



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 Долгосрочное прогнозирование
стока рек в экономически важных регионах Арктики

Исполнитель Першин Денис Сергеевич
(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

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

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

« 06 » 06 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. КЛИМАТ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	4
1.1 Рельеф	5
1.2 Геологическое строение и полезные ископаемые	6
1.3 Климат.....	8
1.4 Морские воды и льды.....	10
1.5 Ледники и мерзлота.....	11
1.6 Внутренние воды.....	13
1.7 Почвы	14
1.8 Растительность и животный мир	15
Глава 2. ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОКА РЕК	16
2.1 Методика долгосрочного прогнозирования стока рек физико-статистическим водобалансовым методом.	19
2.2 Методика долгосрочного прогнозирования стока рек статистическим методом.....	21
Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ	23
3.1 Физико-географическая характеристика изучаемого района местности	25
3.1.1 Географическое положение	25
3.1.2 Рельеф и геологическое строение.....	28
3.1.3 Общие сведения о почвенном покрове	31
3.1.4 Промерзание и оттаивание грунта.....	32
3.1.5 Климатическая характеристика	33
Глава 4. АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	58
Список использованной литературы.....	60

ВВЕДЕНИЕ

Арктика и Арктическая зона в настоящее время представляют одну из важнейших стратегически и экономически важных зон развития на ближайшие десятилетия. Уже сейчас в арктической зоне полным ходом идет устойчивое развитие многих важных направлений таких как: нефтегазодобывающая отрасль, горнодобывающая отрасль. На Севере России вырабатывается 20% электроэнергии, также там содержится большой запас лесных, водных ресурсов.

Крайний север довольно широко развит в транспортной инфраструктуре, густая сеть магистральных транспортных коммуникаций, международные авиалинии, морской и железнодорожный транспорт. Особая роль тут отведена главной транспортной магистрали крайнего севера – Северный морской путь – кратчайший морской путь между Западом и Востоком. Также, идет плановое развитие другим отраслям, таким как туристическая.

Однако на развитие инфраструктуры Арктической зоны очень сильное влияние оказывает климатические условия, которые в данном регионе довольно сложные. Зона распространения многолетнемерзлых грунтов, опасные гидрометеорологические явления и сложные климатические условия оказывают существенное влияние на дальнейшее устойчивое развитие данного региона.

Цель исследования заключается в оценке долгосрочных прогнозов в экономически важных районах Арктики в перспективе изменения климата и климатических характеристик на территории Арктической зоны.

Для достижения цели решаются следующие **задачи**:

- Определение корреляционной зависимости метеостанций и гидрологических постов;
- Построение аналитических гистограмм гидрологических и метеорологических характеристик;
- Выполнение расчетов с учетом отклонения климатических характеристик в связи с влиянием арктической климатической зоны;
- Прогноз стока с дальнейшим выявлением аномальных факторов, влияющих на климатические характеристики, используемые в расчете.

Глава 1. КЛИМАТ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Арктика – единый физико-географический район Земли, примыкающий к Северному полюсу в составе которого острова Северного Ледовитого океана, часть Америки и Евразии(кроме прибрежных островов Норвегии), в том числе прилегающие части Атлантического и Тихого океанов. А южная граница Арктики, совпадает с границей тундры. (Статья “Арктика” из БЭС)[1]

Почему в настоящее время особое внимание уделяется Арктическому сектору?

Арктический сектор, в настоящее время очень перспективный регион России, в первую очередь, конечно, это ресурсы Арктики, которые до этого не осваивались в полной мере.

Один из самых важных природных ресурсов в последнее время это – углеводороды. Помимо них в Арктическом секторе также добывают:

нефть, природный газ.

По мере истощения более близких и доступных месторождений, началось освоение их в Арктическом секторе. В настоящее время известно, что в более 2/3 углеводородных ресурсов расположены именно в Арктике.

Также в этом регионе идет добыча газо- и нефте- конденсата – природный материал, смесь использующаяся в производстве различных видов пластмасс, каучуков, в том числе различных видов топлива.

И это только небольшая часть известных месторождений откуда ведется добыча углеводородов.

Также, в недровых запасах Арктической зоны залегает огромное количество других ресурсов:

драгоценные, редкоземельные и цветные металлы, такие как никель, золото, медь, вольфрам, уран, палладий, платина, молибден и др. Также здесь добывают огромное количество алмазов, другие драгоценные камни, уголь, гипс и т.д.

1.1 Рельеф

Арктической часть Евразии в целом имеет равнинный рельеф. Преобладают низменные окраины Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин, Северо-Сибирской, Яно-Индибирской и Колымской низменностей. Гор сравнительно немного. Наиболее значительны: Верхоянский хребет (высота до 2283 м, гора Орулган), Чукотское нагорье (высота до 1887 м, гора Исходная), Полярный Урал (1472 м, гора Пайер) и горы Бырранга (высшая точка 1125 м). В рельефе арктической части Северной Америки распространены холмистые плоскогорья и плато (Арктическое плато и др.) высота 400–700 м. Высшая точка А. – гора Гунбьёрн (3700 м) – находится на востоке остров Гренландия. Горы на острове Элсмир достигают высота 2926 м, на острове Баффинова Земля – 2134 м, на острове Девон – 1920 м. Почти повсеместны проявления солифлюкции, пучения грунтов и термокарста. С морозным выветриванием связаны грубые щебнистые россыпи на больших территориях. Основная 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, Сев. Земля, Новосибирские о-ва, Канадский Арктический архипелаг). В глубоководной части Северного Ледовитого океана по-другому Арктический бассейн, находятся глубоководные котловины (в т. ч. самая глубокая – до 5449 м, Нансена котловина), подводные хребты (Ломоносова, Гаккеля и Альфа) и поднятия (Менделеева).[1]

1.2 Геологическое строение и полезные ископаемые

На территории арктической зоны суши входят такие области древних платформ как Восточно-Европейская, Сибирская, Северо-Американская, а разделяют их подвижные пояса такие как Урало-Охотский, Тихоокеанский, Северо-Атлантический. Некоторые исследователи также выделяют на территории Арктики Арктический подвижный пояс. Фундамент древних платформ, выходящий на поверхность в пределах кристаллических щитов (Балтийского, Канадского), сложен раннедокембрийскими интенсивно деформированными, глубоко метаморфизованными и гранитизированными породами; перекрыт чехлом осадков позднего протерозоя – фанерозоя. Подвижные пояса также включают разновозрастные складчатые системы. Структуры поясов частично перекрыты фанерозойским осадочным чехлом молодых платформ (Баренцево-Печорской, Западно-Сибирской). К древнеплатформенным областям относятся северные части Восточно-Европейской, Сибирской и Северо-Американской платформ. Более молодыми платформами с позднедокембрийским и палеозойским фундаментом являются Гиперборейская (Арктида), Баренцево-Печорская и Западно-Сибирская. Среди древних складчатых сооружений выделяются: байкалиды Тиманского кряжа, п-ова Рыбачий и Канин; каледониды Скандинавии, восточной и северной Гренландии, западного Шпицбергена; герциниды Канадского Арктического архипелага (Иннуитская складчатая система). К более молодым складчатым сооружениям относятся Пайхойско-Новоземельская, Таймырская, Новосибирско-Чукотская и Северо-Аляскинская системы мезозойского возраста. Также структурные элементы суши имеют продолжение и на дне шельфовых морей, принадлежащих пассивной окраине Северного Ледовитого океана, и за пределами шельфа в подводных хребтах Ломоносова и Альфа, в поднятии Менделеева. Из Атлантического океана в пределы Арктики тянется срединно-океанический хребет Гаккеля, в осевой части которого происходит

спрединг (раздвиг) дна и формирование молодой океанической коры со скоростью, не превышающей 2 см в год.[1]

Арктический сегмент Земли представляет собой осадочный супербассейн, содержащий колоссальные запасы нефти и горючего газа, оцениваемые в диапазоне от 100 до 150 млрд. т. условного топлива, в т. ч. на арктическом шельфе России около 90 млрд. т. Сейчас ведется разработка месторождений крупной нефтегазоносной провинции на западно-арктическом шельфе. [1]

В декабре 2013 на Приразломном месторождении в Печорском море была добыта первая нефть на российском арктическом шельфе.

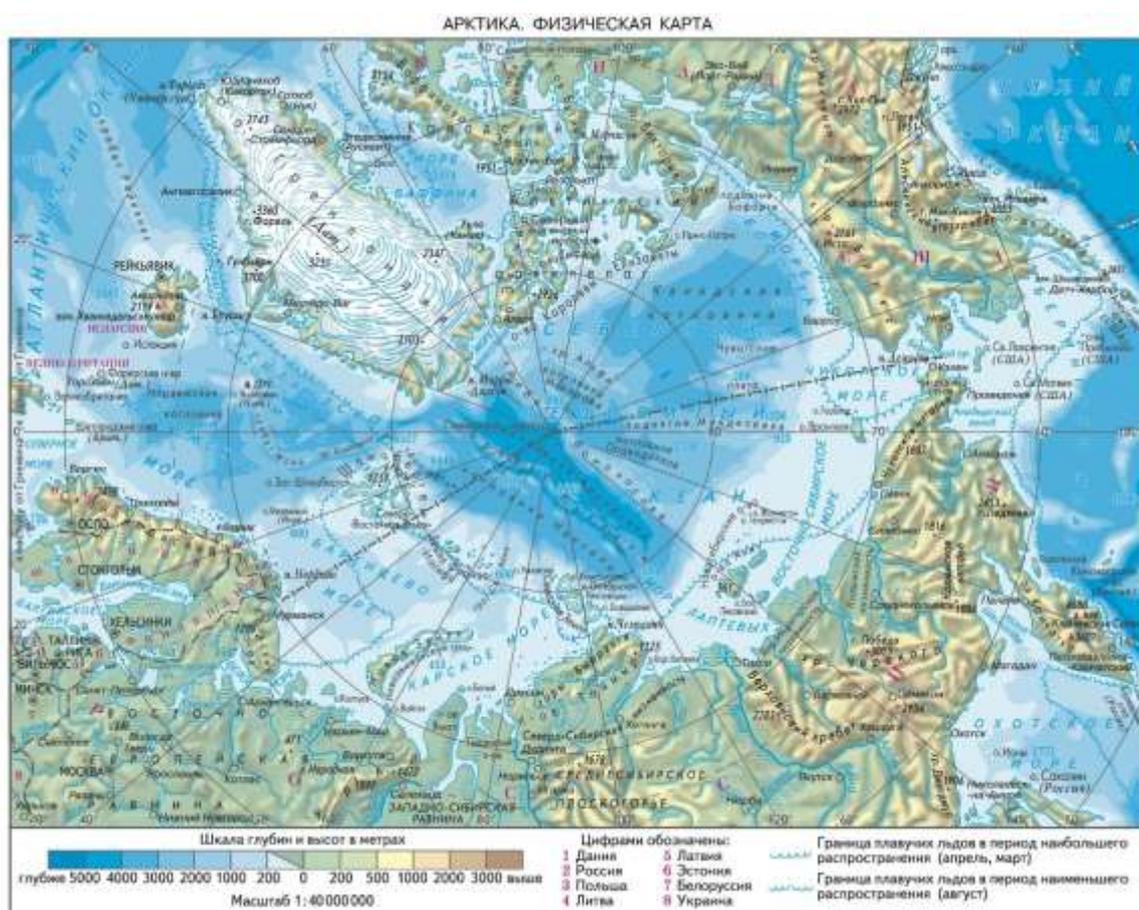


Рисунок 1 – Рельеф арктической зоны Российской Федерации [1]

1.3 Климат

В арктическом поясе господствует арктический климат. Большую часть года преобладают низкие температуры, это обусловлено значительными расходами тепла на таяние льда и снега и интенсивным выхолаживанием зимой. Из-за длительности полярного дня и ночи солнечная радиация поступает крайне неравномерно. Радиационный баланс на юге Арктики положительный (420–630 МДж/м² в год, или 10–15 ккал/см² в год), но в 2–3 раза меньше, чем в умеренных широтах; в Арктическом бассейне отрицательный (потеря тепла 85–125 МДж/м² в год, или 2–3 ккал/см² в год), что компенсируется притоком тёплых воздушных и водных масс. Зимой интенсивна циклоническая деятельность. Наиболее высокие температуры воздуха, связаны с деятельностью северных циклонов и переносом влаги и тепла с Атлантического и реже с Тихого океанов. С этим же связана облачность и большое количество осадков, резкие смены погоды и частые сильные (ураганные) ветры. Антициклоническая циркуляция развивается зимой главным образом над Сибирским, Канадским и Гренландским районами Арктики, где преобладают действия Арктического антициклона, приносящего наиболее низкие температуры воздуха, небольшую облачность, незначительное количество осадков и слабые или умеренные ветры. Летом характер атмосферной циркуляции противоположен зимнему, однако такое воздействие невелико (по сравнению с зимой). Климат Арктики тесно связан с влиянием тёплого Северо-Атлантического течения и влиянием воздушных масс, идущих с Атлантики. Влияние Тихого океана не столько велико, так как этому препятствует не широкий и не глубокий Берингов пролив.[4]

Средняя зимняя температура воздуха в целом одинакова что на севере, что на юге, однако имеет сильную изменчивость с запада на восток: от $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ на юге приатлантического района до $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ в притихоокеанском р-не; $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ отмечаются на северо-востоке Якутии и $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в центральной части Гренландии (на Гренландском ледниковом щите до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Абсолютная влажность низкая, а относительная влажность высокая (80–90%). У побережья Евразии преобладают неустойчивые и сильные южные и юго-западные ветры; часты метели. В горах чаще всего преобладает ветер бора (скорость до 40 м/с). Средние летние температуры воздуха поднимаются от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в центральной части Арктики и в Арктическом бассейне до $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$ вблизи побережья и $6\text{--}13\text{ }^{\circ}\text{C}$ в южной части континентальных районов. В центральной части Гренландии июльские температуры не выше $-10\text{...}-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Заморозки возможны в течение всего лета: в южных районах до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в Арктическом бассейне до $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. В континентальных районах в отдельные дни температура поднимается до $25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$. В приатлантических и притихоокеанских районах выпадает до 700 мм осадков в год, а в континентальных районах – 100–250 мм. Довольно часто туманы и облачность. На побережье идет морозящий дождь, иногда с мокрым снегом. Из-за низких температур и низкой испаряемости создаётся избыточное увлажнение, особенно на низменностях, где влага застаивается из-за многолетней мерзлоты. Климат Арктики в 20 веке стал существенно меняться. С 1920-х гг. температура воздуха начала повышаться, а в 1930–40-х гг. в зимние месяцы повысилась на $5\text{--}7\text{ }^{\circ}\text{C}$; это послужило уменьшению ледовитости морей, из-за чего льды стали тоньше. Также произошло усиление тёплого Северо-Атлантического течения, повысилась температура и солёность морей. В 1950–70-е гг. наблюдалось некоторое похолодание, но с начала 1990-х гг. температура снова приобрела тенденцию к повышению в положительную сторону, это произошло прежде всего в результате глобального потепления климата. Современное потепление наблюдается во всех компонентах природной среды Арктики (криосфера, гидросфера, экосистемы).[1][4]

1.4 Морские воды и льды

В Арктический сектор входят не только части суши и пришельфовые зоны, но также и заливы, и моря Северо-Ледовитого океана. На море постоянно наблюдаются припайные и дрейфующие льды (около 14–16 млн. км² зимой и 4–8 млн. км² летом). Толщина однолетних льдов до 1,5 м, многолетних – до 3–4 м. Температура воды береговых частях арктических морей в течение года колеблется от –1,5 °С до 1,8 °С. В области дрейфующих льдов круглый год температура поверхностного слоя воды (толщиной 100–200 м) около –2 °С. Солёность поверхностного слоя воды меняется от 28% до 35%. Встречаются айсберги (ежегодно их откалывается до 18 тыс.) и ледяные острова – оторвавшиеся участки шельфовых ледников (главным образом в районе о. Элсмир). Вблизи побережья характерны торосы (высота до 15 м). Севшие на мель высокие торосы и айсберги называются стамухами. Ледяной покров существенно затрудняет судоходство; навигация возможна (как правило, в сопровождении ледоколов) лишь в течение лета. Площадь дрейфующих льдов в конце летнего сезона (сентябрь) в последние десятилетия сокращается (в 2012 – 3,6 млн. км²) вследствие потепления.[2]

1.5 Ледники и мерзлота

Общая площадь оледенения арктической суши около 2125 тыс. км², в российской Арктике 56 тыс. км². Ледники покрывают от 30–40% (Новая Земля и Северная Земля) до 83–90% (Гренландия, Шпицберген и Земля Франца-Иосифа) территории островов. Толщина ледников не превышает 700–1000 м, лишь в Гренландии достигает 3400 м. Главные районы оледенения: Гренландия (1800 тыс. км²), Канадский Арктический архипелаг (154 тыс. км²), Шпицберген (35,1 тыс. км²) и др. На островах преобладают ледниковые купола и выводные ледники, в горах – каровые и долинные. На островах Новая Земля и Шпицберген характерно полупокровное (сетчатое) оледенение. На островах Элсмир, Земля Франца-Иосифа и Северная Земля нередки небольшие шельфовые ледники.[3]

В Арктике широко распространены многолетнемерзлые породы, достигающие на северо-востоке Якутии наибольшей (до 500 м) мощности при постоянной темп-ре –10 °С и сравнительно тонком (около 70 см) слое сезонного протаивания.

