,4	-9,5	19,8	26,2	
Относительная влажность, %	70	76	77	73	65	84	84	75	75	
Средняя высота снежного покрова, см	83,3	99,3	108,3	93	20,7	0	13,7	21,3	23	
Максимальная высота снежного покрова, см	90	100	112	98	48	0	16	25	26	
Продолжительность солнечного сияния, дни	20,5	62,9	187,2	198,5	274,3	59,3	53,9	37,3	0	
Температура на глубине 0,2 м, °С	-	-	-	-	-	7,8	1,0	-3,0	-8,5	
Температура на глубине 0,4 м, °С	-	-	-	-	-	0	0	-0,4	-5,5	

Были определены периоды половодья за все годы, по которым в дальнейшем производились расчеты.

Для начала строим гистограммы уровней и расходов воды для наглядности отслеживания половодья.

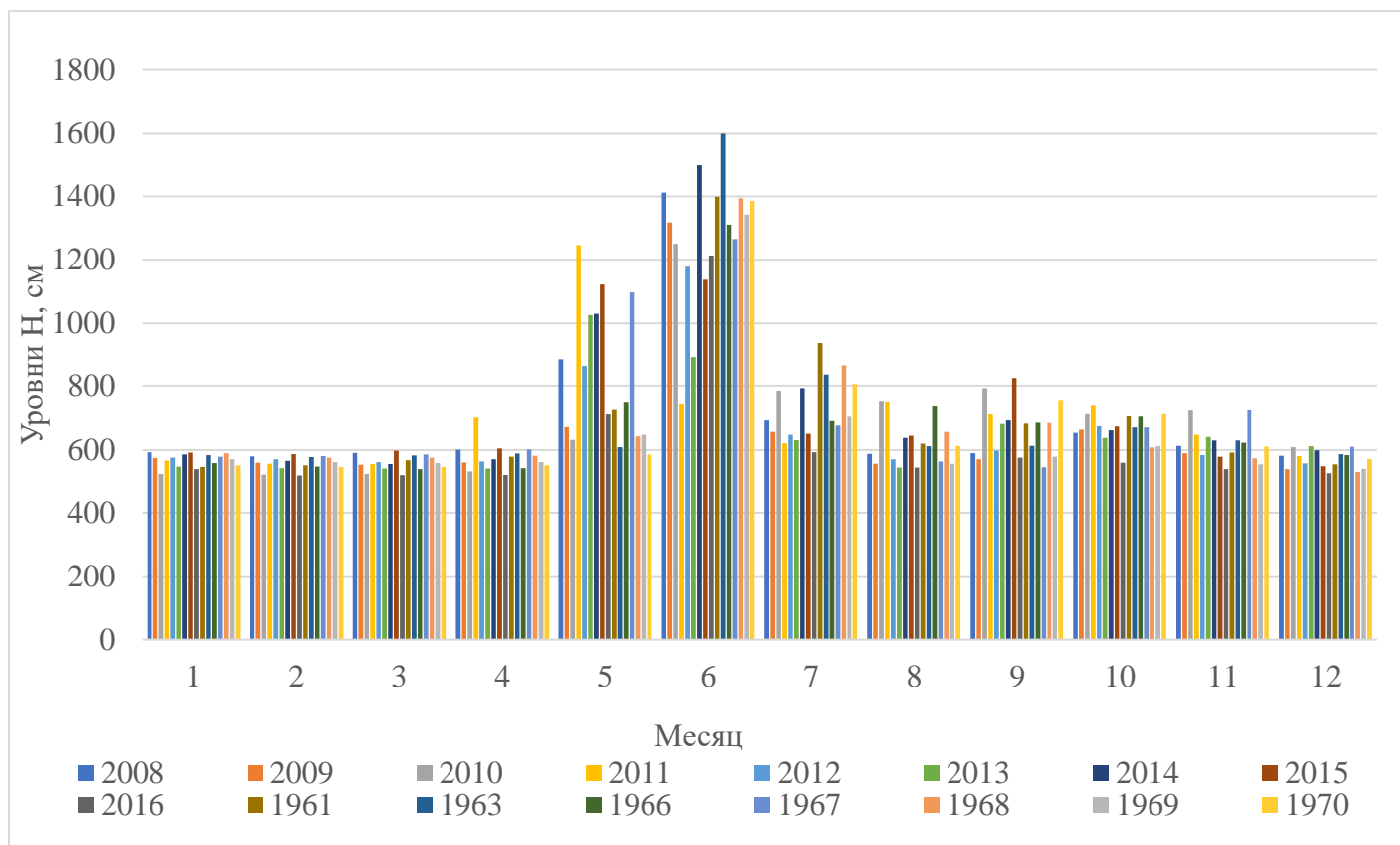


Рисунок 3.1.1 – Гистограмма средних уровней воды за каждый год

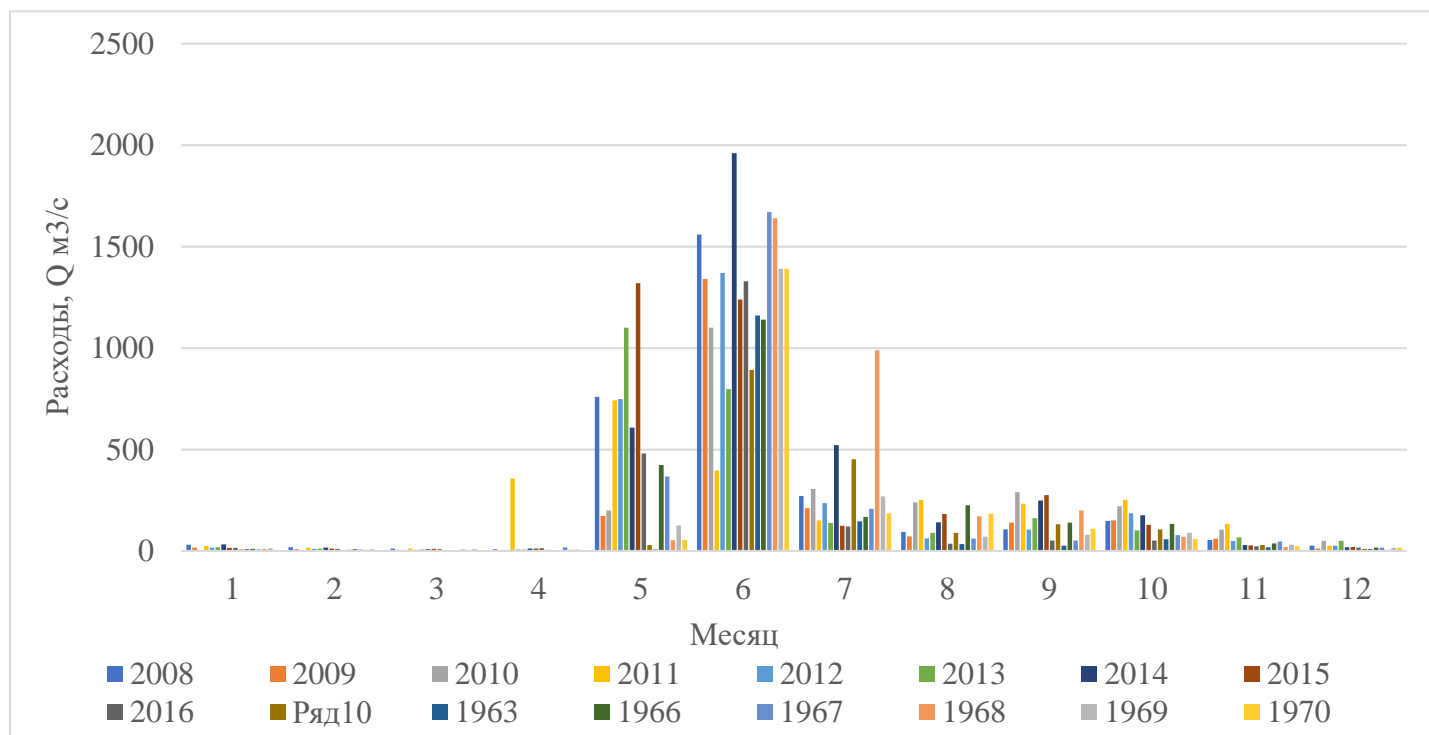


Рисунок 3.1.2 – Гистограмма средних расходов воды за каждый год

Из представленных выше гистограмм видно, что по значениям уровней и расходов воды половодье берет свое начало в пятом календарном месяце, а именно – в мае, конец же приходится на июль.

Следовательно эти даты будем считать за период половодья.

3.2 Расчет слоя стока за период половодий

Период половодья попадает на конец весны и на два месяца лета – на май, июнь и июль. Далее нам необходимо рассчитать слой стока половодья за каждый год.

Расчеты проводились по следующей формуле:

$$Y = \frac{\bar{Q} * T * 86,4}{F}$$

Где:

\bar{Q} – средний расход за период половодья, м³/с

