



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Оценка и прогноз водного
режима рек ЯНАО**

Исполнитель _____ Ковалева Маргарита Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ 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)

« 06 » 06 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЯНАО	6
1.1 Рельеф и геология.....	7
1.2 Многолетняя мерзлота	9
1.3 Климатическая характеристика	10
1.4 Температура воздуха.....	12
1.5 Осадки.....	13
1.6 Снежный покров.....	15
1.7 Почвы и растительность	16
1.8 Гидрографическая сеть	19
2. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	23
2.1 Анализ гидрологических данных	26
2.2 Анализ исходных данных метеорологических станций	33
3. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ	68
4. РАСЧЕТЫ ПО МЕТОДИКЕ.....	72
4.1 Прогноз математического ожидания и коэффициента вариации	72
4.2 Расчет водоотдачи при оттаивании грунта	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ	95

ВВЕДЕНИЕ

Согласно исследованиям, которые проводятся последние 150 лет, на нашей планете наблюдается потепление климата. Арктика – это регион, который входит в число самых уязвимых регионов к изменению климата. По известным данным, процессы (последствия изменения климата), там протекают в два раза быстрее, чем в среднем на всей планете Земля. Например, если в среднем на Земле температура приземного слоя воздуха увеличилась на 0,7–0,8°C, то в Арктике отмечается потепление в два раза сильнее. [1]

Изменения климата в арктических зонах особенно влияет на жизнедеятельность организмов, сокращение площади льдов, разрушение берегов арктических морей, таяние многолетней мерзлоты. Последнее наиболее важно учитывать для нашей страны, так как примерно 65 % площади Российской Федерации – это территории с многолетней мерзлотой. Повышение температуры и таяние мерзлоты увеличивает риск просадки и обвалов грунтов, повреждения важных объектов инфраструктуры (трубопроводы, автомобильные дороги и пр.), заболачивания территорий [2].

В последние годы внимание уделяется развитию северных регионов России. В их число перспективных регионов входит и полуостров Ямал. На его территории находятся многочисленные, и один из крупнейших по объему, запасы углеводородов, такие как Бованенковское и Южно-Тамбейское газовое месторождения, Новопортовское нефтегазовое месторождение и др. На сегодняшний день более 91 % всего природного газа России, или 23,7 % мировой газодобычи, приходится на Ямало-Ненецкий автономный округ. [3]

Продолжается активное освоение уже разведанных, а также новых месторождений, и поэтому возрастает потребность в развитии инфраструктуры на полуострове – строительстве дорог, аэропортов, жилья для людей, газопроводов и т.п.

Ямал полностью расположен на территории многолетней мерзлоты. Другой, не менее важной особенностью этого региона является наличие большого числа рек и озер, которые характеризуются сложным гидрологическим режимом и активными весенними паводками, способными затопить или подтопить почти 80 % территории. В рассматриваемом регионе при расчетах и разработках проектов по строительству новых объектов важно учитывать особенности таяния многолетнемерзлых грунтов и водоотдачи в реки.

Но несмотря на активное промышленное освоение, гидрометеорологическая изученность полуострова крайне мала. Большая часть водотоков и водоемов на территории полуострова не изучена. Стационарные наблюдения ведутся лишь на средних реках на юге Ямала, на остальной территории измерения и наблюдения за водными объектами проводятся лишь в рамках исследований и экспедиций. Вопрос о выборе и поиске данных для исследований региона остается одной из основных проблем.

В освоении полуострова Ямал можно выделить несколько главных проблем. Во-первых, данный регион входит в число самых труднодоступных районов арктической зоны. Во-вторых, для Ямала характерны крайне неблагоприятные природно-климатические условия. В-третьих, полуостров слабовосприимчив к техногенным нагрузкам. В-четвертых, рассматриваемый регион характеризуется длительным периодом самовосстановления природной среды.

Изменение климата нельзя остановить за ближайшее время, поэтому важно разработать и принять меры по предотвращению усиления изменений климата в будущем. А также в настоящее время уметь оценивать последствия изменений и учитывать их для поддержания и развития инфраструктуры в арктических зонах.