На морском шельфе также встречаются многолетнемерзлые толщи мощностью до 50 м. В притихоокеанских и приатлантических секторах многолетняя мерзлота местами островного характера. При оттаивании многолетнемерзлых пород увеличивается выделение парниковых газов.[3]

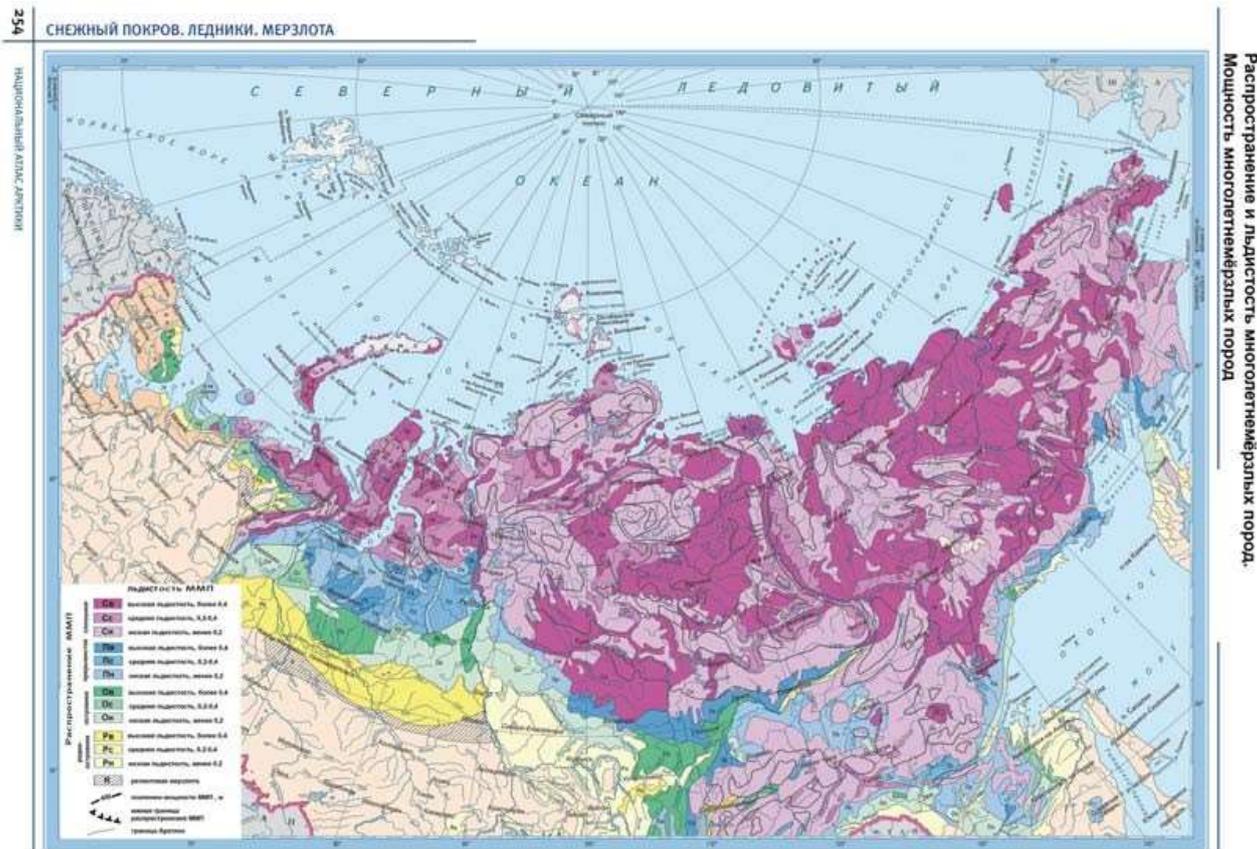


Рисунок 2 – Карта распространения, мощности и льдистости ММП криолитозоны России [Национальный атлас Арктики, 2017][5]

1.6 Внутренние воды

Низкая испаряемость предопределяет очень густую речную сеть при небольшой (10–200 км) длине местных рек. Только транзитные реки превышают длину 1000 км, относясь к Арктике лишь своими низовьями: Печора, Обь, Енисей, Пясина, Хатанга, Анабар, Лена, Индигирка, Колыма, Колвилл, Макензи и др. В низовьях эти реки протекают в широких долинах, образуя в устьях широкие заливы – губы. В речных долинах мерзлота отсутствует. Огромный сток пресных вод в арктических моря существенно сказывается на их гидрологическом и ледовом режиме. Реки замерзают на 9–10 месяце в году, некоторые промерзают до дна. На материке они вскрываются в мае – июне, замерзают в октябре; на островах соответственно в середине июля и в начале сентября. Обычна зимняя межень. На материковой суше, особенно на низменностях, много неглубоких и небольших термокарстовых озёр, большая часть года покрытых льдом. Среди наиболее крупных – Большое Медвежье озеро (30,2 тыс. км²), Большое Невольничье озеро (28,6 тыс. км²) и Таймыр (4,5 тыс. км²).[1][4]

1.7 Почвы

На островах Северного Ледовитого океана развиты преимущественно маломощные слабокислые и слабогумусированные (0,5–1,5% гумуса) арктические почвы с укороченным профилем и невыраженными генетическими горизонтами, отличающиеся мозаичным характером распространения. На материковой части Арктики и некоторых южных островах Северного Ледовитого океана преобладают кислые тундровые почвы (до 10% гумуса) с тонким торфянистым слоем и наличием мерзлотных явлений. Встречаются также гумусированные оподзоленные и глеевые дерновые почвы (4–5% гумуса).[4]

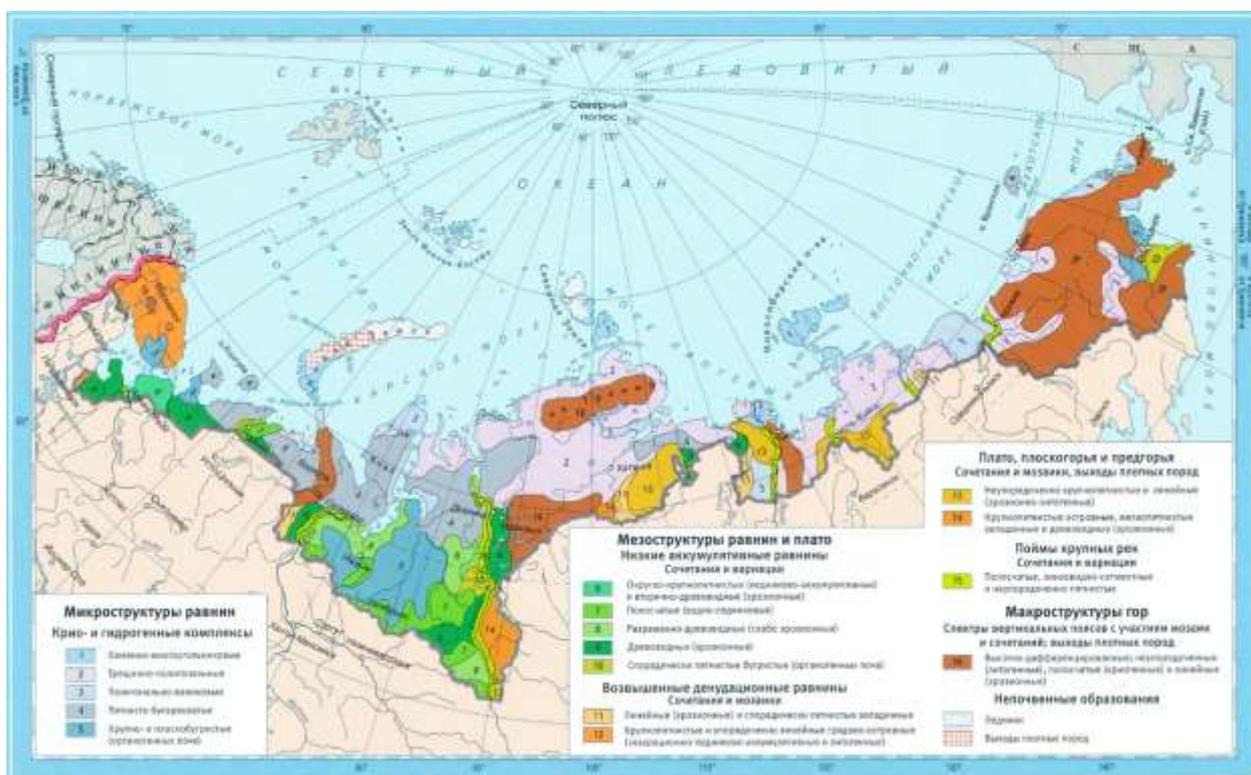


Рисунок 3 – Структура почвенного покрова Арктической зоны Российской Федерации [5]

1.8 Растительность и животный мир

В растительном покрове арктических пустынь преобладают накипные лишайники, мхи, водоросли; встречаются полярный мак, крупки, камнеломки, лисохвост альпийский и др. На юге зоны появляются карликовые формы ивы и дриада. В северной и средней подзонах тундры – разреженная мохово-лишайниковая (на северо-востоке Сибири – осоково-пушицевые и кочкарные тундры) растительность и болота, в южной подзоне – кустарниковая растительность из карликовой берёзы, полярной ивы, низкорослых кустарничков и др. В Арктике обитают песец, лемминг, белый медведь, моржи, тюлени; многочисленны стада северного оленя, основной корм которого – ягель. Летом на островах – птичьи базары (подробнее см. в статьях Голарктика и Голарктическое флористическое царство). В растительном и животном мире отмечаются изменения, обусловленные современным потеплением Арктики.[4]

Для охраны природных ландшафтов Арктике созданы заповедники и национальные парки: в России (заповедники Большой Арктический, Остров Врангеля, Кандалакшский, Усть-Ленский, Гыданский и биосферный Таймырский, национальный парк «Русская Арктика»), Дании (Гренландский нац. парк и др.), Норвегии (нац. парк Северо-Западный Шпицберген и др.), Канаде (нац. парк Ауюиттук на о. Баффинова Земля, резерваты на о. Байлот, Аулавик на о. Банкс и др.), США (на п-ове Аляска нац. парки Катмай, «Ворота Арктики», Берингия и пр.) и др. странах.[4]

Глава 2. ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОКА РЕК

Максимальные расходы и уровни весеннего половодья на равнинных реках относятся к числу тех его характеристик, прогнозы которых интересуют наиболее широкий круг потребителей.

И это вполне понятно, так как "именно высота максимального уровня половодья определяет степень опасности разлива рек и размеры наносимого ими ущерба народному хозяйству, городскому и сельскому населению. Заблаговременные (долгосрочные)' прогнозы максимальных расходов важны, в частности, для гидроэнергетики и водного хозяйства в связи с необходимостью оперативного определения оптимальных режимов регулирования стока и пропуска воды через водохранилища при большом весеннем стоке. Интерес представляют также сроки начала половодья и

прохождения его максимальных расходов и уровней, а для гидроэнергетики и водного транспорта — распределение весеннего стока во времени.

Все перечисленные характеристики весеннего стока в большой мере зависят от метеорологических особенностей весны — сроков начала и интенсивности снеготаяния, наличия перебоев в его ходе, количества и интенсивности весенних осадков. При выпуске долгосрочных прогнозов все эти условия пока не могут быть уверенно учтены из-за отсутствия надлежащих метеорологических прогнозов. По этой причине методика прогнозов характеристик весеннего стока остается сугубо приближенной и основывается практически на использовании простейших эмпирических (корреляционных) связей, обусловленных чисто гидрологическими закономерностями, и реально возможных в данное время метеорологических прогнозов.

Как следует из линейной модели формирования гидрографа половодья максимальный расход половодья на многих достаточно крупных реках довольно тесно связан с объёмом стока: чем больше объём стока за половодье, тем больше его максимальный расход и выше максимальный уровень. Таким образом, обе

эти характеристики зависят в определенной мере от тех же факторов, от которых зависит и объем весеннего стока. Однако большое влияние на формирование гидрографа половодья метеорологических условий весны и большая изменчивость этих условий от года к году вносят слишком большую неопределенность в эту зависимость, при которой теряется практическая возможность ее непосредственного использования для целей долгосрочных прогнозов. В наибольшей мере это относится к прогнозам максимального уровня половодья, на высоте которого сильно сказываются, кроме того, и заторы льда, образующиеся при вскрытии рек. По этим причинам практически более реальным является использование для прогнозов простейших эмпирических зависимостей максимального расхода половодья от объема последнего, устанавливаемых отдельно для каждого интересующего речного бассейна.

Что касается таких характеристик половодья, как даты его начала и прохождения максимального расхода или уровня, то они в значительной мере связаны с размерами речного бассейна, его залесенностью и заболоченностью. В среднем в той или иной географической зоне эти даты определяются климатом, а в каждом отдельном году условиями метеорологическими условиями. Прогнозы этих характеристик практически основаны на корреляционных зависимостях от сроков начала снеготаяния и дружности последнего и возможны лишь при использовании долгосрочного метеорологического прогноза сроков окончательного перехода температуры воздуха через 0°C к положительным значениям. Этот прогноз только и может служить исходным аргументом при выпуске гидрологического прогноза.

Поэтому гидрология не располагает пока достаточно точными способами (моделями) расчета гидрографов тало-дождевого стока даже для относительно небольших бассейнов, не говоря уже о прогнозах расходов и уровней воды большой заблаговременности, для которых, как говорилось, необходим детализированный во времени долгосрочный метеорологический прогноз.

Реально методика таких прогнозов может основываться пока только на прогнозах суммарного притока воды за II квартал и статистической оценке его

распределения по декадам или месяцам с учетом таких элементов сезонных и месячных прогнозов погоды, как аномалия температуры воздуха и сроки устойчивого ее перехода через 0 °С. Статистическая оценка, распределения стока во времени должна выполняться, естественно, на материалах гидрометрических наблюдений за прошлые годы путем типизации гидрографов стока или притока воды в водохранилища и озера по таким признакам, как раннее и позднее начало половодья, дружность весны, аномалия температуры воздуха, многоводность и маловодность половодья с соответствующим "осреднением относительного распределения стока и оценкой повторяемости различных типов этого распределения. Понятно, что этот трудоемкий поисковый анализ не лишен субъективизма, о чем необходимо помнить при его выполнении и соблюдать все требования в отношении объективности определения статистических характеристик.[7]

2.1 Методика долгосрочного прогнозирования стока рек физико-статистическим водобалансовым методом.

Этот метод базируется на условии водного баланса речного бассейна за период половодья, но в принципе отличается тем, что в основу расчета водопоглощения (потерь) и стока положена определенная теоретическая модель. Такая модель позволила независимо от эмпирических данных получить интегральные уравнения стока для емкостного и инфильтрационно-емкостного типов водопоглощения, которые дают физически объективное представление об общем (нелинейном) виде зависимости стока, а значит и его потерь, от определяющих их факторов именно при данных типах водопоглощения. Эти уравнения определяют одновременно и возможность эмпирического решения задачи о прогнозе стока путем графического построения зависимостей или определения соответствующих параметров приближенных уравнений для конкретных бассейнов, пользуясь имеющимися данными многолетних гидрометеорологических наблюдений с учетом особенностей бассейнов в различных физико-географических зонах.