T – количество суток за половодье

F – площадь водосбора, км²

86,4 – количество секунд в сутках

Таблица 3.2.1 – Слой стока половодья за каждый год

Год	Y, мм	\bar{Q} , м ³ /с	Дни половодья	F, км ²
2008	336,84	428,00	92	10100
2009	214,67	272,77		
2010	237,89	302,27		
2011	218,92	278,17		
2012	245,55	312,00		
2013	196,88	250,17		
2014	443,09	563,00		
2015	282,59	359,07		
2016	218,63	277,80		
1961	360,35	457,87		
1963	344,29	437,47		
1966	208,72	265,20		
1967	301,16	382,67		
1968	305,39	388,03		
1969	228,81	290,73		
1970	204,83	260,27		
Среднее без 2014-2016	261,87			
Среднее за все	271,79			

Далее в расчетах будут участвовать все года, кроме: 2014, 2015 и 2016. В дальнейшем они будут использованы для апробации.

3.3 Построение корреляционных графиков с линией тренда

Каждый гидрологический прогноз должен иметь определенную заблаговременность, под которой понимается промежуток времени от даты составления прогноза до даты наступления, или же даты окончания предсказываемого явления.

Для большей наглядности и выявления лучших корреляций между слоями стока, метеорологическими и гидрологическими данными, будут построены графики связи, с использованием среднемесячных значений за февраль, март и апрель 1961, 1963, 1966-1970 и 2008-2013 годы. Также будут задействованы наивысшие значения снежного покрова за месяц.

Первыми для корреляции со слоем стока были выбраны среднемесячные значения уровней воды.