Целью данного исследования является разработка и апробация методики сценарной оценки водного режима рек ЯНАО с учетом возможного таяния многолетней мерзлоты.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выбрать водосборы от 1500 до 50000 км², которые должны находиться в зоне многолетней мерзлоты и включать расположенную на его территории метеостанцию.
2. Собрать годовые за многолетний период гидрометеорологические данные для выбранного водосбора: среднегодовые расходы воды, количество осадков, температура воздуха, температура грунтов на различных глубинах и др.
3. Произвести статистическую обработку полученных рядов (оценка значимости тренда, оценка однородности рядов по критериям Фишера и Стьюдента, вычисление статистических характеристик и их погрешностей).
4. Произвести апробацию методики основанной на учете поступления воды с оттаивающих грунтов в основной сток для выбранных водосборов.
5. Проанализировать полученные результаты.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЯНАО

Полуостров Ямал расположен в северной части Западно-Сибирской равнины на территории Ямало-Ненецкого округа и занимает площадь 769 000 м². Западные берега полуострова омываются водами Карского моря и Байдарацкой губы, а восточные - водами Обской губы. Расположение полуострова показано на рисунке 1. Протяженность полуострова в длину составляет 700 километров, а в ширину 240 километров. Рельеф сглаженный, перепады высот не значительны. Растительный мир представлен в большинстве тундрой, а на южной части полуострова встречаются редкие участки леса. Ямал находится в зоне многолетней мерзлоты и изрезан густой сетью рек, озерами и болотами.



Рисунок 1 – Расположение полуострова Ямал. Источник - <http://geographybclass.ru/bajdarackaya-guba.html>

1.1 Рельеф и геология

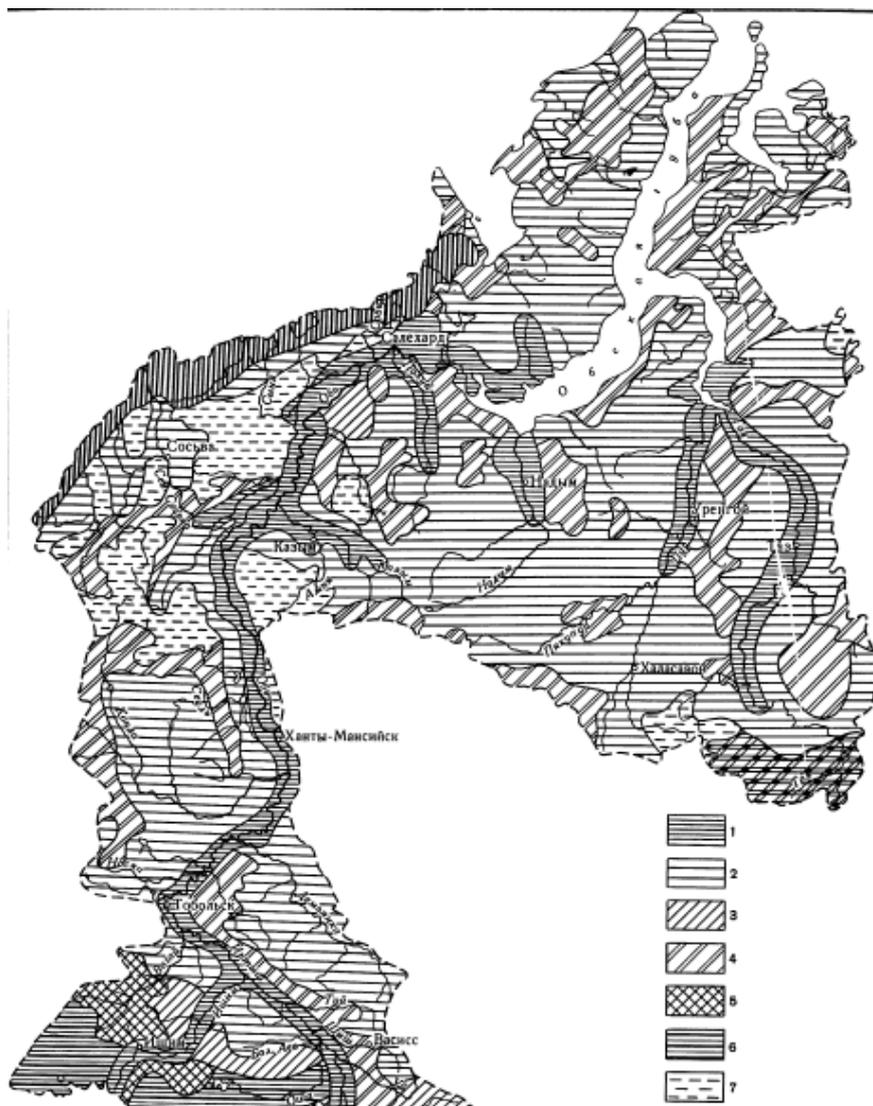
Рассматриваемая область входит в состав территории Западно–Сибирской равнины, которая является одной из величайших низменных равнин на планете. Рельеф данной равнины представлен сочетанием самостоятельных низменностей и возвышенностей, которые достигают высот в 250 – 285 м. Территория равнины разделена на две части (котловины) : верхнюю (Нижнеобскую) и южную (Среднеобскую), широтным повышением, которое простирается от предгорий Урала к северному продолжению Енисейского кряжа. Поверхность обеих котловин является низменной равниной с приподнятыми краями и общим, очень незначительным, падением на север. Исключение составляет лишь небольшая часть на северо-западе территории, которая занята восточными склонами Уральских гор.