Водобалансовый физико-статистический метод прошел многолетнюю апробацию. Уже более 30 лет он достаточно успешно используется в оперативной практике прогнозов весеннего стока рек и притока воды в водохранилища и озера в различных географических зонах страны. Не касаясь специфики его применения в различных условиях, стоит напомнить еще раз о важном различии двух типов водопоглощения, которые могут иметь место в природе. Наиболее простой с точки зрения возможностей оценки емкостный тип водопоглощения идентичен поверхностному задержанию, поскольку просачивание воды в почву происходит в этом случае с той же интенсивностью, с какой она поступает, а сток становится возможным только с тех площадей, на которых заполнилась свободная емкость почвенных пор и емкость депрессий микрорельефа. Полностью поглощающие воду пески, например, идентичны очагам неограниченной емкости. Интенсивность поступления воды на

поверхность бассейна не может при этом оказывать влияние на водопоглощение, которое зависит только от наличия свободной емкости и величины бессточной площади при данном количестве поступившей воды. В отличие от емкостного типа водопоглощения при инфильтрационно-емкостном типе интенсивность просачивания воды меньше интенсивности ее поступления на поверхность почвы и сток формируется за счет избытка воды над просачиванием и свободной емкостью крупных некапиллярных пор почвы" и депрессий микрорельефа. В этом случае отношение интенсивности поступления воды к интенсивности ее просачивания становится важным фактором водопоглощения и стока. Другими словами, при прочих равных условиях потери и сток должны зависеть в этом случае от продолжительности или интенсивности снеготаяния. Это делает более сложным решение задачи прогнозов, поскольку в настоящее время нет еще достаточно надежных способов заблаговременной оценки ни интенсивности снеготаяния, ни интенсивности инфильтрации талой воды в мерзлую почву. В естественных речных бассейнах на разных площадях часто могут иметь место оба типа водопоглощения. В связи с этим для обоих типов водопоглощения особенно необходимо знать общий вид зависимостей стока от определяющих его факторов.[7]

2.2 Методика долгосрочного прогнозирования стока рек статистическим методом.

Корреляция — один из приемов, который получил широкое применение еще на ранней стадии развития гидрологического анализа и прогнозов. Это обуславливалось не только крайней ограниченностью данных наблюдений, но и ограниченностью знаний в отношении закономерностей формирования талого стока. Следует, однако, отметить, что объективный регрессионный анализ и корреляция сыграли большую положительную роль в изучении различных сторон формирования весеннего стока, в постановке экспериментальных воднобалансовых исследований и развитии массовых сетевых гидрометеорологических наблюдений, наконец, в развитии концепций и углублении физических представлений о сложном процессе формирования талого стока. Чисто статистические методы отнюдь не потеряли своего практического значения в прогнозах весеннего стока и в настоящее время. К ним приходится прибегать тогда, когда в силу недостатка и невысокой точности гидрометеорологических наблюдений невозможен воднобалансовый расчет. В таких случаях определенное представление о возможности прогнозов могут дать только методы регрессионного (корреляция) и дискриминантного анализа. В условиях, где влияние таких факторов как изменчивость предшествующего увлажнения и промерзания почвы относительно невелико, линейная корреляция между стоком, снегозапасами и увлажнением может давать приемлемые результаты как простейшая аппроксимация интегрального уравнения стока в диапазоне, в котором нелинейность этого уравнения слабо выражена. Что касается таких путей разработки методики территориальных прогнозов, как расчеты поля стока или регрессионные способы расчета среднего для района значения стока, то опыт их еще не так велик, чтобы уже могла идти речь о конкретных рекомендациях. Разработки этого типа требуют дальнейших исследований и опытной проверки в целях объективной оценки такого рода прогнозов, при существующей системе гидрометеорологических наблюдений. В

заклучение нельзя не отметить и попыток применения статистических методов различной степени сложности с целью разработки методики долгосрочных прогнозов сезонного и годового стока (иногда и большей заблаговременности), базирующихся в основном на двух подходах: на отыскании внутрирядной корреляции и цикличности во временных рядах стока в целях разработки методики экстраполяции для определения стока с заданной заблаговременностью или на отыскании многофакторных регрессионных связей с набором различных предикторов гидрометеорологического и иного характера, о чем уже говорилось выше. Надо сказать, что последний подход получил распространение в метеорологических разработках. В гидрологических прогнозах к этой категории поисков можно отнести попытки установления корреляционных связей между стоком и некоторыми предшествующими характеристиками атмосферной циркуляции. Опыт показывает, что на ограниченных выборках иногда удается получить формально удовлетворительные зависимости, которые, однако, часто оказываются неустойчивыми и не выдерживают испытания временем.[7]

Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ

В качестве хороших результатов для долгосрочных прогнозов в экономически важных районах Арктики стоит выбрать регион также экономически важный в дальнейших перспективах его изучения и подготовки базы данных.

В качестве такого экономически важного региона был выбран Норильский регион. В котором уже довольно давно ведется добыча полезных ископаемых.

Этом регионе достаточно широко используются водные ресурсы такие как: реки, озера и другие водоемы.

Из-за сложности поиска современных гидрологической и метеорологической информации, было принято решение опробовать методику на уже имеющихся данных с 1965-1980 гг. на реке Норильская (Норилка), рядом с которой расположен г. Норильск и для которого эта река имеет первостепенное значение в экономическом и хозяйственном плане.

В качестве расчетного гидрологического поста был выбран гидрологический пост Валек, в населенном пункте Валек.

Стоит отметить, что выбор данного гидрологического поста не случаен.

Наблюдения на ГП-1 р. Норильская – пос. Валёк (гидрологический код 09455) имеют самый длинный и практически непрерывный период наблюдений среди гидрологических 24 постов Норило-Пясинской водной системы. Данные о стоке воды этого поста характеризуют водные ресурсы 82 % водосборной площади Норило-Пясинской водной системы. Норило-Пясинская водная система находится в районе, испытывающем сильнейшую антропогенную нагрузку, обусловленную деятельностью горнометаллургической компании «Норильский никель». Водные ресурсы этого района должны быть под строжайшим контролем государства, включая контроль загрязнения и охраны поверхностных вод.[8]

В качестве расчетной метеорологической станции была выбрана метеорологическая станция Норильск, находящаяся в городе Норильск.

Общая информация по метеостанции Норильск:

- Начало наблюдений на метеостанции с 10.10.1961 г.
- Высота метеоплощадки: 60 м над уровнем моря.
- Местоположение: расположена в северо-западной части поселка Семерка, в зоне вечной мерзлоты. Местность горная. Среди холмов и гор разбросаны многочисленные озера и болота. Из окружающих станцию озер наибольшее оз. Долгое, находится в 3,5 км к юго-западу (площадь зеркала 0,9 кв. км). В 6 км к северо-востоку протекает р. Норильская шириной 600-650 м. Ближайшие горы и холмы расположены в 7 км к северо-востоку. Район расположения станции входит в зону тундры.
- Проводит наблюдения: метеорологические, аэрологические, актинометрические, теплобалансовые, за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, атмосферных осадков, снежного покрова, а также радиационный мониторинг загрязнения окружающей среды. Обеспечивает функционирование и развитие государственной системы наблюдений за гидрометеорологическими процессами и состоянием окружающей среды, а также сбора, обработки, учета хранения и распространения информации о состоянии окружающей среды, ее загрязнении на территории деятельности таймырского ЦГМС - филиала ФГБУ Р "Среднесибирское УГМСР"[9]

3.1 Физико-географическая характеристика изучаемого района местности

3.1.1 Географическое положение

Река в Красноярском крае. Длина около 60 километров, площадь бассейна около 20 тысяч квадратных километров. Протекает по Северо-Сибирской низменности на юге Таймырского полуострова. Вытекает из озера Мелкое, впадает в озеро Пясино с образованием дельты. Бассейн реки расположен выше северного полярного круга, в климатической зоне тундр и лесотундр, распространённой вечной мерзлоты.

Питание реки смешанное — снеговое и дождевое. Половодье с июня по август. Замерзает в конце сентября, вскрывается в середине июня. Выше впадения притока Рыбная река носит также название Талая. В 7 километрах на северо-восток от города Норильск на реке расположен посёлок Валёк, одноимённый аэропорт местных авиалиний. Основные притоки — реки Рыбная, Валёк. В летний период с конца июня по сентябрь Норильская судоходна, используется в рекреационных целях и в целях водного туризма к озёрам Пясино, Мелкое и к большим озёрам на плато Путорана — Лама, Глубокое, Собачье, Накомьякен и Кета. На реке действуют речные трамваи. Близость к Норильскому комбинату приводит к экологическому загрязнению реки и озера Пясино.

Основные притоки:

- Рыбная
- Валек

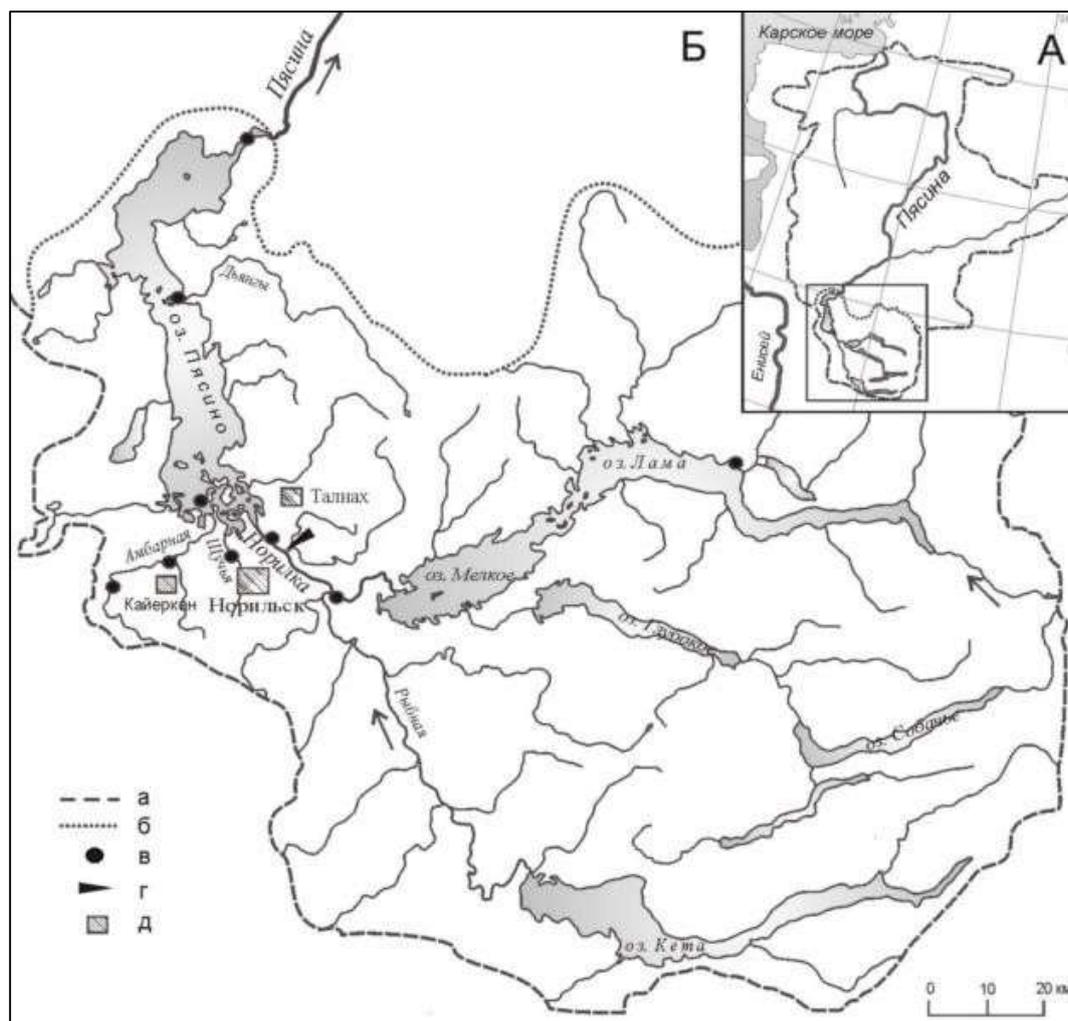


Рисунок 4 – Водосборный бассейн р. Пясина (А) и Норило-Пясинской системы (Б) Примечание – а, б – границы водосборных бассейнов реки Пясина и Норило-Пясинской водной системы; в – пункты гидрохимических наблюдений; г – опорный гидрологический пост р. Норильская (пос. Валек); д – населенные пункты

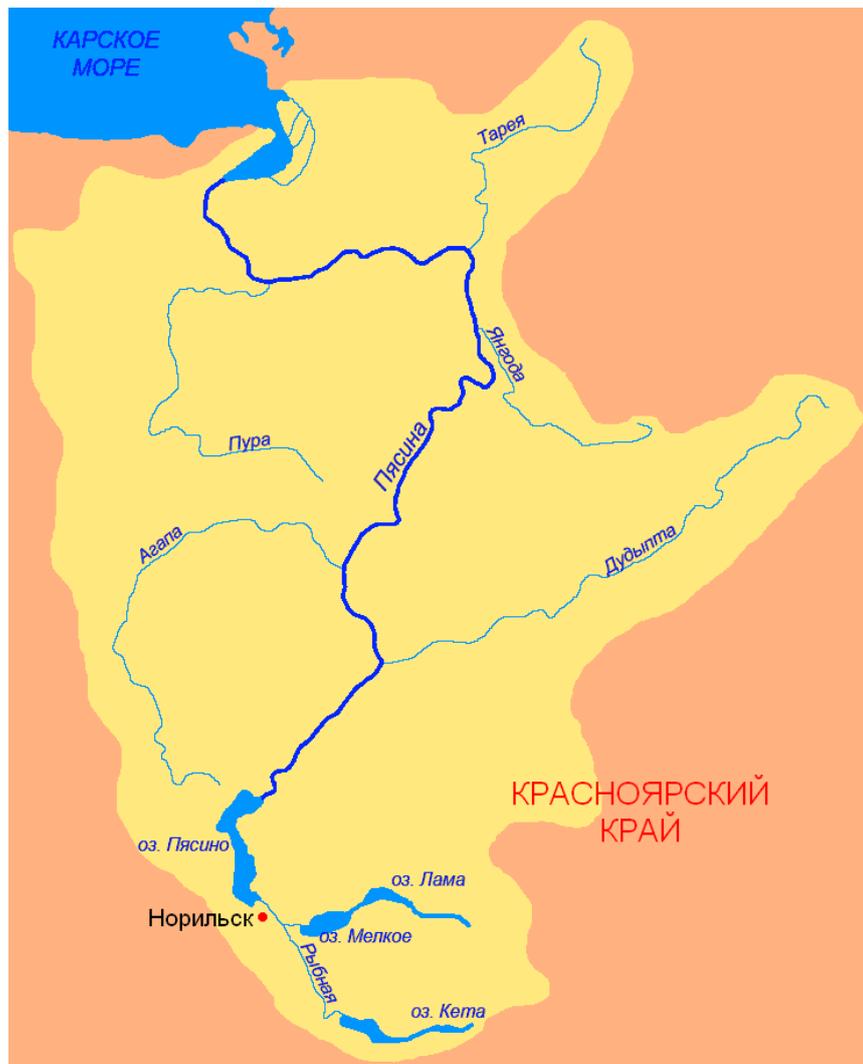


Рисунок 5 – Географическое положение реки Норильская

Описание реки Норильская:

- Бассейн – Северный Ледовитый океан, Карское море
- Бассейн реки Пясина
- Водная система → оз. Пясино → р. Пясина → Карское море
- Площадь водосбора – 19800 км²
- Длина реки – 57 км
- Расход воды – 450 м³/с
- Исток – оз. Мелкое
- Высота истока над уровнем моря – 44 м
- Устье – р. Пясина
- Высота устья над уровнем моря – 28 м

3.1.2 Рельеф и геологическое строение

Река Норильская, относится к норильскому району, расположенному в северо-западной части Сибирской платформы.