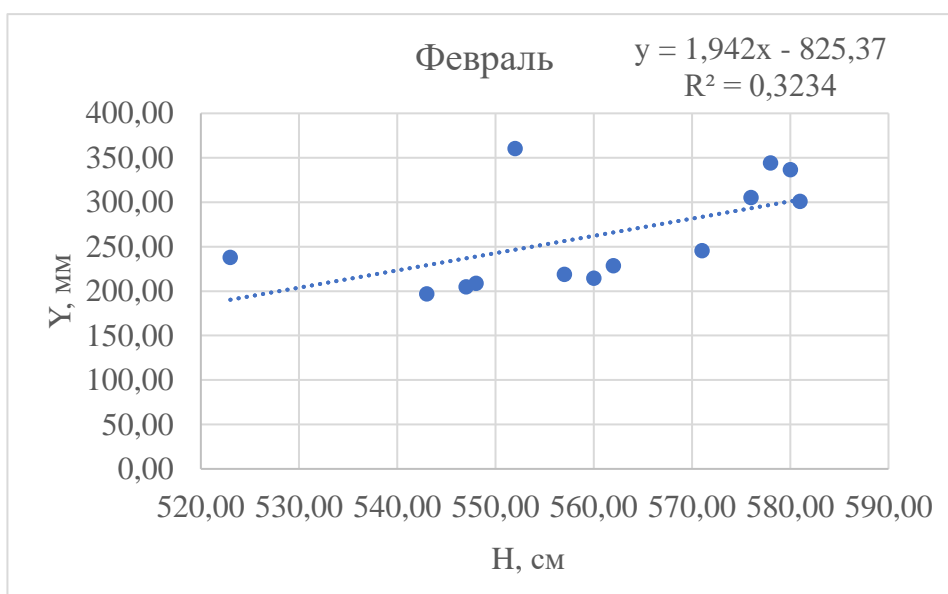


Рисунок 3.3.1 – График связи стока и средних уровней воды за февраль

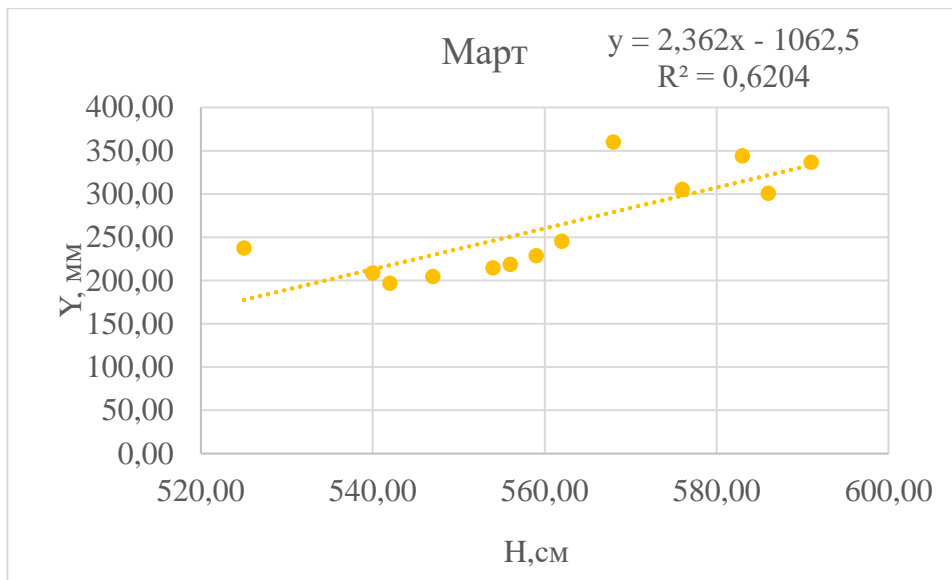


Рисунок 3.3.2 – График связи стока и средних уровней воды за март

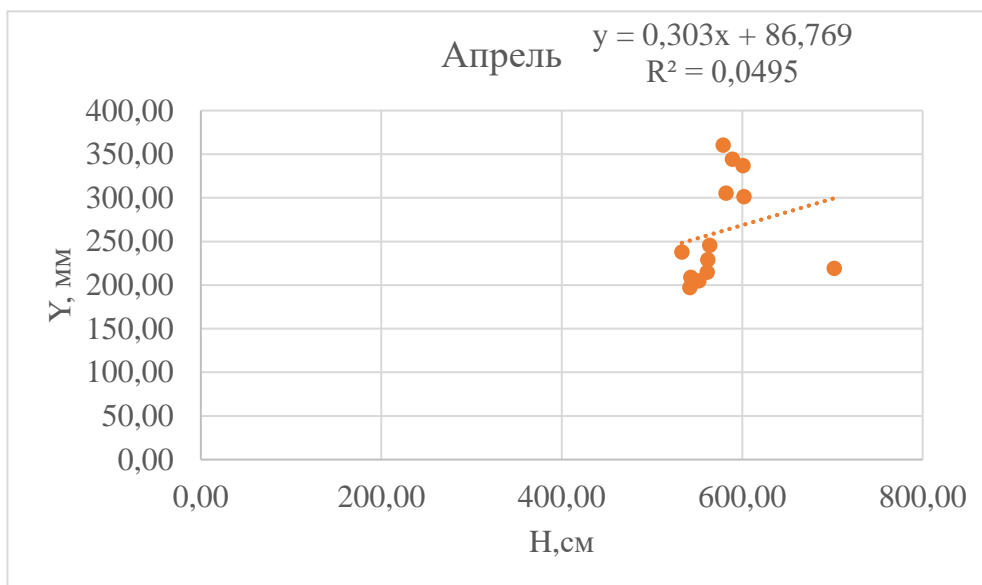


Рисунок 3.3.3 – График связи стока и средних уровней воды за апрель

Таблица 3.3.1 – Полученные коэффициенты корреляции со средними значениями уровней за месяц

Год	\bar{H} , см		
	Февраль	Март	Апрель
2008	580,00	591,00	601,00
2009	560,00	554,00	561,00
2010	523,00	525,00	533,00
2011	557,00	556,00	702,00
2012	571,00	562,00	564,00
2013	543,00	542,00	542,00
1961	552,00	568,00	579,00
1963	578,00	583,00	589,00
1966	548,00	540,00	543,00
1967	581,00	586,00	602,00
1968	576,00	576,00	582,00
1969	562,00	559,00	562,00
1970	547,00	547,00	552,00
	R		
	0,569	0,788	0,222

Проанализировав графики и получив следующие значения коэффициентов, можно сделать вывод, что лучше всего из всех трех месяцев со слоем стока коррелируют уровни в начале весны, в марте. Наименьшая корреляция наблюдается в апреле.

В дальнейшем была проведена такая же процедура для наивысших показателей уровней за эти месяцы.