Северная часть Нижнеобской котловины замыкается возвышенностями Гыдана и Ямала, которые разделены Обской губой. Территория Ямала полностью является низменной равниной. Центральная часть Ямала представлена возвышенностями, которые достигают высот в 70 – 75 м. Они протягиваются до северной оконечности Полярного Урала, при этом сохраняя свои высоты в пределах 70 – 80 м, и лишь в некоторых местах прерываются речными долинами (р. Юрибей и др.). Наиболее высокой точкой этой области является результат в 90 м над уровнем моря. [4]

Берега Ямала являются низкими и плоскими, из-за чего некоторые отдельные места затапливаются во время приливов. Ещё одной особенностью рельефа полуострова является то, что поверхность территории от побережья к центральной части повышается широкими ступенями террас. [6]

Южная часть Ямала сохранила в себе следы оледенения, которые представлены моренными грядами и холмами. Северная часть территории представлена современными микроформами рельефа, которые образованы мерзлотно-солифлюкционными процессами (бугры пучения и др.), а вот южная

часть – карстово-суффозионными процессами. Схема типов рельефа представлена на рисунке 2.



1 – низменные сильнозаболоченные равнины широких речных долин, 2 – плоские сильнозаболоченные многоозерные низменности, 3 – плоские сильнозаболоченные низменности без озер, 4 – повышенные менее заболоченные дренированные долины, 5 – повышенные наклонные сухие равнины, 6 – повышенные многоозерные сухие равнины, 7 – волнисто-увалистые возвышенности.

Западная Сибирь представлена отложениями от докембрийских до четвертичных. Данная равнина является молодой платформой, которая покрыта

плотным слоем четвертичных отложений. Отмечается, что древние докембрийские породы в Западной Сибири встречаются очень редко и их можно обнаружить лишь на поверхности горных районов, которые занимают очень малую площадь на западе территории.

Наличие палеозойских пород, которые выступают на поверхность Западной Сибири четвертичного времени, тесно связано с покровными оледенениями. Отмечается, что в распространении четвертичных отложений видна четко выраженная широтная зональность. В связи с этим, существует разделение на ледниковую и внеледниковую области. Ледниковая область связана с деятельностью покровных оледенений Западно – Сибирской равнины, которые она пережила трижды. А именно Самаровское, Тазовское и Зырянское оледенения. Во времена Самаровского оледенения ледяной покров опустился на юг до 58° с. ш. А вот Зырянское оледенение привело к тому, что произошло опускание северных прибрежных участков Западно–Сибирской равнины. Это привело к тому, что опустившиеся районы оказались затопленными водами Карского моря и покрылись морскими отложениями. Спустя время, в результате регрессии моря в южной части равнины, стартовало новое врезание рек. Малый уклон русла и широкое распространение многолетней мерзлоты в большинстве речных долин Западной Сибири стали причиной преобладания боковой эрозии, что объясняет значительную ширину и небольшую глубину подобных рек. Также, характерной чертой рассматриваемой территории является широкое распространение покровных горизонтов лёссовидных суглинков и глинистых пород. Стоит отметить, что огромные пространства равнины представлены валунными ледниковыми отложениями. [4]

1.2 Многолетняя мерзлота

Отметка в $61-62^{\circ}$ с. ш. является примерной южной границей залегания многолетнемерзлых пород. В этой части территории многолетнемерзлые породы

залегает в виде редких островков. В основном они располагаются на безлесных участках, чаще всего в торфяниках.

При продвижении на север, примерно около 65–66° с. ш., данные породы занимают куда большую площадь, нежели талые породы и уже могут встретиться даже на участках, которые поросли лесом. Если сместиться ещё дальше на север, то там мерзлые породы располагаются практически по всей территории, кроме мест под руслами крупных рек (Обь, Пур, Таз и др.), а также эти породы не найти под большими озерами, глубина которых превышает 2 метра. Верхняя поверхность залегания мерзлых пород под меньшими водотоками и водоёмами располагается на глубине нескольких десятков метров. В непосредственной близости к южной границе области многолетне мерзлых пород находится широкая зона (100—200 км), температура грунта в которой близка к 0° С. При движении на север рассматриваемой территории температура многолетнемерзлых пород постепенно становится ниже и достигает –7, – 10° С в заполярных районах. [6]