Норильская впадина или, как ее часто называют «Норильская долина», представляет низменность, находящуюся между возвышенностями Караелака, Сыверма и Норильских гор. Она вытянута в меридиональном направлении и имеет длину около 125 км и ширину порядка 50 км. Это древняя эрозионная впадина, образовавшаяся благодаря меньшей устойчивости осадочных толщ, подстилающих траппы, на месте пологой антиклинальной складки и почти в совершенстве повторяющая ее очертания. На юг Норильская впадина продолжается до р. Хантайки и Хантайского озера и, по-видимому, еще южнее, быть может до р. Курейки. К северо-западу впадина открывается в сторону оз. Пясины и Таймырской депрессии. Наконец, к северо-востоку намечается продолжение Норильской впадины по широкой ледниковой долине Микчанды, впадающей в оз. Лама и через свои верховья соединяющейся с ледниковой долиной Кыстыктаха. Абсолютные отметки в Норильской впадине колеблются в пределах от 30-50 м в центральных ее частях до 120-200 и более метров на окраинах, прилегающих к описанным трапповым плато.[8]

Кое-где внутри впадины и особенно на ее окраинах имеются возвышенности и хребтики, сложенные коренными породами и поднимающиеся на 50-100 м над общим уровнем впадины. Вообще же для Норильской впадины характерно развитие холмистых моренных ландшафтов в ее окраинных частях. Беспорядочные скопления холмов, порою хорошо выраженные конечноморенные гряды (например, у западного окончания оз. Мелкого), бесчисленные ледниковые озера, — вот основные элементы ледникового рельефа, созданного в Норильской впадине последним оледенением. Тогда долинские ледники, спускавшиеся с трапповых плато, образовывали внутри впадины сплошной покров, протягивающийся и в пределы Таймырской депрессии. В центральных частях Норильской впадины ледниковые ландшафты,

однако, отсутствуют. Здесь развиты бугристые ландшафты с торфяными буграми, бугристыми торфяниками, провальными озерами, реже встречаются плоские заболоченные лайды. Эти формы рельефа имеют уже послеледниковый возраст и возникли после осушения обширного послеледникового озера, занимавшего северную часть впадины и объединявшего собой современные озера Пясино, Мелкое, Лама и Глубокое. Кое-где в Норильской впадине сохранились береговые валы и прибрежные террасы данного озера, причем они расположены на столь значительных абсолютных отметках (около 90 м), что не оставляют сомнения в происшедшем после этого поднятии Норильской впадины относительно Таймырской депрессии. При существующих сейчас соотношениях высот озеро не могло бы сохраниться на таком уровне, - оно вытекло бы в Таймырскую депрессию и по-видимому, именно продолжающееся поднятие края Средне-Сибирского плоскогорья, а с ним вместе и Норильской впадины, повело к осушению послеледникового озера и к распадению его на ряд более мелких водоемов. Сравнение террас Норильского озера, в пределах Норильской впадины, около Норильска, и на северном берегу оз. Пясино, уже внутри Таймырской депрессии, показывает различие в отметках на 25-35 м, что и является амплитудой последующего вертикального перемещения края плоскогорья. В районе оз. Пясино это поднятие могло происходить без разрывов, путем постепенного подъема по мере удаления от депрессии. Оставшиеся после исчезновения Норильского послеледникового озера, озёра Пясино и Мелкое заняли неглубокие ложбины (глубины в оз. Пясино не превышают 10 м, в оз. Мелком - 22 м), подпираемые конечно-моренными грядами. Таким образом, названные озера, как и существовавшее до них Норильское послеледниковое озеро, представляют плотинные озера. Напротив, озера Лама и Глубокое, западное окончание которых находится в пределах Норильской впадины, не ограничены конечными моренами. У западного конца обоих озер развиты холмистые ландшафты, сложенные слоистыми песками и носящие камовый характер. По-видимому, в ложбинах озер Лама и Глубокое в период существования Норильского озера были еще ледники, сгружавшие свой

материал непосредственно в озеро. Ледниковые воды, вынося массы песка, откладывали его в озере в виде беспорядочных нагромождений. В настоящее время, вероятно в связи с продолжающимся поднятием плоскогорья, по берегам всех упомянутых выше озер наблюдаются молодые озерные террасы, свидетельствующие о постепенном понижении их уровня.[8]

Приведенные факты указывают на то, что Норильская впадина, являясь частью Средне-Сибирского плоскогорья, испытывает общее со всем плоскогорьем поднятие относительно Таймырской депрессии. То обстоятельство, что сейчас уровень Норильской впадины на 600-1000 м ниже уровня граничащих с нею траптовых плато, объясняется скорее всего меньшей по сравнению с траппами устойчивостью слагающих впадину осадочных толщ. В эпоху первого (максимального) оледенения Норильская впадина, по-видимому, по высоте мало отличалась от соседних плато (судя по выносу валунов силурийских известняков, развитых внутри впадины, на плато Караелак). Перед этим, в доледниковое время впадина, вероятно, представляла широкую речную долину, сравнительно неглубокую, имевшую меридиональное направление. Интенсивное углубление Норильской впадины было вызвано деятельностью четвертичных ледников и отчасти, в межледниковое время, действием речной эрозии. Своего современного уровня впадина достигла лишь при последнем оледенении, носившем долинный характер и обработавшем борта впадины, которые местами, например, у Норильска, отличаются исключительной крутизной.[8]

3.1.3 Общие сведения о почвенном покрове

Почвы на изучаемой территории Арктического региона довольно сильно разнообразны. На почвообразовательный процесс почв, как и на эволюцию растительного покрова, большое влияние оказывает много факторов таких как континентальность климата, наличие многолетней мерзлоты, а также экспозиция склонов, гор, их крутизна, и многое другое.

Субарктическая зона тундровых почв делится на Западно-Сибирскую и Северо-Сибирскую провинции.

Почвы Западно-Сибирской провинции развиваются на почвообразующих породах морского и ледникового происхождения, под мохово-лишайниковой и кустарниковой растительностью. Из-за сложной климатической обстановки, такая растительность наиболее повсеместная для данного региона.

В Северо-Сибирской провинции также преобладают почвообразующие породы морского и ледникового происхождения.

В Северной части зоны в пределах обеих провинций распространены болотные, перегнойно-глеевые, торфяно-глеевые почвы, а в южной ее части – глеево-подзолистые. В долинах рек развиты пойменные дерновые почвы.

3.1.4 Промерзание и оттаивание грунта

Промерзание грунта происходит за счет отдачи тепла с поверхности грунта в виде длинноволновой радиации.

Глубина сезонного промерзания грунта может довольно резко меняться от разных факторов таких как экспозиция склона, залесенность, увлажненность грунта.

По данным по метеорологической станции Норильск глубина промерзания и температура грунта на глубине варьируется в течении года по-разному.

Таблица 1 – Глубина промерзания и температура почвы на разных глубинах за 1965 г.

Месяцы	0,2			0,4			0,8		
	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.
1	-10,6	-8,6	-13	-8,6	-7,2	-9,6	-7	-5,7	-7,9
2	-13,4	-11,5	-15,4	-11,5	-9,6	-13	-9,5	-8	-10,7
3	-12,6	-11	-13,4	-11,5	-10,7	-12	-10,4	-10,1	-10,7
4	-10,7	-9,9	-11,3	-10,2	-9,6	-10,6	-9,5	-9,2	-10,1
5	-6,8	-2,8	-10,3	-7,2	-4	-9,8	-7,6	-5,4	-9,3
6	-0,4	4,1	-2,7	-1,8	-0,5	-4	-3,4	-2,3	-5,4
7	9,4	14,7	3,3	4,5	8,8	-0,5	-0,6	1,9	-2,2
8	10,1	14,2	4	7,7	9,6	4,2	2,7	3,3	2,1
9	2,7	5,2	0,4	2,3	4,1	0,7	1,2	1,9	0,5
10	-0,8	2,8	-4,8	0,4	2,8	-0,8	0,4	1,3	0,1
11	-14,7	-5,2	-20,2	-9	-0,7	-15,2	-2,9	0,3	-8,5
12	-20,3	-15,8	-25,8	-17,2	-14,5	-21,1	-12,4	-8,9	-14,8
Месяцы	1,6			2,4			3,2		
	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.
1	-5,2	-4,3	-5,9				-3,9	-3,6	-4,2
2	-7,1	-5,1	-8,2				-4,7	-4,3	-5,2
3	-8,7	-8,3	-9,1				-5,9	-5,3	-6,4
4	-9,8	-8,6	-9,1				-6,7	-6,4	-7
5	-7,9	-6,9	-8,7				-7	-7	-7,1
6	-5,6	-4,6	-6,8				-6,6	-6,2	-7
7	-0,6	1,9	-2,2				-3,6	-2,7	-4,5
8	-2	-1,6	-2,6				-4,6	-4,3	-5
9	-1,4	-1,1	-1,6				-4	-3,6	-4,2
10	-1,1	-1	-1,2				3,4	-3,2	-3,6
11	-1,4	-1	-2,8				-3,1	-2,9	-3,2

3.1.5 Климатическая характеристика

Из-за значительной удаленности от теплых морей климат данной территории формируется под воздействием Северного Ледовитого океана. В целом, это субарктический или умеренный резко-континентальный климат, некоторое смягчение которого прослеживается на северной части, проходящей по побережьям морей. Сильные морозы, значительно количество безветренных дней и небольшое количество осадков в году способствует значительному промерзанию грунтов.

Важнейшим следствием сурового термического режима является почти повсеместное распространение многолетней мерзлоты.

Осадки из года в год имеют довольно сильную изменчивость, особенно в теплый период, в зависимости от особенностей атмосферной циркуляции. Дополнительной характеристикой средних месячных осадков при этом являются суммы осадков различной вероятности или обеспеченности, которые в пределах рассматриваемой территории колеблются в незначительных пределах.

Со времени образования устойчивого снежного покрова высота его постепенно увеличивается, особенно быстро в первый период зимы – в октябрь-ноябре, который характеризуется наибольшей цикличностью, повторяемостью снегопадов во время прохождения фронтов. В декабре-январе прирост высоты снежного покрова замедляется вследствие преобладания антициклональной погоды и в феврале-марте перед началом таяния отмечается некоторый прирост высоты снежного покрова при увеличении количества циклонов, проходящих по территории бассейна.

Разрушение устойчивого снежного покрова протекает в очень сжатые сроки, в отличие от его образования. В целом через неделю-две отмечается окончательный сход снега. Из-за столь сжатых сроков схода снега, происходит сильное увеличение поверхностного притока в реки и озера. Увеличение поверхностного притока прежде всего связано с влиянием мерзлых

почвогрунтов и отсутствием инфильтрационной способности грунта.

В горах число дней со снежным покровом увеличивается на 4-5 дней на каждые 100 м высоты, также число дней со снежным покровом изменяется, увеличиваясь с юга на север. Так на Северо-Сибирской низменности – 250-270 дней, на побережье моря – 290-300 дней.

Снегозапасы наибольших значений достигают к моменту снеготаяния на Среднесибирском плоскогорье – в апреле-мае.

Таблица 2 – Многолетние климатические параметры на метеостанциях Дудинка, Игарка, Хатанга в теплый период года за период наблюдений (1962 – 2018 гг.) [6]

Метеостанция	Барометрическое давление, гПа	Средняя месячная относительная влажность, %	Абсолютная t _{max} воздуха, °С	Преобладание ветров за тепл. период года
Дудинка	1011	72	32	С
Игарка	1010	70	34	С
Хатанга	1010	70	37	СЗ

Таблица 3 – Многолетние климатические параметры на метеостанциях Дудинка, Игарка, Хатанга в холодный период года за период наблюдений (1962 – 2018 гг.) [6]

Метеостанция	Средняя месячная относительная влажность, %	Абсолютная t _{max} воздуха, °С	Преобладание ветров за холод. период года
Дудинка	73	-57	Ю
Игарка	75	-57	Ю
Хатанга	76	-59	ЮЗ

Глава 4. АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ

Наш прогноз стока будет опробован на двух методиках:

- физико-статистическом водобалансовом методе
- статистическом методе

Для расчета методики требуются данные по гидрологической и метеорологической информации.

Требуются данные с 1965-1980 гг. по:

- расходам воды (суточные данные)
- уровням (суточные данные)
- осадкам (суточные данные)
- температуре воздуха (суточные данные)
- температуре по глубинам (месячные данные)
- температуре поверхности почвы (месячные данные)
- снежному покрову (месячные данные)

Расчетные уравнения для физико-статистического водобалансового метода:

$$Y = (S + X) - P_0 th \frac{S + X}{P_0}$$

где:

Y – сток за период половодья, мм

S – снегозапасы, мм

X – осадки, мм

P_0 – потери стока, мм

Таблица 4 – Данные по уровням воды (Н, см) за 1965 г.

Даты	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	86	70	62	78	82	106	343	370	213	102	138	95
2	86	69	64	76	80	106	348	368	203	100	136	94
3	85	69	66	78	80	110	339	362	187	98	132	93
4	84	69	67	80	80	119	343	362	176	96	128	93
5	82	68	66	80	82	130	356	360	167	96	121	93
6	81	67	66	80	84	134	363	355	161	91	120	93
7	80	67	66	80	84	144	383	342	156	86	119	93
8	79	68	66	77	84	146	392	333	152	68	118	93
9	77	68	64	80	84	179	387	332	140	64	114	93
10	76	68	64	80	84	150	389	322	140	66	111	92
11	75	67	62	78	85	156	393	316	136	70	110	92
12	73	66	64	84	84	209	397	312	128	77	107	92
13	72	64	62	83	82	263	399	305	131	80	106	92
14	68	63	60	82	84	236	406	294	139	78	104	93
15	68	64	60	78	83	260	409	284	132	88	104	93
16	68	64	62	77	83	259	413	278	125	99	103	94
17	68	63	66	75	84	268	414	271	120	124	101	95
18	68	62	67	78	86	310	415	270	118	151	100	94
19	68	63	66	84	87	322	414	262	112	163	98	96
20	66	63	66	88	88	326	413	251	110	182	98	97
21	68	62	65	88	91	337	410	244	103	175	98	96
22	68	62	64	84	95	355	410	248	95	166	98	96
23	66	62	64	82	97	371	408	238	86	164	98	97
24	66	62	66	82	102	380	403	232	83	160	98	98
25	67	61	70	82	104	391	400	225	82	160	98	98
26	70	62	70	83	104	394	400	218	89	156	97	98
27	70	63	69	82	105	415	396	214	113	152	96	98
28	70	62	70	80	104	381	395	209	124	148	96	98
29	69		73	81	104	318	387	211	122	147	96	98
30	70		74	82	104	312	377	198	106	144	96	98
31	70		78		106		374	224		142		98

Таблица 5 – Данные по расходам воды (Q, м³/с) за 1965 г.

Даты	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	160	94,3	62,4	48,5	53,7	102	1150	1650	726	437	249	153
2	159	92,6	61,7	48,5	54	108	1220	1560	701	433	243	152
3	156	91	61	48,5	54,3	116	1270	1510	649	429	238	149
4	154	89,6	60,3	48,5	54,6	123	1320	1510	611	429	234	148
5	151	88	59,6	48,6	54,9	164	1460	1520	586	423	229	146
6	149	86,5	58,8	48,7	55,2	191	1470	1480	570	414	224	144
7	147	85	58,1	48,8	55,7	214	1730	1330	560	402	220	142
8	145	83,6	57,4	48,9	56,1	143	1880	1280	548	371	246	141
9	142	82,3	56,8	49,1	56,5	265	1800	1260	521	365	212	139
10	140	81,1	56,2	49,2	57	291	1820	1170	525	368	209	137
11	137	79,7	55,6	49,4	57,5	320	1940	1140	516	375	205	136
12	135	78,6	55	49,6	57,9	347	1980	1120	485	387	202	135
13	133	77,5	54,2	49,7	58,4	378	2060	1050	497	392	198	134
14	130	76,3	53,8	49,9	59	409	2140	1010	516	389	195	132
15	128	75,2	53,2	50	59,6	447	2220	973	497	408	192	130
16	126	74,1	52,6	50,2	60,2	484	2290	952	479	431	188	129
17	124	73,1	52	50,4	61,1	518	2340	952	475	405	186	128
18	122	72,1	51,4	50,6	61,8	562	2340	931	475	381	183	126
19	120	71,1	51	50,8	62,7	622	2320	952	455	363	180	125
20	118	70,1	50,5	51	63,7	680	2320	838	451	347	178	124
21	116	69,2	51,1	51,2	65,2	727	2270	817	439	382	175	122
22	114	68,2	49,8	51,5	67,3	796	2270	813	423	320	173	121
23	112	67,3	49,6	51,7	69,2	882	2250	810	402	309	170	120
24	110	66,5	49,3	51,9	71,8	995	2180	792	397	300	168	119
25	108	65,7	49,1	52,2	74,3	1210	2100	768	397	291	166	118
26	106	65	49	52,4	77	1640	2100	745	408	286	163	116
27	104	64,2	48,8	52,7	80	2000	2020	733	455	278	161	115
28	102	63,3	48,7	52,9	83,2	1420	1860	714	475	273	159	114
29	100		48,6	53,2	87	1120	1860	720	471	267	157	114
30	98		48,5	53,5	91,3	1110	1700	689	443	261	156	113
31	96,2		48,4		97		1650	768		256		112

Таблица 6 – Данные по осадкам (X, мм) за 1965 г.