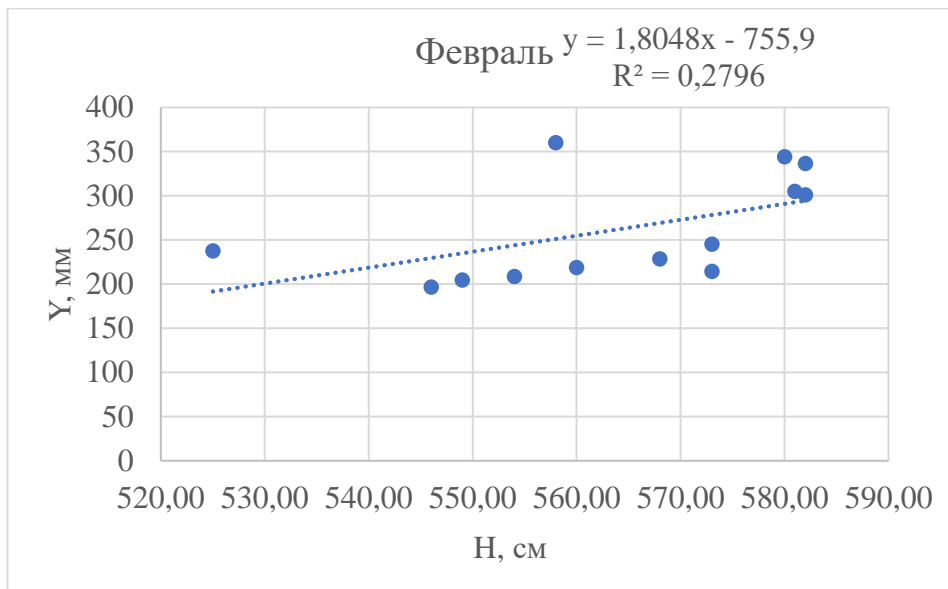


Рисунок 3.3.4 – График связи стока и наивысших уровней воды за февраль

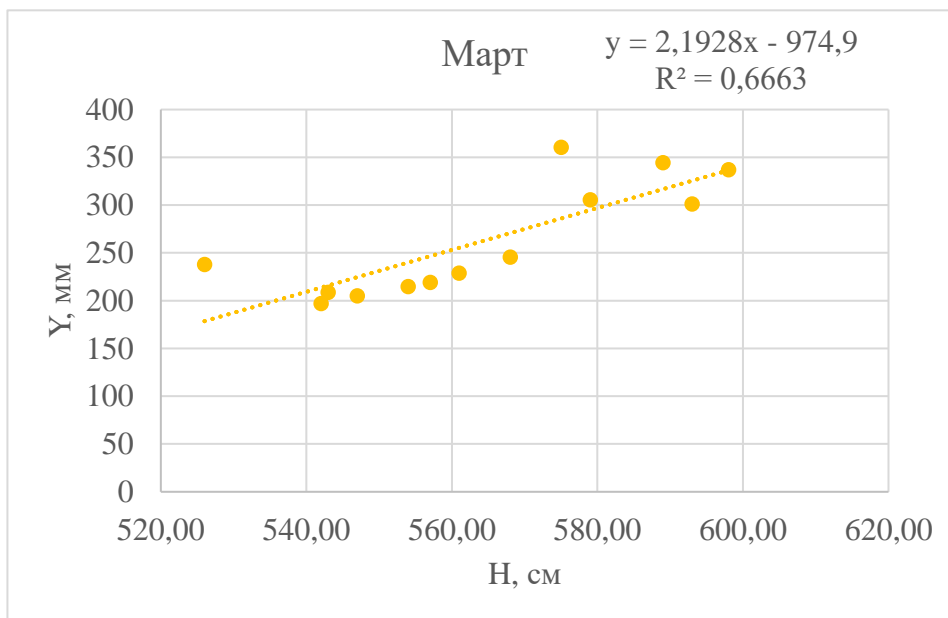


Рисунок 3.3.5 – График связи стока и наивысших уровней воды за март

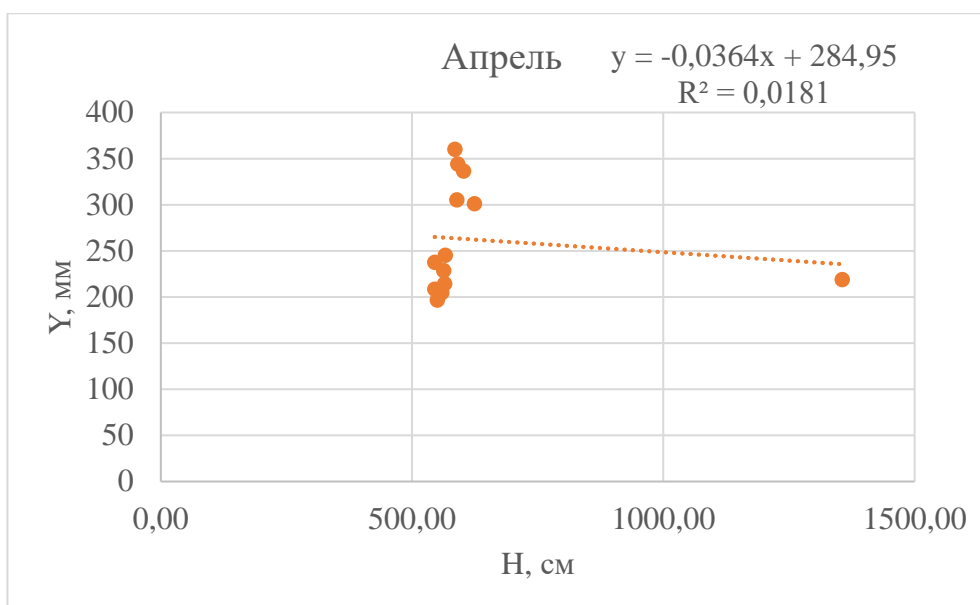


Рисунок 3.3.6 – График связи стока и наивысших уровней воды за апрель

Таблица 3.3.2 – Полученные коэффициенты корреляции со средними значениями наивысших уровней за месяц

Год	$\overline{H_H}$, см		
	Февраль	Март	Апрель
2008	582,00	598,00	602,00
2009	573,00	554,00	565,00
2010	525,00	526,00	545,00
2011	560,00	557,00	1356,00
2012	573,00	568,00	566,00
2013	546,00	542,00	550,00
1961	558,00	575,00	585,00
1963	580,00	589,00	591,00
1966	554,00	543,00	545,00
1967	582,00	593,00	624,00
1968	581,00	579,00	589,00
1969	568,00	561,00	563,00
1970	549,00	547,00	559,00
	R		
	0,529	0,816	0,135

В случае с наивысшими уровнями, лучше всего из всех трех месяцев со слоем стока также коррелируют уровни в марте, наименьшее значение коэффициента корреляции вновь наблюдается в апреле месяце.

Со всеми собранными метеорологическими характеристиками: осадками, температурой и влажностью воздуха, средними и максимальными значениями высоты снежного покрова, продолжительностью солнечного сияния, температурой почвы на глубинах 0,2 и 0,4 метра также были построены графики связи и получены коэффициенты корреляции.

Более подробно построенные графики связи, полученные коэффициенты и метеорологические данные представлены в приложении.

3.4 Матрица корреляции

Следующая ступень после построения графиков связи с линейным трендом – построение матрицы корреляций. Матрица корреляций представляет из себя таблицу, где заголовки строк и столбцов являются обрабатываемыми переменными, а на пересечении строк и столбцов выводятся коэффициенты корреляции для соответствующей пары признаков.

Корреляционная матрица рассчитывается для нахождения наиболее прочных связей между всеми исследуемыми гидрологическими и метеорологическими данными за февраль, март и апрель со слоем стока за половодье.

Для начала были структурированы все используемые данные за февраль, март и апрель вместе со слоем стока. Далее мы используем пакет анализа данных Microsoft Excel, выбираем корреляцию как инструмент анализа. В качестве входного интервала выбираем все имеющиеся значения таблицы. Таким образом мы проверяем все рассчитанные коэффициенты корреляции.