Зона многолетней мерзлоты охватывает весь полуостров Ямал. Значения глубины сезонно-талого слоя почвы меняются от 0,2 м в северной части полуострова до 2,0 м в южной части. Торфяники являются местом с наиболее низкими температурами мерзлых пород. А вот наиболее высокие температуры данных пород характерны для песчаных отложений. При измерениях температур этих грунтов в одном и том же районе разница в результатах может достигать 3–4°С. Безлесные северные участки и торфяники обладают наиболее благоприятными условиями для морозобойного растрескивания грунтов с формированием повторно-жильных льдов. Песчано-глинистые отложения характерны тем, что в них встречаются ледяные клинья. А для торфяников, которые протаивают к концу лета не глубже, чем на 0,4 м, характерно наличие линз льда. [4]

1.3 Климатическая характеристика

Воздушные массы свободно проникают на территорию Ямала с северной и южной части, потому что равнинность данной области не может этому никак препятствовать. В основном это массы арктического и континентального воздуха, под воздействием которых формируется умеренно-континентальный климат. Подобный климат предполагает резкие изменения погоды в любой сезон года. Так, например, может происходить переход от тепла к холоду или же резкие колебания температуры воздуха от месяца к месяцу, от суток к суткам и даже в течение суток. [4]

Для Ямала характерно короткое и холодное лето. Зимой же здесь ветрено и морозно. Зимне-весенний период характеризуется образованием плотных ледяных корок и наста на поверхности снега. Также в это время года частым явлением являются поземки и низовые метели при ясном небе, что способствует перераспределению запасов снега по территории. Исключительная облачность прибрежных районов характерна для частей территории с высокой относительной влажностью. В течение года примерно 80-90 дней в районе Ямала, прилегающей акватории Карского моря и его заливов наблюдаются туманы, которые примерно 10 дней сохраняют уровень особой опасности (видимость менее 100 м). Показатель среднегодовой скорости ветра составляет около 7 м/с, а при снежных бурях – до 15 м/с. При этом примерно 140 дней в году сопровождаются метелями. [6]

Для теплого времени года характерен положительный радиационный баланс на всей территории, который достигает наибольших величин в июне и июле. А вот во временном промежутке с октября по март по всей территории наблюдается отрицательный баланс, который достигает наименьших значений в декабре и январе. Показатель годового радиационного баланса в северной части Западно-Сибирской равнины составляет 20–22 ккал/см², но в южной части он его значения доходят до 35–40 ккал/см². Продолжительность периода с положительным радиационным балансом насчитывает около шести – семи месяцев на севере территории и около семи – восьми месяцев на юге.

Для переходных сезонов года характерно существенное различие в показателях радиационного баланса северных и южных частей территории. А вот в летние и зимние месяцы эти показатели практически одинаковые.

Своего максимального значения среднемесячная сумма радиационного баланса достигает в июне – июле и составляет 9.2–9.9 ккал/см², а минимальные значения наблюдаются в ноябре – декабре и равны (–1.3)-(–1.5) ккал/см². [4]

1.4 Температура воздуха.

Температурный режим рассматриваемой территории характеризуется суровой продолжительной зимой, коротким, но жарким летом. Переходные сезоны весна и осень также являются короткими периодами. Также для данного региона свойственны поздние весенние и ранние осенние заморозки, а безморозный период длится очень недолго.

В северной и северо-восточной части территории очень суровый термический режим. Карское море является источником холода в летний период и сильных ветров в зимний, что способствует увеличению этой суровости. Показатель среднегодовой температуры в южной части Ямала равен –7°С, а в северной его области составляет –11°С.

Январь является самым холодным месяцем года в большей части территории. Средние температуры данного месяца распределяются так: в районе Заполярья температура понижается от –20 до –27°С по направлению с запада на восток. Почти каждый год в определённые дни температура воздуха в ночное время суток понижается до –39, –44°С. Но во время наиболее холодных зим отметка температуры может опускаться до –52°С в южной части и до –63°С в северной половине.

Началом весны считается период, когда средняя суточная температура воздуха переходит через 0°. Обычно это происходит в конце мая (а на крайнем севере в начале июня). Когда средняя температура воздуха преодолевает отметку в 5°С (обычно это происходит в начале июня), тогда начинается период

вегетации, который заканчивается во второй половине августа - первой половине сентября.

Началом холодного периода на крайнем севере Ямальского и Тазовского полуостровов считается конец сентября, потому что именно тогда температура опускается ниже 0°C. В летние месяцы температурный режим в основном формируется процессом трансформации (прогревание и насыщение влагой воздушных масс, приходящих с севера, и формирование своеобразного континентального воздуха Западной Сибири).