Даты	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,2	1,8		0	2,1		0	2,2	0	0	
2	0	0	1,9	2,6		0,2		8,5			0,2	0,2
3		0	0,7	0,6				0,3	0,5	0,5		1,9
4			0	0,4	2,5		8,1		0,4	0,9	0,1	0,5
5			0,2	0,6	1	0,1	0,7		1,3	0,8	0,6	
6			0,1	0,1	1,2	1,7	18,4		4,5	0		
7	0,4		0,8	0,3	2,8		3,1	0,1	1,2	0,3		
8	3,6		2,4	1,2					16,6	0,7		
9	1,2			0,5			0,3	15,4	6,1	0		
10	0,3			1		0,1			0,6	1,9	0	
11	0,1			1	0					0,6		
12			0,3			2,5			2	0,4	0,3	
13	0,5		0,5	0		0,2				1,9	0,3	
14	2,1		0,1	0,5	1,6	0,7				2,5	0,5	5,5
15	0,4		0,9	1,9		0		6,2		0	2	2,5
16			1,3	0						0,2	1,4	0,2
17	2,4		0,4		2,7	10,9		0,3		0		4,6
18	1,4		3,1		4,1	1,9		0,5		1	0,1	3,1
19	3,7		1,5		0,1	0			0	2	0,7	
20	3	9,1	1,6		6,7		0		1,4	0,4	0,8	
21	5,7	0,6	0,6		0,6				1,3		0,2	0,6
22	2,5	0	0,7		2,4				0,3	0,5	0,2	1,4
23	0,5	0,6	3,6	0	0,1	0,7			0,6	0,3		4,9
24	4		2,7	0,5	0	6,6	3,9	0	1,5	0,1		1,7
25	0,3	0,5	0,2		0			3,6	5,8	0,3	0,2	0,4
26		0,3	0			12,7	3,1	0,1	22,2		0,4	0,7
27		1,1	0,2		0	1,8	1,1	1,8	5,8			2,7
28	2,6	3,2	0,5		0	1,1		0,6		0	0	3,9
29	20,3		0,5	0,2	4,5					0,9	0,1	1
30	3,3		0,8		0		15,5	0,2	0,8	0,7		1,6
31	0,2		0,8		0,7		1,5	1,7		1,3		1,1

Таблица 7 – Данные по температуре воздуха (t, °C) за 1965 г.

Даты	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-40,4	-30,2	-12,1	-12,1	-14,4	-3,6	6	17,5	6,8	2,2	-29,2	-35,3
2	-41,5	-27,1	-16,5	-10,4	-12,5	0,3	11,8	17,6	5,1	1	-22,8	-35,7
3	-45,3	-25,5	-9,8	-7,7	-4,8	2,8	15,5	16,7	3,8	0	-25,3	-26,6
4	-45,1	-41,8	-13,4	0,6	-1,8	4,1	12,8	14,2	3,3	-2,4	-26,5	-34,8
5	-43,5	-41,4	-13,5	-16	-7,1	0,2	8,7	13,1	3	-2,3	-32,7	-36,2
6	-46,3	-39,8	-26,6	-21,3	-13,5	-3,6	9,7	12,8	3	-1,3	-32,6	-39,2
7	-41,9	-45,3	-25,8	-15,8	-12	-4	8,5	14,2	2,8	-2,4	-27,6	-42,3
8	-32,6	-44	-22,5	-5,2	-15,5	-5	7,8	14,3	2	-1,5	-27,5	-40,6
9	-26,8	-43,3	-29,4	-2,6	-16,1	-3,1	11,6	17,6	2,2	-1,9	-31	-40,6
10	-26,1	-44	-26,2	-15,4	-14,9	-0,5	15,2	20,8	3,7	-0,2	-31,8	-42
11	-38,4	-40,4	-18,1	-19,7	-13,9	0,4	16,2	20,7	3,4	1,4	-32,3	-42,3
12	-44,9	-35,2	-14,9	-17,3	-12,1	2,4	17,4	20,4	3	1,8	-30,2	-40,4
13	-39	-35	-25,6	-16,7	-13,6	1,1	18,6	16,7	4,1	2,8	-31	-38,6
14	-20,2	-39,4	-19,1	-16,4	-7,2	0,2	20,6	17,6	3	0,4	-27,2	-23,2
15	-30,1	-42	-14,2	-10	7,1	1,7	23	14,8	4,1	-3,4	-20,4	-17,1
16	-36,4	-42,3	-17,8	-22	-8,8	4,5	24,1	15,5	5,4	-2,6	-19	-25,1
17	-17,6	-43,5	-17,8	-21,4	-2,6	2,8	22,5	15,4	5	-2,4	-29,4	-25,8
18	-15,5	-43,8	-16,7	-21,3	-1,1	0,7	22,6	15	2,9	-6,9	-32,8	-26,3
19	-10,7	-38,2	-22,3	-16,2	6	1,8	21,3	13,8	-1,49	-13,2	-31	-35,1
20	-10,2	-24,4	-23,9	-18	-3,9	2,5	17,4	11,7	-0,5	-15,2	-29	-32,5
21	-8,8	-18	-29,7	-18,8	-6,9	3,2	21,3	11,6	0,6	-23,5	-32,8	-21,3
22	-9,3	-15,4	-32,2	-15,7	-0,8	8,6	23,3	7,5	0,7	-12,1	-33,4	-17,4
23	-16,3	-13,5	-20,8	-16,6	-7	7,4	22,9	7,6	1,9	-12	-33,8	-15,5
24	-23,5	-15,5	-7	-14,8	-8,2	5,5	20,6	9,5	4,6	-18,6	-36,1	-24,6
25	-36,7	-16,2	-4	-12,6	-9,1	5,8	18,9	9	6,7	-16,7	-28,4	-30,4
26	-44,3	-15,2	-13,2	-10,3	-7,4	5	15,8	8,4	6,8	-23,9	-22,1	-27
27	-45	-8,5	-8,2	-13,2	-10,1	1,8	16,5	5,8	7,5	-25,1	-30,8	-21,5
28	-36,7	-16,6	-9,4	-9,7	-4,8	3,3	15	5,9	10,3	-17,4	-32,9	-16,7
29	-28		-4,2	-7,8	-2,6	9,2	16,6	5	6,2	-13,9	-36,6	-22,9
30	-23,7		-3,4	-11,8	-3,5	10,6	20	5,5	3	-11,5	-35,3	-21
31	-29,6		-4,6		-2,6		18,1	2,8		-18,6		-26,8

Таблица 8– Данные по снегозапасам (S, см) за 1965 г.

декады	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	38	35	29	34	32	2				4	5	10
2	33	35	29	33	28	0				1	8	14
3	38	31	29	32	10					6	8	17

Таблица 9 – Данные по температуре поверхности почвы и температуре воздуха за 1965 г.

Мес.	Температура поверхности почвы			Температура воздуха		
	средняя	макс	мин	средняя	макс	мин
1				-30,8	-26,4	-35,2
2	-32			-31,6	-28,1	-34,4
3	-18	-12	-22	-16,9	-12	-21,1
4	-12	-4	-49	-13,9	-8,3	-18,1
5	-6	2	-11	-7,7	-2,9	-11,7
6	4	12	-1	2,2	5,3	-0,6
7	18	28	9	16,8	22	11,8
8	13	24	8	12,9	16,6	9,8
9	3	9	0	3,8	6,6	1,7
10	-8	-4	-11	-7,7	-4,3	-10,6
11	-29	-26	-33	-29,5	-26,3	-32
12	-29		-34	-29,8	-25,2	-34,2

Для начала строим график распределения всех гидрометеорологических величин по времени.

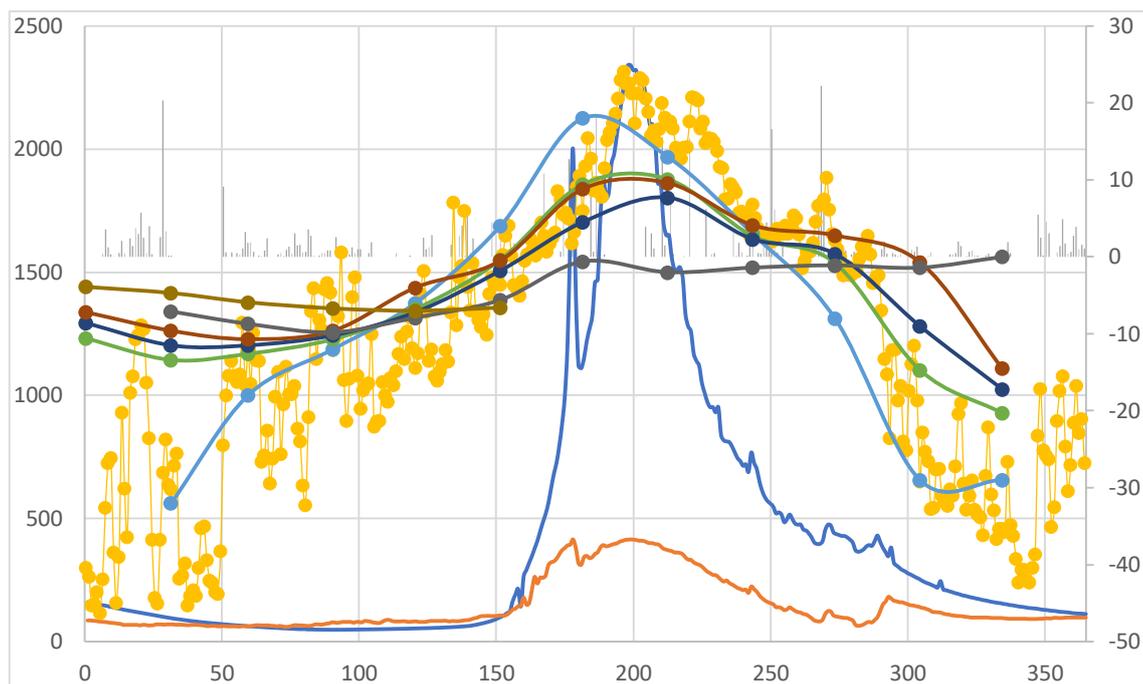


Рисунок 6 – Распределение гидрометеорологических величин по времени за 1965 г.

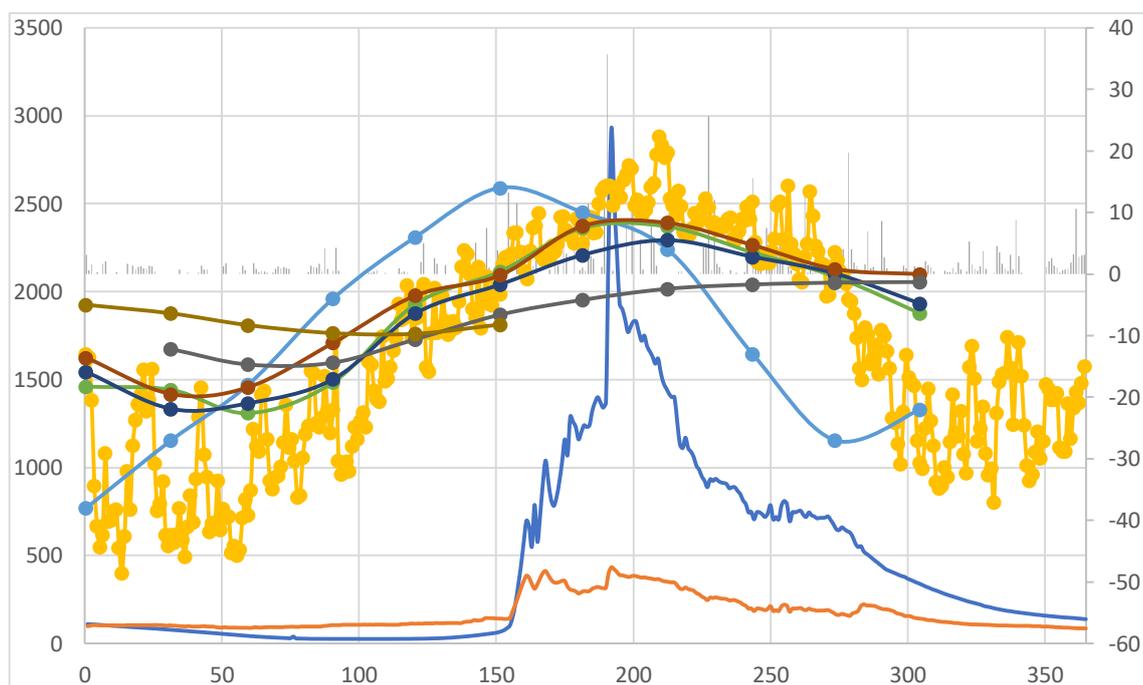


Рисунок 7 – Распределение гидрометеорологических величин по времени за 1966 г.

Более подробно и репрезентативно распределения указаны в приложении.

Из графика 1965 г. видно, что переход температуры через 0°C в положительные значения происходит в 5 календарном месяце (мае).

Именно эту дату будем считать за начало таяния снега и началом половодья.

Далее надо определиться, когда наступит конец половодья.

Также стоит отметить, что переход температуры в отрицательные значения наступает в 9 месяце, когда и происходит спад стока в речной сети, поэтому будем считать конец 9 месяца за окончание половодья, и в это же время в это время температуры воздуха приобретает отрицательные значения.

Это показывает, что лето в данном регионе очень короткое, за это время происходит нарастание и спад стока половодья воды в речную сеть.

Для дальнейших расчетов построим таблицу для нахождения P_0 , для того чтобы найти потери стока нужно рассчитать сток (мм), осадки за весенний период, максимальную высоту снежного покрова.

Чтобы найти потери стока будем использовать номограммы, для этого должны быть известны такие параметры как сток и сумма осадков и снежного покрова.

Далее нам также нужно посчитать показатель увлажненности территории (U), для этого берем средние значения расхода воды за 9 месяцев для каждого года и делим на среднее значение расхода 9 месяцев для всего периода.

$$U = \frac{Q_{IX}}{Q_{IX}}$$

где:

U – показатель увлажненности

Q_{IX} – средний расход за 9 месяцев каждого года

Для всего периода среднее значение $Q = 596 \text{ м}^3/\text{с}$

Таблица 10 – Данные для определения потерь стока

Года	Ср. расх. половдья	U, увлаж	Y, мм	Xв, мм	Ср.весс. см	S+Xв, мм
1965	833	0,85	442	244	38	624
1966	839	1,23	445	301	37	671
1967	889	0,78	472	172	62	792
1968	1 105	1,39	586	234	27	504
1969	773	0,95	410	184	20	384
1970	757	0,81	402	208	86	1068
1971	710	0,98	376	288	38	668
1972	901	0,86	478	162	47	632
1973	938	1,71	497	232	51	742
1974	826	1,35	438	112	41	522
1975	818	0,76	434	194	37	564
1976	836	1,23	443	207	10	307
1977	808	0,85	428	208	36	568
1978	644	0,60	341	128	27	398
1979	541	0,68	287	218	16	378
1980	733	0,96	389	231	32	551

И вот тут возникает проблема для расчета воды физико-статистическим водобалансовым методом, так как номограммы для расчета потерь стока имеют свои пределы расчета.