Полученная корреляционная матрица и все используемые данные приведены в приложении.

Построив матрицу корреляции нам необходимо выбрать самые лучшие корреляции со слоем стока. По итогам анализа полученных данных, были выбраны следующие коэффициенты корреляции, представленные ниже:

Таблица 3.4.1 – Таблица лучших корреляций со слоем стока

Предиктор	Месяц	R
Осадки	Апрель	-0,180
Температура воздуха	Март	0,533
Влажность воздуха	Март	0,640
Средняя высота снежного покрова	Март	0,623
Максимальная высота снежного покрова	Апрель	0,657
Продолжительность солнечного сияния	Февраль	-0,564
Температура почв на глубине 0,2 метра	Март	0,826
Температура почв на глубине 0,4 метра	Март	0,797
Средние уровни воды	Март	0,788
Наивысшие уровни воды	Март	0,816

Остальные данные не вошли в промежуточную таблицу предикторов по причине небольшой корреляции.

Из вычисленной корреляционной матрицы и полученных значений видно, что наивысшие уровни воды в марте достаточно хорошо коррелируют со значениями слоя стока за половодье и имеют коэффициент корреляции равный 0,816. Согласно гистограммам средних уровней воды за все годы, половодье приходится на май, июнь и июль; причины высокой корреляции наивысших уровней воды в марте со слоем стока за половодье остаются неизвестными.

Для дальнейшего расчета берутся значения представленных предикторов и вычисляется регрессия.

3.5 Уравнения регрессии

Уравнение регрессии представляет собой отношение между значениями одной переменной – x и наблюдаемыми значениями другой переменной – y . Уравнение регрессии показывает то, как все параметры связываются между собой.

Бывает несколько видов регрессии, различающихся видом уравнения и количеством независимых переменных:

- Парная (или двухфакторная) регрессия
- Множественная (или многофакторная) регрессия

Самое простое уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$y = ax + b$$

Где:

a коэффициент

x первый предиктор

b свободный член

При соотношении в линейной зависимости, где один x и один y , b является пересечением с осью y .

Для построения регрессии и выяснения того, как все выбранные предикторы связаны со слоем стока за половодье воспользуемся пакетом анализа данных от Microsoft Excel. Используя анализ данных, в качестве инструмента анализа нам необходимо выбрать регрессию. При выборе данных в качестве входного интервала y выбираем слой стока за половодье (Y , мм), далее в качестве входного интервала x выбираем все данные предикторов за 13 лет.

При завершении выбора данных для анализа появляются таблицы с выводом итогов.

Таблица 3.5.1 – Таблица регрессионной статистики, полученная через пакет анализа данных Microsoft Excel

Множественный R	0,985247
R-квадрат	0,970711
Нормированный R-квадрат	0,824264
Стандартная ошибка	24,7588
Наблюдения	13

Первый показатель – коэффициент множественной регрессии. Множественный R показывает тесноту связи всех характеристик.

Таблица 3.5.2 – Таблица коэффициентов уравнения регрессии, полученная через пакет анализа данных Microsoft Excel

Y-пересечение	-393,494
Переменная X 1	-1,36046
Переменная X 2	8,584191
Переменная X 3	-3,2289
Переменная X 4	-1,25991
Переменная X 5	1,254624
Переменная X 6	0,35635
Переменная X 7	44,03616
Переменная X 8	-50,4341
Переменная X 9	-4,40884
Переменная X 10	6,215118

Примечания:

Переменная X 1 – Осадки (мм) за апрель

Переменная X 2 – Температура воздуха (°C) за март

Переменная X 3 – Влажность воздуха (%) за март

Переменная X 4 – Средняя высота снежного покрова (см) за март

Переменная X 5 – Максимальная высота снежного покрова (см) за апрель

Переменная X 6 – Продолжительность солнечного сияния (дни) за февраль

Переменная X 7 – Температура почв на глубине 0,2 (м) за март

Переменная X 8 – Температура почв на глубине 0,4 (м) за март

Переменная X 9 – Средние уровни воды (см) за март

Переменная X 10 – Наивысшие уровни воды (см) за март

Таким образом, уравнение регрессии будет иметь следующий вид:

$$Y = -1,36046 * X1 + 8,584191 * X2 + (-3,2289 * X3) + (-1,25991 * X4) \\ + 1,254624 * X5 + 0,35635 * X6 + 44,03616 * X7 + (-50,4341 * X8) \\ + (-4,40884 * X9) + 6,215118 * X10 + (-393,494)$$

По этому уравнению Microsoft Excel также посчитал и вывел таблицу со следующими значениями:

Таблица 3.5.3 – Вывод остатка и рассчитанных (предсказанных) значений слоя стока за половодье

			,
1	331,7948	5,045389	
2	201,8193	12,85078	
3	220,0211	17,86576	
4	237,5738	-18,6539	
5	240,9404	4,606698	
6	199,0812	-2,19753	
7	365,8789	-5,53332	
8	338,9788	5,314434	
9	224,3016	-15,5865	
10	302,107	-0,94451	
11	302,3667	3,019353	
12	234,315	-5,505	
13	205,1141	-0,28161	

Далее был построен график для сравнения рассчитанных и фактических значений слоя стока половодья за 13 лет.