Изотермы теплого периода данной территории располагаются в широтном направлении. Самым теплым месяцем является июль, именно тогда среднемесячная температура воздуха достигает значения в 4°C. Почти каждый год в определённые дни июля и августа температура воздуха может подниматься до 20°C. Но ввремя наиболее жарких летних сезонов температура воздуха может достигать 27–30°C. Для рассматриваемой территории не является исключением вторжение холодных арктических масс воздуха даже в июле. В такие моменты почти во всех районах, кроме южных лесостепных и степных регионов, температура воздуха может опускаться до –1, –4°C, а в северо-западных частях территории до –5, –6°C.

Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 110–125 дней. [4]

1.5 Осадки.

Особенности общей циркуляции атмосферы, в частности фронтальная деятельность западных циклонов, которая наиболее развита в средней части Западно–Сибирской равнины, являются главными факторами, определяющими количество и распределение осадков на рассматриваемой территории.

Количество влаги, которое приносится с запада, почти полностью формирует увлажненность. Арктические массы, приходящие с севера, не дают больших осадков. Континентально–полярные массы, приходящие с юга, хоть и

приносят значительные осадки, но они обычно ограничены сравнительно узкой фронтальной зоной, а также не очень часто повторяются.

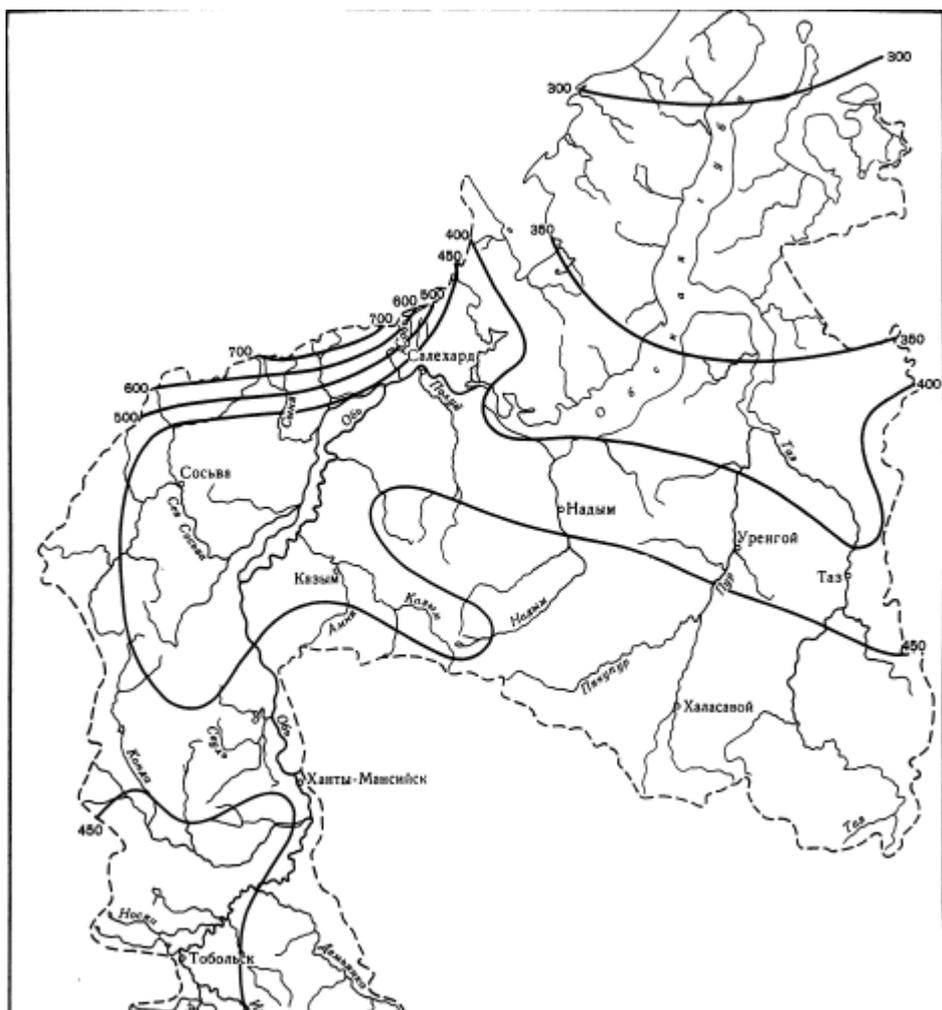
Наибольшее годовое количество осадков составляет всего лишь 300–350 мм. Такие показатели регистрируются в северной тундре на побережье Карского моря. На рисунке 3 приведена карта распределения годовых сумм осадков без поправок на смачивание осадкомерного ведра и ветровой недоучет. Преобладающий здесь арктический воздух содержит мало влаги, поэтому и количество осадков в этом районе невысокое.