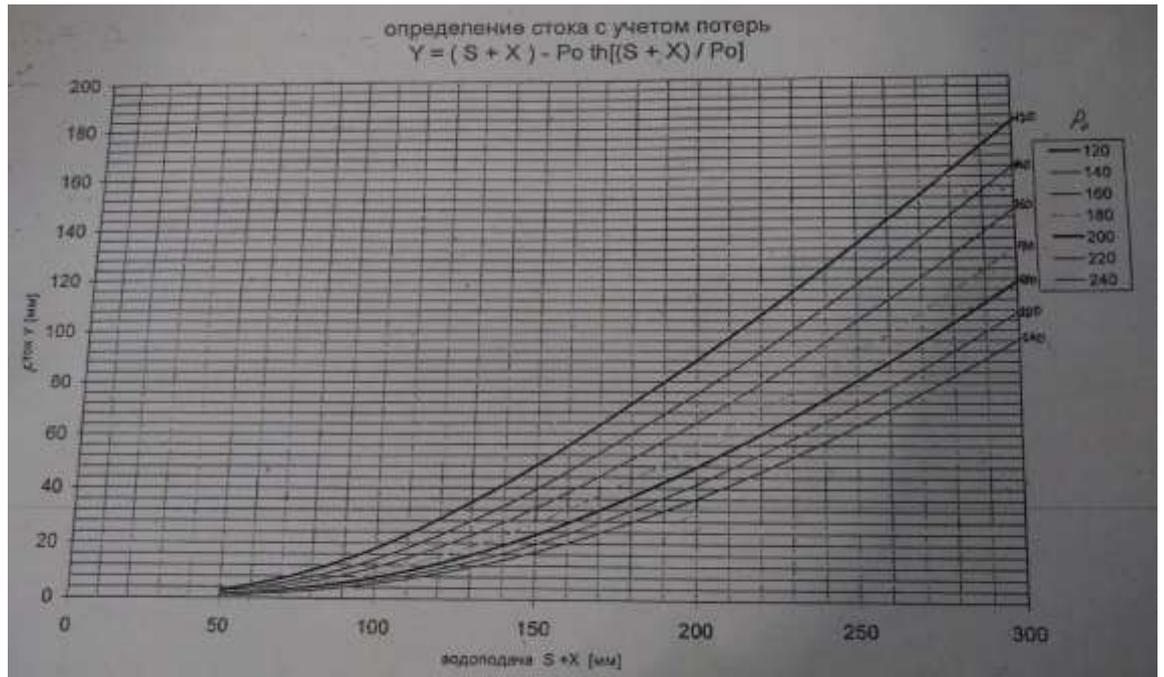


Рисунок 8 – Номограмма для расчета P_0

Так как определить потери стока в нашем случае будет крайне трудно, то воспользуемся другим методом расчета. Но, так как потери стока в любом случае нужно вычислить, то выразим потери стока из формулы.

$$Y = X * \exp\left(\frac{-X}{P_0}\right)$$

Такой вид имеет общая формула для нахождения стока зная потери стока и осадки. Выражаем из этой формулы P_0

Тогда наша формула примет вид:

$$P_0 = \frac{-X}{\log e\left(\frac{Y}{-X}\right)}$$

Вычисляем потери стока для нашего водосбора, для этого построим таблицу:

Таблица 11 – Определения потерь стока

Года	У, мм	Хв, мм	Р0
1965	442	244	312
1966	445	301	471
1967	472	172	145
1968	586	234	217
1969	410	184	190
1970	402	208	249
1971	376	288	510
1972	478	162	126
1973	497	232	251
1974	438	112	66
1975	434	194	200
1976	443	207	224
1977	428	208	233
1978	341	128	111
1979	287	218	381
1980	389	231	318

После того как мы нашли потери стока, можно построить регрессионную зависимость потерь от увлажнения, так как они имеют хорошую корреляцию, и потери сильно зависят от увлажнения. Возведем экспоненту в степень U .

Также не стоит забывать, что увлажнение для прогноза мы берем для следующего года, то есть делаем сдвигу по времени.

В таком случае у нас получится такая зависимость:

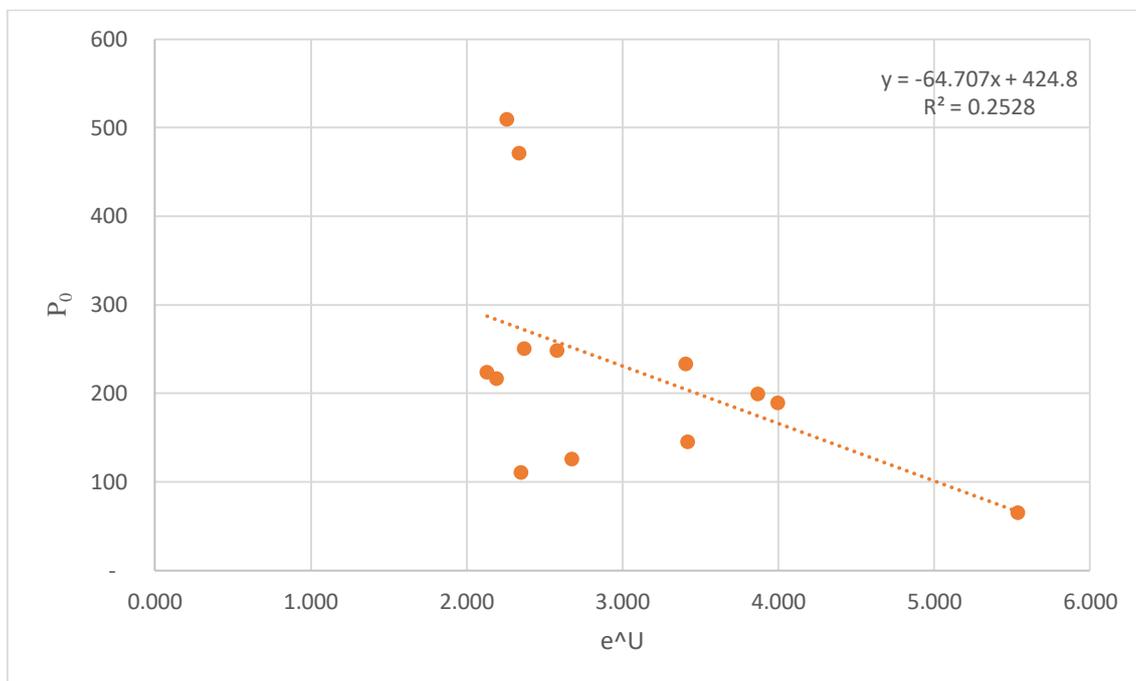


Рисунок 9 – Регрессионная зависимость для определения потерь стока

Получили регрессионную зависимость для нахождения P_0 вида:

$$P_0 = -64,707 + 424,8$$

Используем получившееся уравнение для нахождения P_0

Таблица 12 – Определения потерь стока

Года	P0	U, увлаж	e^U	P0прогн.
1965	312	0,85		
1966	471	1,23	2,334	274
1967	145	0,78	3,418	204
1968	217	1,39	2,190	283
1969	190	0,95	3,997	166
1970	249	0,81	2,579	258
1971	510	0,98	2,259	279
1972	126	0,86	2,674	252
1973	251	1,71	2,370	271
1974	66	1,35	5,535	67
1975	200	0,76	3,869	174
1976	224	1,23	2,130	287
1977	233	0,85	3,404	205
1978	111	0,60	2,348	273
1979	381	0,68	1,819	307
1980	318	0,96	1,981	297
			2,622	255

Теперь, получив прогнозные значения P_0 можно найти прогнозные

значения слоя стока, для этого обратимся к нашей первой формуле:

$$Y = (S + X) - P_0 th \frac{S + X}{P_0}$$

Находим слой стока и ошибку в %, от наших реальных значений.

Таблица 13 – Расчет прогнозного значения P_0 и $Y_{\text{прог}}$.

Года	P_0	U, увлаж	e^U	$P_{0\text{прог}}$ н.	$Y_{\text{прогн.}}$	Y, мм	Ошибка, %
1965	312	0,85					
1966	471	1,23	2,334	274	356	442	19,3
1967	145	0,78	3,418	204	468	445	-5,2
1968	217	1,39	2,190	283	511	472	-8,4
1969	190	0,95	3,997	166	339	586	42,2
1970	249	0,81	2,579	258	151	410	63,2
1971	510	0,98	2,259	279	790	402	-96,6
1972	126	0,86	2,674	252	419	376	-11,3
1973	251	1,71	2,370	271	365	478	23,5
1974	66	1,35	5,535	67	676	497	-35,9
1975	200	0,76	3,869	174	348	438	20,6
1976	224	1,23	2,130	287	288	434	33,6
1977	233	0,85	3,404	205	122	443	72,5
1978	111	0,60	2,348	273	304	428	29,1
1979	381	0,68	1,819	307	134	341	60,8
1980	318	0,96	1,981	297	124	287	56,8
			2,622	255	303	389	22,1

Ошибки при нахождении слоя стока довольно большие, так из таблицы видно, что некоторые прогнозные значения почти полностью не соответствуют действительным значениям.

В нашем случае, так как мы делаем апробацию методики именно для 1979-1980 гг. то первый год нельзя считать оправдавшимся, так как ошибка в прогнозе составляет более 50%.

Второй же год напротив, не так сильно выбивается от реальных значений стока, поэтому будем считать, что прогноз имеет место быть.

Далее, попробуем заменить наше значение e^U на $e^{U/T}$ и посмотрим получившееся результаты.

В таком случае регрессионная зависимость примет вид:

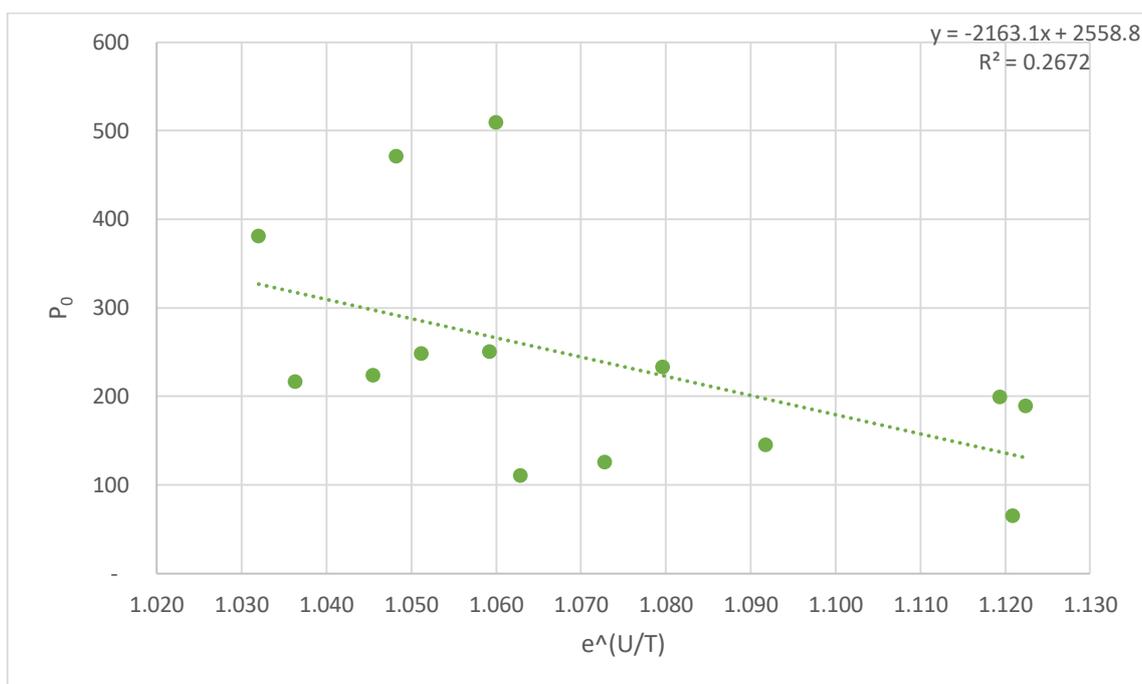


Рисунок 10 – Регрессионная зависимость для определения потерь стока

В этом случае мы получаем другое прогностическое уравнение для нахождения P_0 , занесем результаты в общую таблицу:

Таблица 14 – Расчет прогностического значения P_0 и $Y_{\text{прог}}$.

Года	P_0	U, увлаж	T	U/T	$e^{U/T}$	P_0 прогн.	$Y_{\text{прог}}$	Y, мм	Ошибка, %
1965	312	0,85							
1966	471	1,23	18	0,05	1,048	291	341	442	22,8
1967	145	0,78	14	0,09	1,092	197	474	445	-6,7
1968	217	1,39	22	0,04	1,036	317	479	472	-1,6
1969	190	0,95	12	0,12	1,122	131	374	586	36,3
1970	249	0,81	19	0,05	1,051	285	135	410	67,2
1971	510	0,98	14	0,06	1,060	266	802	402	-99,7
1972	126	0,86	14	0,07	1,073	238	432	376	-14,7
1973	251	1,71	15	0,06	1,059	268	369	478	22,8
1974	66	1,35	15	0,11	1,121	134	608	497	-22,3
1975	200	0,76	12	0,11	1,119	138	384	438	12,3
1976	224	1,23	17	0,04	1,045	297	280	434	35,6
1977	233	0,85	16	0,08	1,080	224	111	443	75,1
1978	111	0,60	14	0,06	1,063	260	315	428	26,5
1979	381	0,68	19	0,03	1,032	326	124	341	63,7
1980	318	0,96	21	0,03	1,033	324	111	287	61,3
			18	0,05	1,055	277	285	389	26,7

Ошибка прогноза при расчете прогностического значения слоя стока возросла, теперь для 1979 г. она составляет 61,3%, а для 1980 г. 26,7%.

Как и в предыдущем случае 1979 г. нельзя считать оправдавшимся, стоит провести дополнительный анализ и выяснить почему данный год имеет такие сильные расхождения и с чем они связаны.

Используем еще один метод для нахождения P_0 .

Воспользуемся пакет инструментов Microsoft excel анализ, функцией регрессия. Для использования этой функции понадобятся данные по температуре, увлажнению и уже найденным потерям стока.

	<i>Коэффициенты</i>
Y-пересечение	32,84696
Переменная X 1	-5,001008
Переменная X 2	13,52931

Коэффициенты получившиеся при использовании функции.

Теперь нужно использовать уравнение для нахождения P_0 , уравнение примет вид:

$$P_0 = -5,001 * U + 13,53 * T + 32,85$$

Используя это уравнение находим прогнозное значение P_0 и далее $Y_{прог}$.

Получим:

Таблица 15 – Расчет прогнозного значения P_0 и $Y_{\text{прог.}}$

Года	P_0	U, увлаж.	T	P_0 прогн.	Y прогн.	Y, мм	Ошибка, %
1965	312	0,85					
1966	471	1,23	18	272	358	442	19,0
1967	145	0,78	14	216	456	445	-2,5
1968	217	1,39	22	327	471	472	0,2
1969	190	0,95	12	188	318	586	45,8
1970	249	0,81	19	285	135	410	67,2
1971	510	0,98	14	218	850	402	-111,6
1972	126	0,86	14	217	452	376	-20,0
1973	251	1,71	15	231	402	478	15,8
1974	66	1,35	15	227	516	497	-3,7
1975	200	0,76	12	188	335	438	23,6
1976	224	1,23	17	259	311	434	28,2
1977	233	0,85	16	243	100	443	77,4
1978	111	0,60	14	218	352	428	17,7
1979	381	0,68	19	287	145	341	57,6
1980	318	0,96	21	314	116	287	59,6
			18	272	289	389	25,6

При расчете слоя стока через уравнение регрессии значения соответствуют предыдущим.

Ошибка для расчёта 1979 г. составляет 59,6%, а для 1980 г. 25,6%.

Выведем все получившиеся значения P_0 на общем графике.