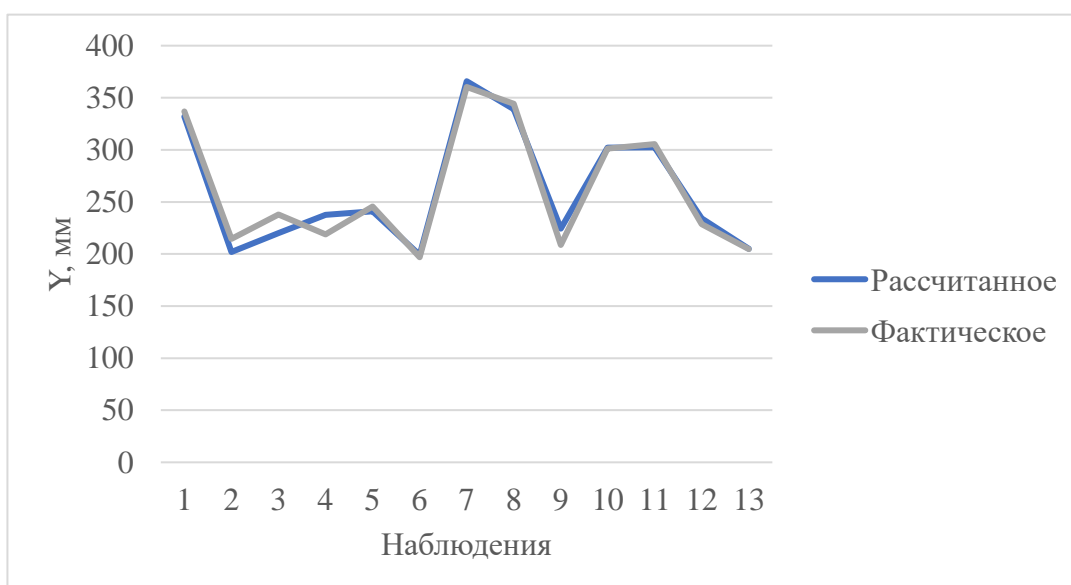


Рисунок 3.5.1 – График соотношения фактических и рассчитанных значений слоя стока за половодье по 10 предикторам

Проанализировав полученные значения множественного коэффициента регрессии, значения рассчитанного слоя стока за половодье в соотношении с фактическими данными, можно сделать вывод, что отклонение рассчитанных значений слоя стока вышло минимальным от фактических значений, множественный коэффициент регрессии достаточно высокий.

3.6 Фоновые прогнозы

Дальнейшая задача работы заключается в том, чтобы дать фоновый прогноз на последние три года – 2014, 2015 и 2016. Ранее нами было разработано уравнение регрессии за 13 лет, включающие в себя 1961, 1963, 1966-1970 и 2008-2013 годы. Теперь мы должны применить уравнение регрессии к 2014-2016 годам, используя коэффициенты регрессии за предыдущие 13 лет.

Фактическое значение слоя стока весеннего половодья для 2014-2016 годы было рассчитано нами ранее. Для дальнейшего расчета нам необходимо взять данные для последних трех лет по всем предикторам.

Таблица 3.6.1 – Таблица прогноза со всеми предикторами

Предиктор	Месяц	Год		
		2014	2015	2016
Осадки, мм	Апрель	56,3	33,9	13
Температура воздуха, °С	Март	-9,82	-13,06	-11,55
Влажность воздуха, %	Март	76	74	77
Средняя высота снежного покрова, см	Март	121,5	133,4	102,1
Максимальная высота снежного покрова, см	Апрель	110,3	143,1	98,1
Продолжительность солнечного сияния	Февраль	93	46	69
Температура на глубине 0,2, м	Март	-1,65	-1,31	-3,20
Температура на глубине 0,4, м	Март	-0,84	-0,83	-2,46
Средние уровни воды, см	Март	556	598	518
Наивысшие уровни воды, см	Март	562	602	521
Слой стока				
Фактическое значение		443,09	282,59	218,63
Прогнозируемое значение		229,9	326,21	197,70
Погрешность, %		48,10	-15,44	9,57

Используя уравнение регрессии для прогноза весеннего слоя стока по данным 10 предикторов за 2014, 2015 и 2016 года и сравнив полученные

значения с фактическими, мы получили следующие ошибки, или же погрешности – 48,10%; -15,44%; 9,57% соответственно. Проанализировав полученные погрешности, мы можем сделать вывод, что прогнозное значение за 2015 год больше фактического, отсюда и отрицательная ошибка. Погрешность за 2016 год меньше 10-15%, что, по сути, является нормой. Погрешность за 2014 год довольно высока – 48,10%.

Для совершения прогнозов – 10 предикторов — это слишком большое количество. Обычно для статистики и прогнозирования используется от 3 до 4 переменных. Следовательно, встает задача – какие предикторы коррелируют меньше всего и какие из них мы можем убрать из расчетов? По полученным ранее коэффициентам корреляции за 13 лет мы можем сделать вывод, что практически каждый из 10 предикторов имеет очень хорошую связь между всеми характеристиками.

Для выявления самых лучших корреляций проводились расчеты регрессии, где каждый раз отсеивался один из используемых ранее предикторов. Ниже представлены все полученные погрешности.

Таблица 3.6.2 – Таблица погрешностей без определенных предикторов в процентах

Предиктор	Год		
	2014	2015	2016
	Погрешность, %		
Со всеми предикторами	48,10	-15,44	9,57
Без осадков	34,65	-7,92	-8,78
Без температуры воздуха	40,22	-6,03	2,89
Без влажности воздуха	42,83	-16,89	-18,61
Без средней высоты снежного покрова	49,96	-12,28	27,54
Без максимальной высоты снежного покрова	50,20	-12,50	26,72
Без продолжительности солнечного сияния	47,68	-16,51	-10,09
Без температуры на глубине 0,2	45,15	-20,63	-19,61
Без температуры на глубине 0,4	44,12	-19,61	-17,22
Без средних уровней воды	49,51	-22,69	0,96
Без наивысших уровней воды	46,34	-24,56	-18,64
Без всех уровней	41,17	-23,18	-41,17

Проанализировав полученные погрешности, можем сделать вывод, что однозначно мы должны оставить наивысшие значения уровней воды, влажности воздуха и максимальные высоты снежного покрова. Попробовав сделать прогноз по трем предикторам, также возьмем к расчетам варианты с четырьмя предикторами, добавив отдельно продолжительность солнечного сияния, температуру на глубине 0,2 метров, а также средние высоты снежного покрова. Рассмотрим какой из трех дополнительных предикторов даст лучшие результаты.

Проведя отсеивание данных за 13 лет и рассчитав коэффициенты регрессии и значения слоя стока половодья для трех предикторов (наивысших уровней, максимальных высот снежного покрова, влажности воздуха) мы вновь делаем прогнозы для последних трех лет и вычисляем погрешность.