Небольшая неравномерность в распределении осадков обусловлена различиями в характере подстилающей поверхности (степень залесенности, наличие огромных заболоченных пространств, широких речных долин).

В холодный период (ноябрь–март) выпадает всего лишь около 20% (90–100 мм) от общей суммы годового количества осадков. Следовательно, для зимнего сезона характерна относительная сухость. Большая часть зимнего количества осадков выпадает в первой половине зимы. Минимальное годовое выпадение осадков происходит в феврале. Именно в этот период в степной и лесостепной зонах выпадает не больше 10–20 мм осадков, а в лесной зоне не больше 20–25 мм.

Основной период выпадения осадков на всей территории происходит с мая по октябрь. Именно в это время выпадает 75–80% годовой нормы осадков. В сентябре наступает годовой максимум осадков.

На рассматриваемой территории очень редко происходит выпадение осадков со слоем 20 или 30 мм в сутки. Подобные явления могут наблюдаться не каждый год и только в летний период. Высшие значения величины суточного количества осадков в Заполярье не превышают 50 мм. [4]



1.6 Снежный покров

Устойчивый снежный покров на территории полуострова в среднем образуется 4–16/X. Даты появления и образования устойчивого снежного каждый год разные. Этот процесс зависит от характера погоды, определяемой особенностями циркуляции предзимнего периода. Период самого интенсивного роста высоты снежного покрова на территории всей рассматриваемой области выпадет на временной отрезок со второй половины ноября до начала января. Именно в этот период количество выпадающих осадков находится на высоком уровне, так как в заполярных районах происходит наибольшая повторяемость

циклонической погоды. Для открытой тундры характерно очень неравномерное залегание снежного покрова. Несмотря на то, что чаще всего в этой местности образуются сугробы, которые образуются в понижениях или в кустарниках и колках, здесь также встречаются места с очень тонким слоем снега. Средние значения максимальных высот снежного покрова составляют 40–50 см. Снежный покров остается в тундре и на островах до 230–260 дней в году. Наибольшей величины снегозапасы достигают максимума в апреле – начале мая и доходят до 160–180 мм. Наибольшая плотность снежного покрова наблюдается на севере и юге территории 0,28–0,34, чему способствует открытость тундры и лесостепи и большие скорости ветра.

Устойчивый снежный покров разрушается намного быстрее, чем образуется. И интенсивность этого разрушения зависит от местных условий. В лесах и на пониженных защищенных территориях таяние снежного покрова происходит медленнее, а на открытых и возвышенных частях заметно быстрее. Процесс разрушения устойчивого снежного покрова длится в период с конца мая до конца июня. [4]

1.7 Почвы и растительность

Практически в каждой природной зоне рассматриваемой территории существует комплексность в размещении почв. На относительно небольших площадях происходит сочетание нескольких почвенных типов, при этом в каждой зоне есть своё определенный преобладающий комплекс генетических типов почв. Для почв Ямала характерна избыточная увлажненность. Причиной этого является незначительное испарение (20–25% от поступления влаги с осадками) и присутствие слоя многолетней мерзлоты, которая затрудняет почвообразовательный процесс. [6]

Растительный покров на рассматриваемой территории сформировывается в неблагоприятных климатических условиях тундровой зоны. Также, растительность долгое время находится под воздействием северных оленей. Для

данной зоны характерны низкорослые растения, которые чаще всего имеют стелющуюся или подушковидную форму, растут куртинами или пятнами. Мхи и лишайники играют важную роль в сложении растительных сообществ территории. Растительность полуострова представлена различными типами тундр, болот и лугоподобных сообществ. Северная часть Ямала представлена арктическими тундрами, которые при постепенном переходе в центральную часть полуострова сменяются на типичные мохово-лишайниковые субарктические тундры, которые, в свою очередь, сменяются на кустарниковые тундры в южной части территории.

Для водоразделов полуострова характерны лишайниковые и моховые тундры. Осоковые болота наблюдаются в речных долинах. Арктические тундры имеют наименьший запас полезных ресурсов, но в летний период там происходит выпас домашних северных оленей. Для большей части Ямала характерно полное отсутствие лесов. Лесную растительность можно встретить только в южной части полуострова. Там растительность северотаёжного типа проникает вглубь тундры через долины некоторых рек. [6]

В северной части арктической тундры (Белый остров, крайняя оконечность полуостровов Ямала и Гыданского), по направлению на север от 70° с. ш., чаще всего располагаются грубые и неразвитые почвы с редкими участками скрытоподзолистых и поверхностно-глеевых почв.