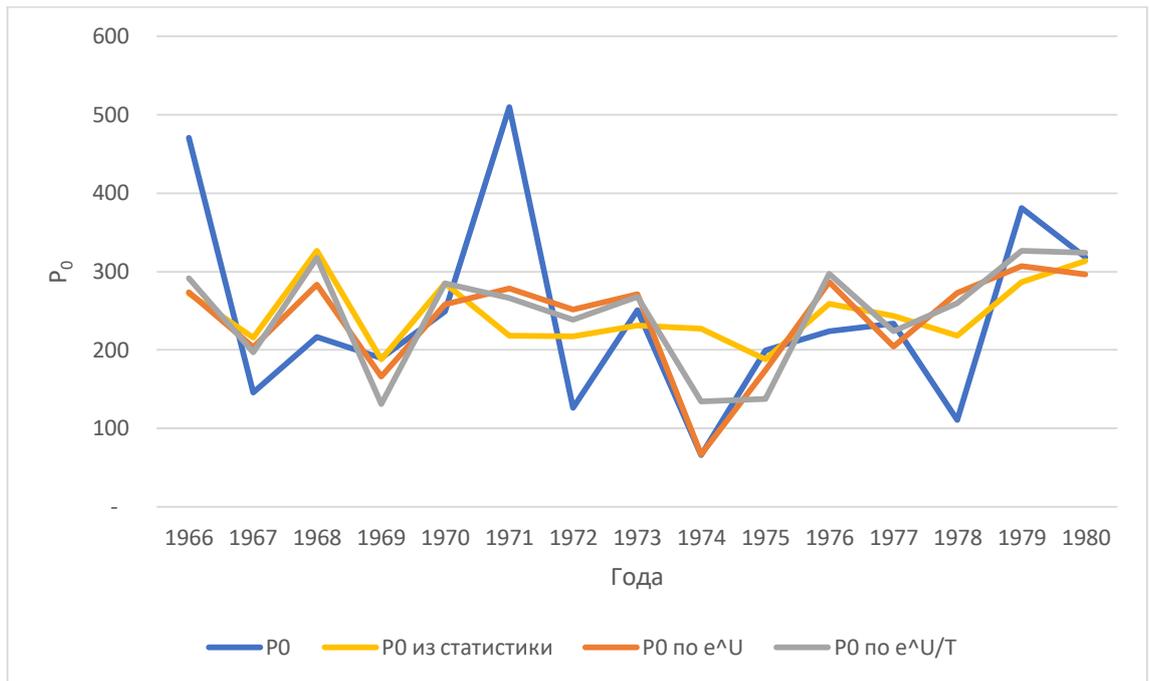


Рисунок 11 – График расхождений P_0

Из данного графика видно, найденные значения P_0 имеют расхождения с прогнозными значениями. В целом, можно заметить, что все прогнозные найденные значения спрямляют график. Так, наибольшие расхождения наблюдаются: 1967 г.; 1971-1972 гг.; 1976 г.; 1978 г; 1979 г.

Далее мы проанализируем как изменение потерь стока будут влиять на прогноз стока.

Для того чтобы проанализировать как сильно влияют потери стока на расчет стока занесем получившиеся данные о прогнозном стоке на общий график.

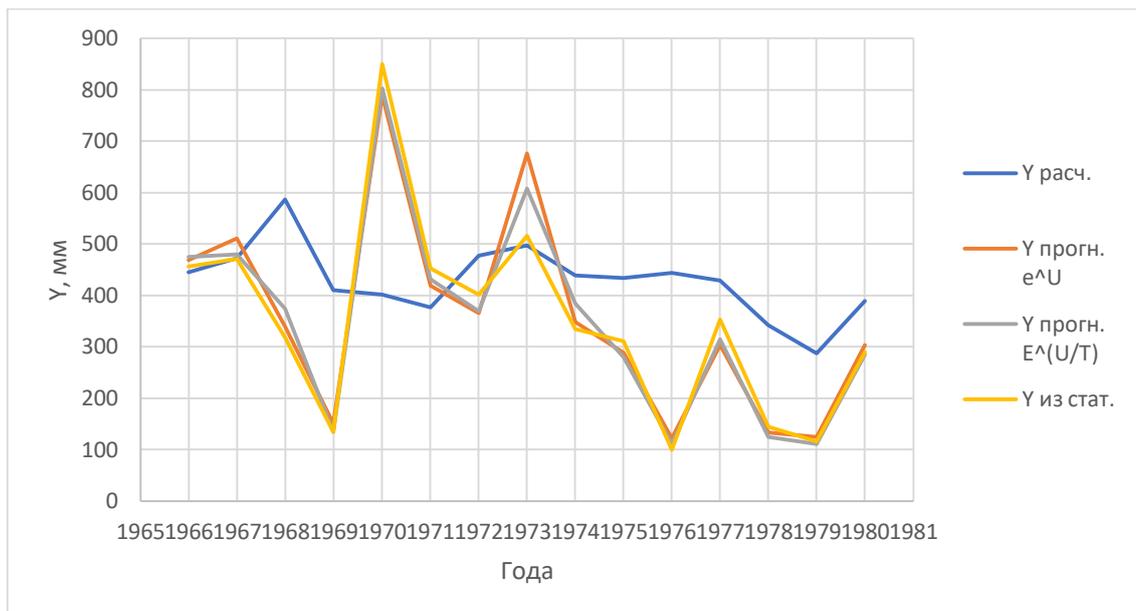


Рисунок 12 – Слой стока рассчитанный и прогнозный

На данном графике видно, что расхождения рассчитанного слоя стока и прогнозного сильно различаются, так в 1967 прогнозные значения слоя стока пошли вниз, а расчетные вверх. Это связано с тем, что наши рассчитанные потери стока в этом году возрастают, то есть при увеличении потерь стока, идет уменьшение стока, что логично. В 1970 идет сильное увеличение слоя стока до значений 800, при этом перед этим наблюдалось уменьшение потерь стока.

В целом нас интересуют два последних года 1979 и 1980 так как мы именно для них делаем прогноз. Ошибки при расчете стока и потерь в 1979 г. очень большие и достигают 30-40 % от расчетного стока.

1980 в свою очередь напротив показывает, что ошибка в прогнозе стока не превышает 20-25% и это же видно на графике расчета потерь стока и слоя стока, они почти совпадают.

То есть, можно сделать вывод, что расчет стока очень сильно зависит от расчета потерь и метеорологических величин. Поэтому, стоит заняться более детальным изучением, более точного прогноза потерь стока.

4.2 Статистический метод расчета долгосрочных прогнозов

В статистическом методе также используются данные речного стока, осадков за весенние месяцы, максимальных снеготпасов, коэффициента увлажнения, температуры поверхности почвы, температуры на глубине 0,2, 0,4, 0,8 см.

Таблица 16 –Данные для построения графиков связи

Года	У	Х _в	U, увлаж.	T поверх.	T _{0.2}	T _{0.4}	T _{0.8}
1965	545	213	0,85	18	10,1	7,7	2,7
1966	553	301	1,23	14	7,7	5,5	1,4
1967	570	172	0,78	22	11,6	7	2,1
1968	727	234	1,39	12	6,3	4	1,1
1969	505	184	0,95	19	9,6	4,8	0,9
1970	497	208	0,81	14	7,7	5,1	0,8
1971	465	288	0,98	14	9,4	6,8	2,1
1972	593	162	0,86	15	7,3	5,5	2,1
1973	616	232	1,71	15	8	5,7	2,1
1974	540	112	1,35	12	8,1	6,2	1,1
1975	534	194	0,76	17	9,6	4,8	1
1976	545	207	1,23	16	8,7	5,6	1,1
1977	525	208	0,85	14	6,8	4,6	0,4
1978	419	128	0,60	19	7,5	4,8	0,4
1979	352	218	0,68	21	8,9	5	0,6
1980	481	231	0,96	18	7,4	4,5	0,7

Далее строим зависимости стока от других гидрометеорологических характеристик, для выявления связи.

Так как определяемый нами параметр U(увлажнение) рассчитан для следующего года, то и при регрессии для U следует соблюсти соответствие параметров для разных лет, поэтому производится сдвигка.