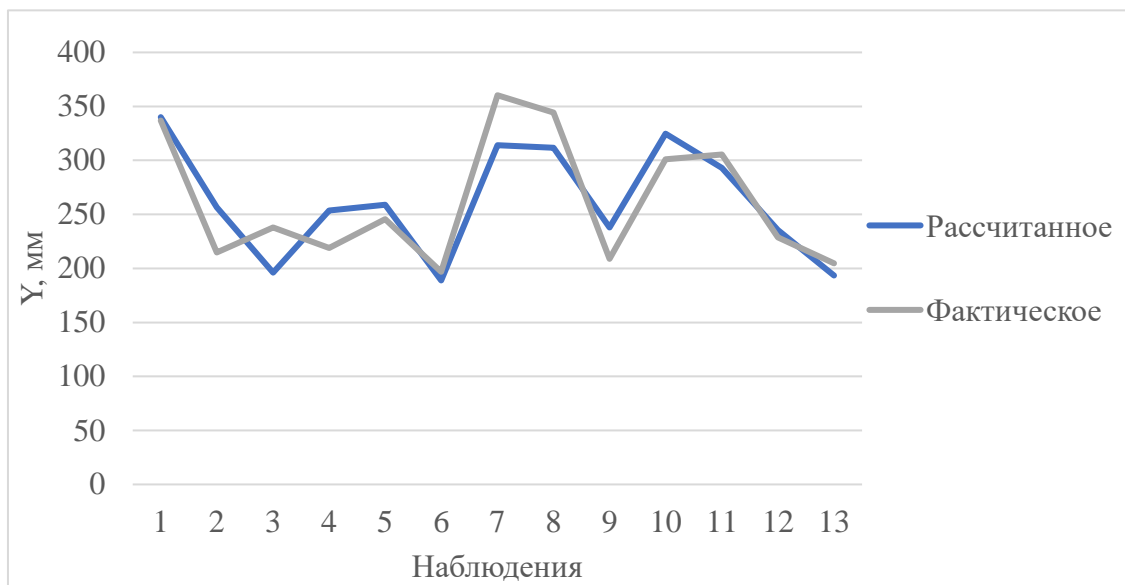


Рисунок 3.6.1 – График соотношения фактических и рассчитанных значений слоя стока за половодье по трем предикторам за 13 лет

Проанализировав график соотношения фактических и рассчитанных значений слоя стока за половодье, можем сделать вывод, что погрешность между фактическими и рассчитанными значениями по трем предикторам выше, чем по десяти.

Ниже представлены прогнозируемые результаты слоя стока с погрешностями по трем предикторам за 2014, 2015, 2016 годы.

Таблица 3.6.3 – Таблица прогноза по трем предикторам

Предиктор	Месяц	Год		
		2014	2015	2016
Наивысшие уровни воды, см	Март	562	602	521
Максимальная высота снежного покрова, см	Апрель	110,3	143,1	98,1
Влажность воздуха, %	Март	76	74	77
Слой стока				
Фактическое значение		443,09	282,59	218,63
Прогнозируемое значение		313,50	357,07	284,19
Погрешность, %		29,25	-26,36	-29,99

По сравнению с погрешностью за десять предикторов, ошибка за 2014 год стала меньше на 18,85%, за 2015 увеличилась на 10,92%, в 2016 году же она уменьшилась на 20,42%.

Расчеты повторялись для каждого четвертого предиктора отдельно по такому же образцу, сводная таблица всех полученных погрешностей приведена ниже.

Таблица 3.6.4 – Таблица погрешностей с 3 и 4 предикторами

Предиктор	Год		
	2014	2015	2016
	Погрешность, %		
По трем предикторам	29,25	-26,36	-29,99
По трем предикторам + Продолжительность солнечного сияния	29,59	-24,59	-39,67
По трем предикторам + Температура на глубине 0,2 м	26,61	-19,08	-41,76
По трем предикторам + Средняя высота снежного покрова	29,40	-27,66	-33,86

Построим сравнительный график всех полученных значений слоя стока половодья, как фактических, так и рассчитанных.

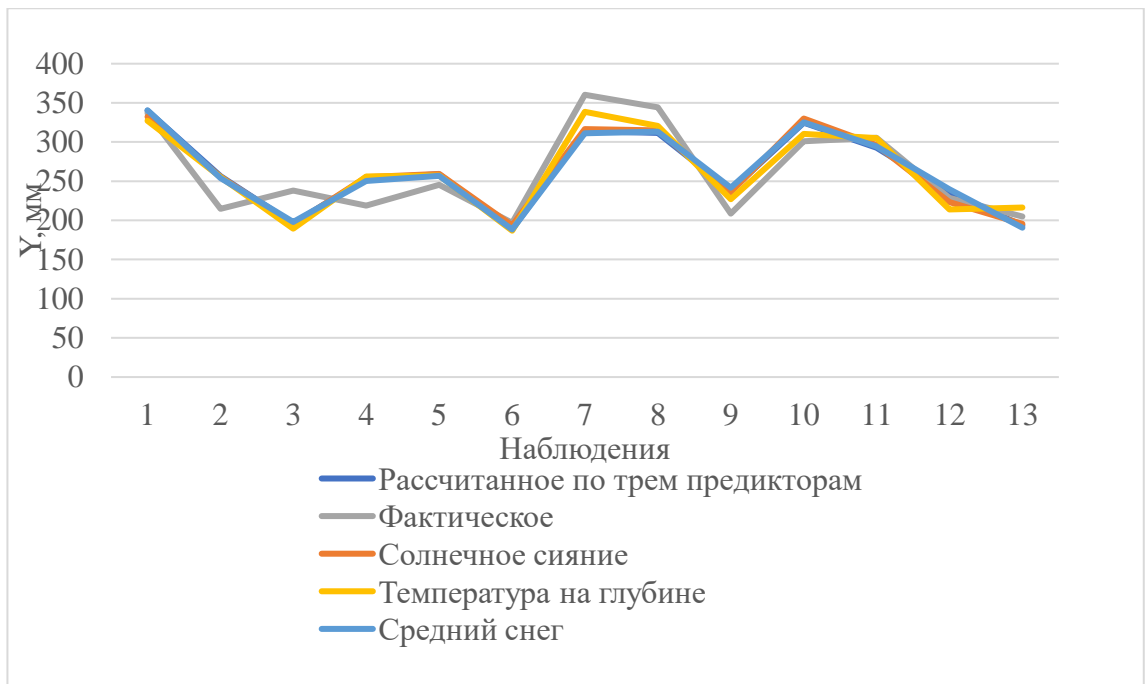


Рисунок 3.6.2 – График соотношения фактических и прогнозируемых значений слоя стока за половодье по трем предикторам за 13 лет

Уменьшив количество предикторов до необходимого минимума и получив все необходимые значения, построим гистограмму полученных ошибок и выберем самые лучшие варианты прогноза.