Почвообразовательный процесс на рассматриваемой территории проявляется только в слабом накоплении торфа и грубого гумуса в поверхностных горизонтах. Причиной этого является суровый климат, широкое развитие многолетней мерзлоты и постоянное переувлажнение почв. Для арктической зоны характерно широкое развитие полигональных пятнистых тундр, а также там полностью отсутствуют кустарники и сфагновые болота. Наиболее распространенными представителями травянистой растительности являются полярный лисохвост и луговик.

При движении на юг от 70° с. ш. располагаются типичные тундры. Там наиболее развиты торфянисто-поверхностно-глеевые суглинистые почвы. Также здесь иногда можно встретить подзолистые почвы, но располагаются они только на песках, где более сухо. Большая часть растительности тундры – это мхи и лишайники. Травянистый покров здесь слабо развит. Основными его представителями являются осока и пушица, а наиболее распространенный кустарник – карликовая береза. Примерно между 66 и 68° с. ш. располагается лесотундровая зона. Почвы здесь переходят от торфяно-глеевых к подзолисто-глеевым. Для лесотундры характерны лишайники ягель и мхи, которые составляют основу растительного покрова. Также в этой зоне присутствуют редкие елово-лиственничные участки леса. Основными представителями растительности являются карликовая береза, кустарниковая ольха, багульник и голубика. Луга и склоны речных долин покрыты обилием сочных трав и ягод. [4] На рисунке 4 представлен растительный мир центральной и южной части полуострова Ямал.



<https://ru-travel.livejournal.com/29727263.html>

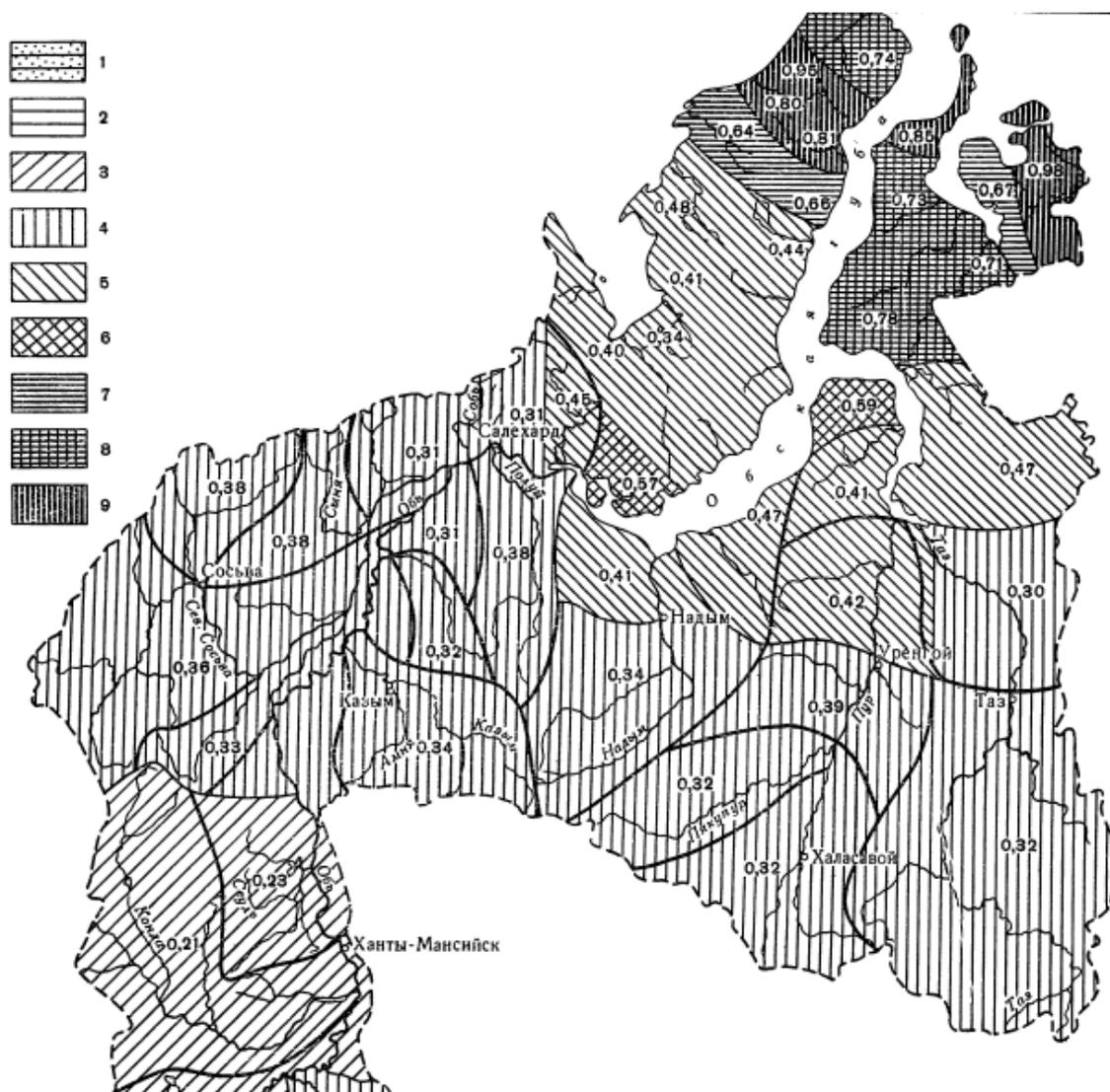
Южная часть зоны представлена почвами торфяно-болотистого типа. При дальнейшем продвижении на юг, большая часть площади занята подзолистыми почвами, которые развиты на суглинках. Самый край южной части территории представлен дерново-подзолистыми почвами. Для растительного покрова данной зоны характерно широкое распространение моховых (сфагновых) болот. [4]