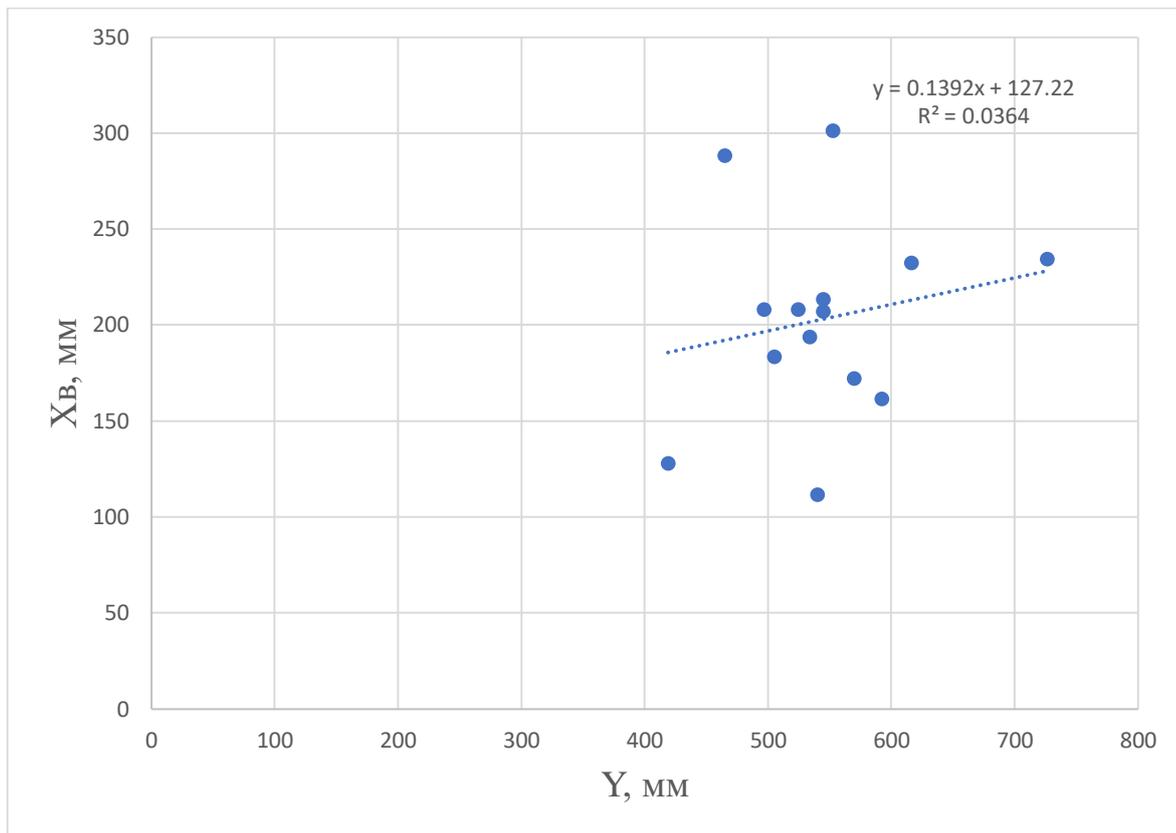


Рисунок 13 – График связи стока и осадков за весенний период

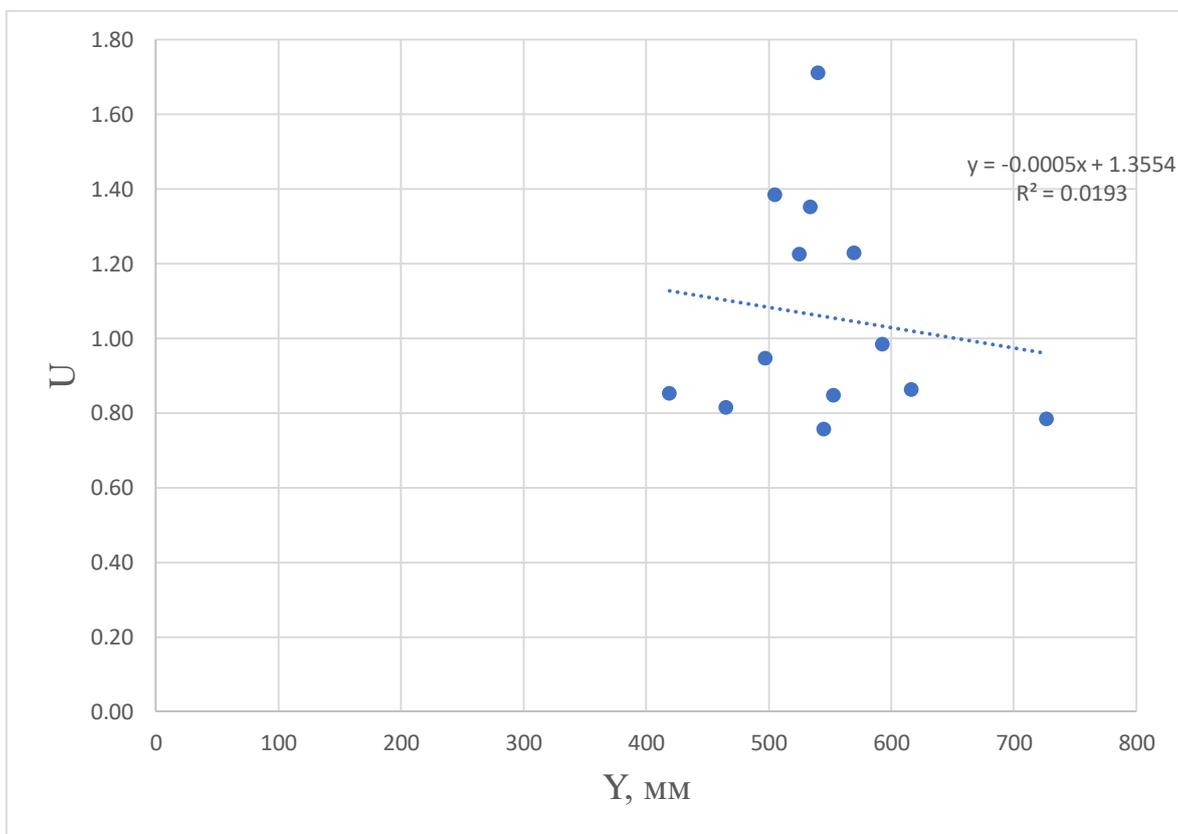


Рисунок 14 – График связи коэффициента увлажнения и стока

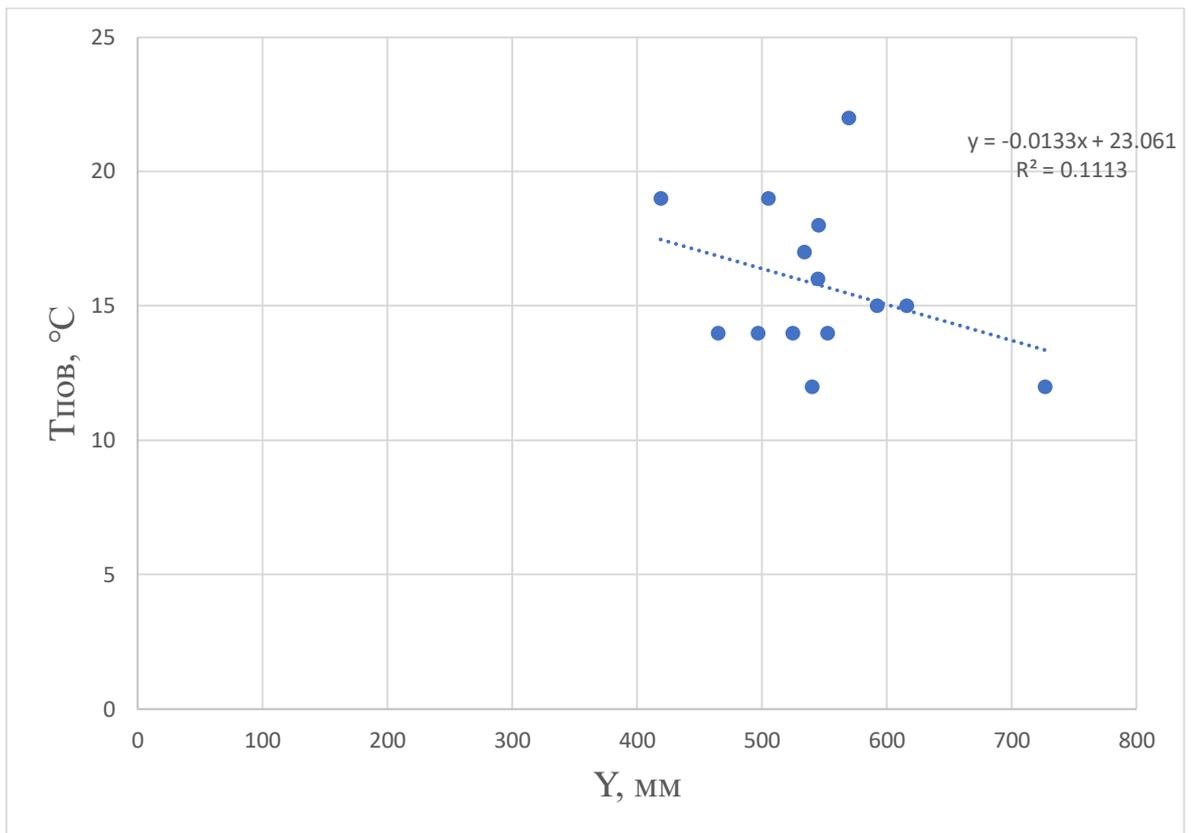


Рисунок 15 – График связи температуры поверхности и стока

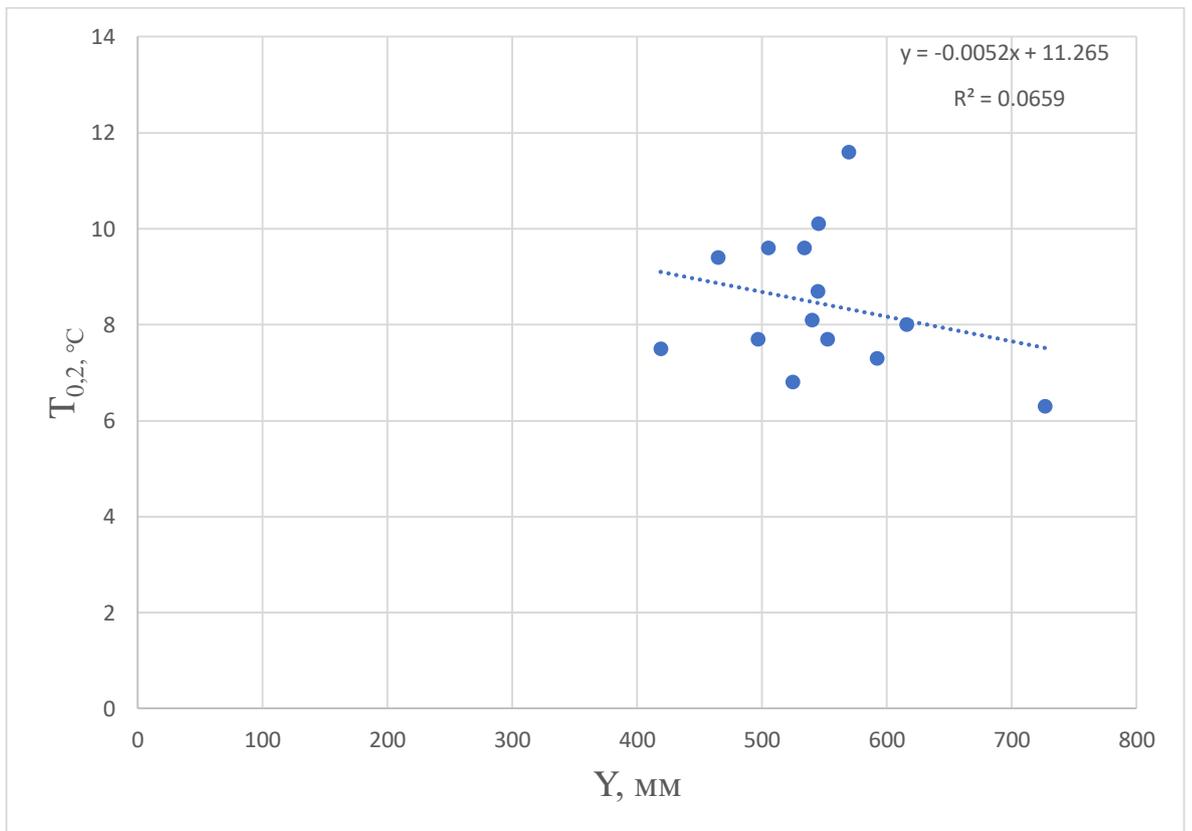


Рисунок 16 – График связи температуры на глубине 0,2 м и стока

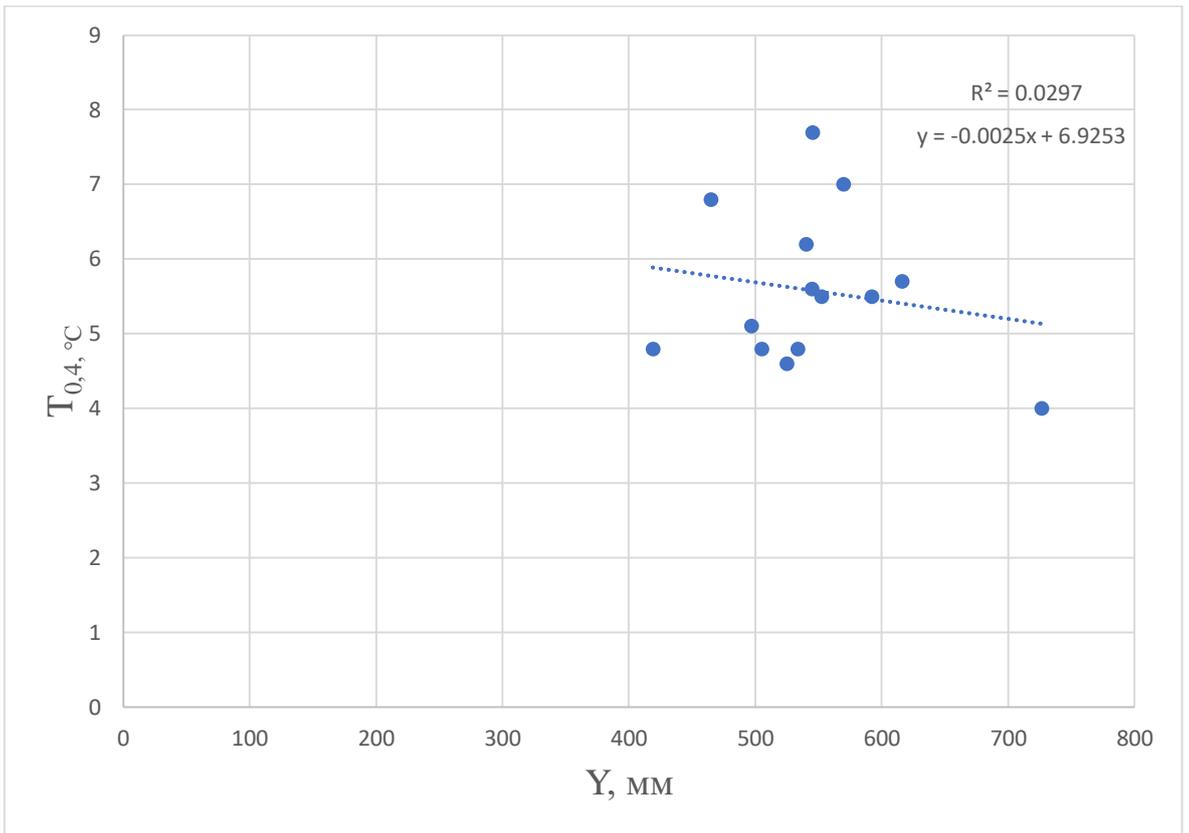


Рисунок 17 – График связи температуры на глубине 0,4 м и стока

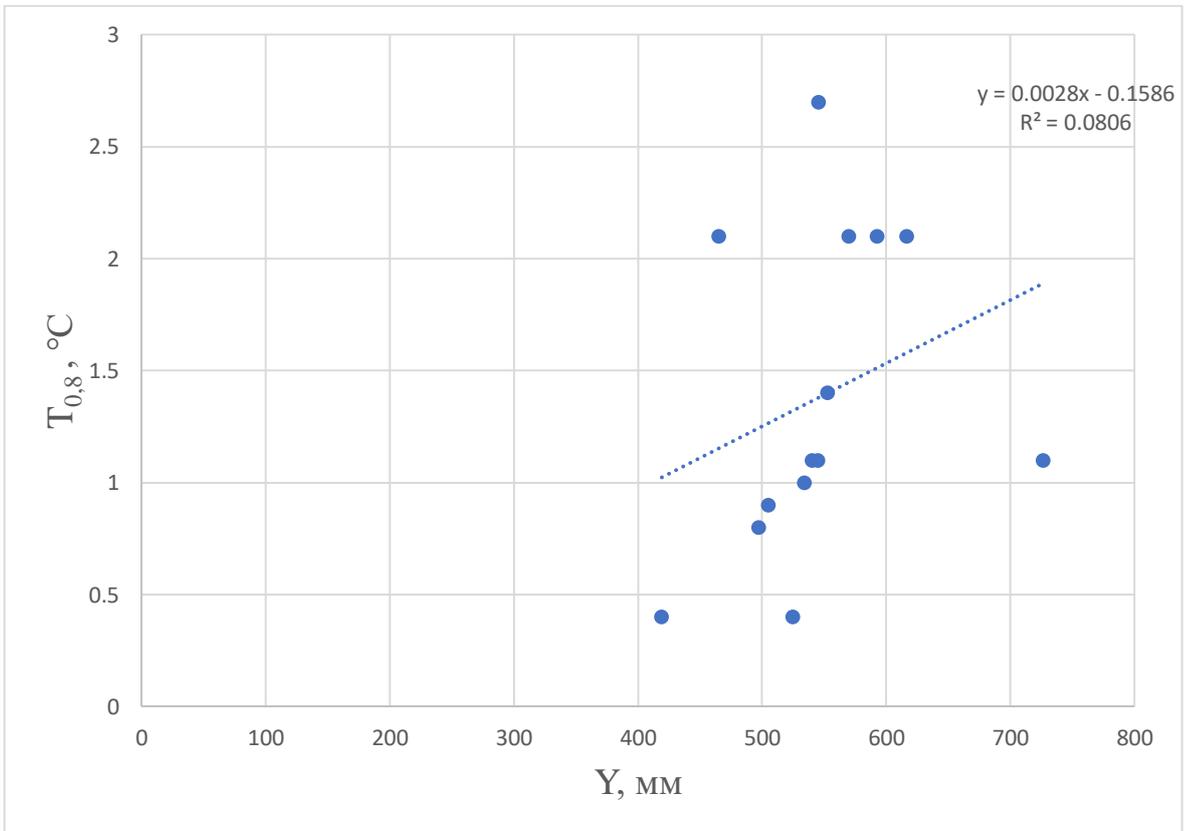


Рисунок 18 – График связи на глубине 0,8 м и стока

Далее мы используем пакет анализа Microsoft Excel.

В пакете анализа используем функцию регрессия, в качестве входного интервала по Y будет сток (Y, мм), а в входного интервала по X осадки (X_в, мм), коэффициент увлажнения(U), температура поверхности (T_{пов}, °C).

Наше расчетное уравнение примет вид:

$$Y = x1 * X_{в} + x2 * U + x3 * T_{пов} + y$$

Где:

x1 – коэффициент при переменной X_в

x2 – коэффициент при переменной U

x3 – коэффициент при переменной T_{пов}

y – Y-пересечение

Таблица 17 – Коэффициенты для расчетного уравнения

	<i>Коэффициенты</i>
Y-пересечение	679,7413
Переменная X 1	0,063485
Переменная X 2	-18,8539
Переменная X 3	-8,16104

Для расчетного 1979 и 1980 года уравнения примут вид:

1) $Y = 0,06 * 218 - 18,8 * 0,60 - 8,16 * 21 + 679,7 = 510$ мм

2) $Y = 0,06 * 231 - 18,8 * 0,68 - 8,16 * 18 + 679,7 = 534$ мм

Таким образом были рассчитан прогнозный сток за 1979-1980 гг.

Таблица 18 – Прогнозный сток за 1979-1980 гг.

Y	Y _{прогн.}	Отклонение
352	510	44,7
481	534	11,1

Ошибка прогноза от реального значения составила для 1979 – 44 %, а для 1980 – 11%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Долгосрочные прогнозы в настоящее время представляют большой интерес и в гидрологии, так как невозможно предугадать без специализированных знаний появление катастрофического паводка в том или ином регионе.

Заблаговременные (долгосрочные) прогнозы важны для водного хозяйства, гидроэнергетики для оперативного определения оптимальных режимов регулирования стока и пропуска воды через водохранилища при большом весеннем стоке.

Особенно важно иметь подобную специализированную информацию в экономически и гидрологически важных неустойчивых регионах.

Таковыми регионами, в частности, являются регионы Арктики, где уже наблюдаются изменения климатических параметров и в которых особенно стоит усилить контроль за гидрологическими характеристиками.

В нашей работе проводились опробования долгосрочных прогнозов в экономически важных регионах Арктики, в частности регион, в котором сосредоточена крупнейший в мире производитель никеля и палладия ПАО «ГМК Норильский никель».

Расчет прогнозов проводился данными по р. Норильская за 1965-1980 гг.

По результатам расчетов прогноз за 1979 г. физико-статистическим водобалансовым методом были получены такие результаты:

В первом случае при расчете прогноза потерь стока ошибка в прогнозе слоя стока составила 56,8%. Во втором случае ошибка уже составила 61,3%. В третьем случае при использовании уравнения регрессии ошибка прогноза за 1979 г. составила 59,6%. Во всех трех случаях расчета прогноза слоя стока наблюдались очень большие расхождения в определении потерь стока, что послужило таким расхождениям в определении слоя стока.

По результатам расчетов прогноз за 1980 г. физико-статистическим водобалансовым методом были получены такие результаты:

В первом случае ошибка прогноза слоя стока составила 22,1%. Во втором случае ошибка в прогнозе слоя стока составила 26,7%. В третьем случае при определении прогноза стока через уравнение регрессии ошибка составила 25.6%.

В целом из получившихся значений, можно сделать вывод, что ошибка прогноза слоя стока остается также большой, однако такие значения при определении слоя стока имеют место быть.

По результатам расчетов прогноз за 1979 г. статистическим методом были получены такие результаты:

Полученные значения за 1979 г. являются не репрезентативными так как ошибка прогноза от реальных данных составила 44%.

Расчет за 1980 г. наиболее хорошо соответствует реальным значениям, ошибка по данному году составила 11%.

Почему такие результаты опробования методики?

В первую очередь стоит указать на местоположение региона, так как в данный регион считается сложным из-за сложного строения водосбора и недостаточной изученности многолетнемерзлых пород и их влияния на сток рек.

Список использованной литературы

1. Арктика // Большая российская энциклопедия URL: <https://bigenc.ru/> (дата обращения: 06.06.2022).
2. Арктика // ЭНЦИКЛОПЕДИЯ URL: <http://knowledge.su/> (дата обращения: 06.06.2022).
3. Климат // Военная библиотека URL: <https://post1.su/> (дата обращения: 06.06.2021).
4. Климат арктического пояса // Экоприрода URL: <https://ecoprroda.xuz/> (дата обращения: 06.06.2021).
5. Состояние окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации // Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» URL: <https://gosdoklad-ecology.ru/> (дата обращения: 06.06.2021).
6. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция взамен СНиП 23-01-99*.
7. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 357 с.
8. Сакс В.Н. К геоморфологии бассейна реки Пясины // Труды Горно-геологического управления ГУ СМП. 1945. Выпуск 21. С. 44-58.
9. Гидрологический ежегодник бассейна Карского моря (восточная часть) за 1965 г. Том 7, выпуск 0, 1, 5-6
10. Гидрологические ежегодники 1965-1980 гг. — Т. 7. — Вып. 0, 1, 5-8: Бассейн Карского моря (восточная часть). - Л: Гидрометеиздат.
11. Метеорологические ежемесячники 1965-1980 гг., вып. 21, ч.2. Красноярск Главное управление службы при Совете Министров СССР. Красноярское управление гидрометео службы.