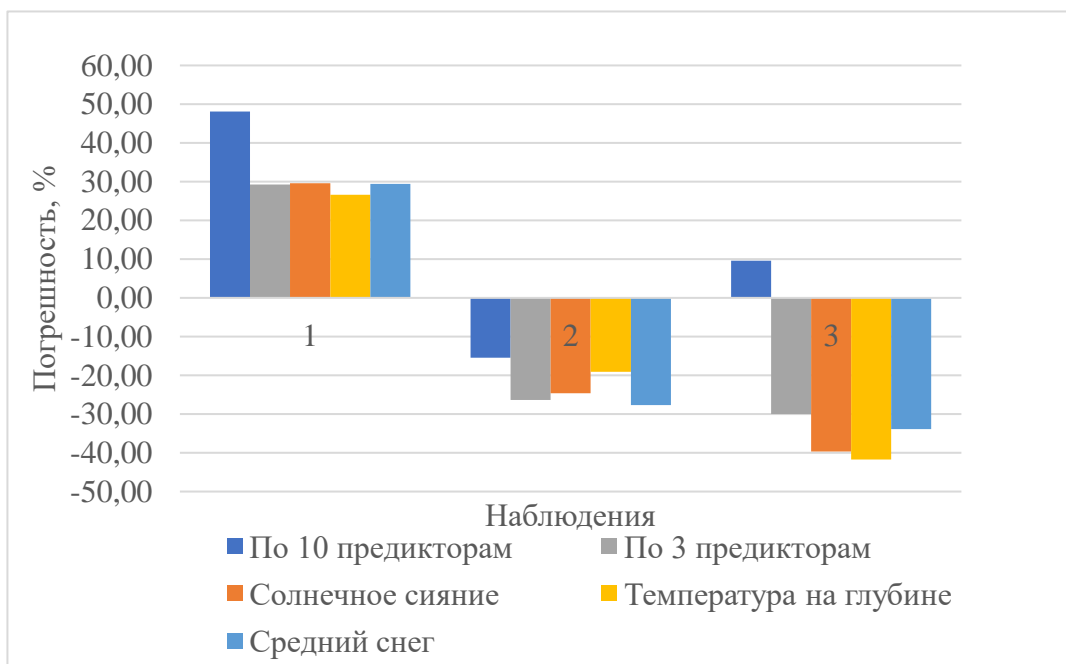


Рисунок 3.6.2 – Гистограмма ошибок прогнозируемых значений

Проанализировав все полученные значения прогнозов, можем сделать вывод, что самые погрешности при прогнозировании получились по трем предикторам:

- Наивысшим уровням воды
- Максимальным снегозапасам
- Влажности воздуха

А также при добавлении четвертого предиктора – температуры на глубине 0,2 метра погрешности меньше.

Заключение

В ходе проведенного исследования были решены следующие задачи:

- Изучены физико-географические характеристики как Арктической зоны Российской Федерации, так и исследуемой реки Турухан в Красноярской области;
- Описана гидрографическая сеть водосбора;
- Подготовлена база гидрометеорологических данных за 16 лет;
- Получены регрессионные зависимости между слоем стока весеннего половодья и всеми метеорологическими и гидрологическими факторами;
- Выбраны наилучшие предикторы для проведения прогнозов

В настоящее время долгосрочные гидрологические прогнозы представляют большой интерес, так как невозможно предугадать без специализированных знаний появление в том или ином регионе опасного гидрологического явления. Особенно важно иметь подробную специализированную информацию в экономически важных регионах, которые с каждым годом нуждаются все в большем количестве исследований.

В частности, такими регионами являются регионы Арктической зоны Российской Федерации, где уже довольно длительное время наблюдаются климатические изменения. Следовательно, в таких регионах необходимо усилить гидрологический контроль.

Список литературы

1. ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР – Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 16, Выпуск 1. Ангаро-Енисейский район, Енисей. Под редакцией канд. геогр. наук А.П. Муранова –ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, Ленинград, 1973
2. Гидрологические прогнозы – Ю. М. Георгиевский, С. В. Шаночкин. – Санкт-Петербург, 2007
3. Краткосрочные прогнозы речного стока – Ю. М. Алехин – ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО, Ленинград, 1956
4. Об Арктической зоне Российской Федерации – Л. В. Ларченко – 2019
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-arkticheskoy-zone-rossiyskoy-federatsii/viewer>
Дата обращения: 20.05.22
5. Минприроды России: Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году» – проект – Сентябрь 2021
URL: <https://nangs.org/analytics/minprirody-rossii-gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchej-sredy-rossijskoj-federatsii-v-2020-godu-proekt-sentyabr-2021-pdf>
Дата обращения: 10.05.22
6. Демографическое развитие городов Арктической зоны Российской федерации. – А. Л. Сеница, 2016
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/demograficheskoe-razvitie-gorodov-arkticheskoy-zony-rossiyskoy-federatsii/viewer>
Дата обращения: 4.06. 22
7. Стратегия Китая по освоению Арктики и перспективы российско-китайского сотрудничества в регионе – В. Е. Петровский, Л. В. Филиппова, 2018
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-kitaya-po-osvoeniyu-arktiki-i-perspektivy-rossiysko-kitayskogo-sotrudnichestva-v-regione/viewer>
Дата обращения: 4.06. 22
8. Китайская инициатива Ледяной Шелковый Путь. Китайское экономическое присутствие в Арктической зоне Российской Федерации.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kitayskaya-initsiativa-ledyanoy-shelkovyy-put-kitayskoe-ekonomicheskoe-prisutstvie-v-arkticheskoy-zone-rossiyskoy-federatsii/viewer>
Дата обращения: 3.06. 22

9. Клуб рыбака – все о рыбалке. Поход по Турухану. 1967 г.
URL: <https://www.fishing.ru/articles/view/308/>
Дата обращения: 3.06.22
10. Китайские драконы, американские «понты» и Русская Арктика. Школа Аналитики, 2020
URL: <https://analitikishkola.ru/stati/russia-arctic-china-usa/>
Дата обращения: 15.05.22
11. “ ” , 2019
URL: https://www.ciis.org.cn/yjcg/xslw/202007/t20200710_1036.html
Дата обращения: 15.05.22
12. РУКОВОДСТВО ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ –
Ленинград, Гидрометеиздат – 1989 г.
13. Гидрометеорологическая обсерватория Туруханск
URL: <http://meteo.krasnoyarsk.ru/pages/np/kray/turuhansk/turuhansk.htm>
Дата обращения: 16.06.22