1.8 Гидрографическая сеть

Гидрографическая сеть рассматриваемой территории относится к бассейну Карского моря. Она состоит из большого количества рек и ручьев с постоянным течением. На территории полуострова находятся два водосборных бассейна, которым и принадлежат все местные реки. Линия водораздела здесь простирается с севера на юг, приблизительно через середину полуострова. Благодаря этому, речной сток распределяется относительно равномерно по многочисленным водным артериям. [6]

Высокая водность и зарегулированность стока в течение года обусловлена тем, что северные районы тайги и тундры имеют значительную увлажненность. Лесостепные районы наоборот недостаточно увлажнены, что влияет на низкий сток и неравномерность его распределения в году. Для данной территории характерен замедленный поверхностный сток и слабый естественный дренаж грунтовых вод. Это обусловлено плоским рельефом и малым врезом речных долин. Эта важная гидрологическая особенность стала причиной широкого распространения болот и озер в рассматриваемом регионе. [4]

Наиболее развитой речная сеть является на севере Ямала и достигает показателей 0,8-0,95 км/км². Значения 0,4-0,5 км/км² наблюдаются в центральной и южной областях полуострова, что свидетельствует о меньшей степени развития там речной сети. Карта густоты речной сети представлена на рисунке 5.



5 -

1- 0,1 0,2; 5 0,2 0,3; 4 0,3 0,4; 5 0,4 0,5; 6 0,5 0,6; 7 0,6 0,7; 8 0,7 0,8; 9 0,8 1,0. -

Чаще всего, для рек тундровой зоны характерны небольшие размеры. Большинство рек являются короткими протоками, которые соединяют между собой многочисленные озера. Равнинный рельеф и близкое залегание многолетней мерзлоты к земной поверхности стали причиной того, что реки на Ямале обладают мелкими долинами, имеют небольшую глубину, а также очень извилистые русла и низкие берега. В основном, питание рек полуострова происходит за счёт поверхностных вод, которые образованы снегом и дождем. Из-за присутствия вечной мерзлоты показатели грунтового питания становятся

незначительными. Для половодья на реках рассматриваемой территории характерна достаточно высокая и острая волна. Причинами этого являются быстрый сток поверхностных вод и слабое влияние пойменного, руслового и озерного регулирования. Летние и осенние дожди являются основной причиной возникновения паводков на полуострове. Зимой наблюдается отсутствие дополнительного питания для рек из-за наличия многолетней мерзлоты. Это приводит к тому, что реки имеют сильно пониженный зимний сток или полностью промерзают до дна. [4]

Для рек данной зоны характерны наледные явления. В гидрологическом отношении, огромная часть рек полуострова Ямал не изучена. Наблюдения над стоком здесь ведутся только на р. Щучьей, которая берёт своё начало в отрогах Приполярного Урала. Для водного режима данной реки характерно весенне-летнее половодье, средняя продолжительность которого составляет около 80 дней.

Самыми крупными реками рассматриваемой территории являются Юрибей (длина 450 км), Моды-яха (около 300 км) и Се-яха (около 165 км). Для этих рек равнинного типа характерна низкая скорость течения, также их русла сильно меандрируют в пределах неглубоких и широких долина. В период межени происходит настолько сильное обмеление рек, что даже моторные лодки не могут по ним пройти.

Территория Ямала очень богата озерами, количество которых превышает 50000. По большей части, это маленькие озёра – максимум несколько сотен метров в поперечнике. Но среди общего числа озёр есть и крупные. Их диаметр достигает 10-20 км. Также существует шесть озёр, которые относятся к группам Ярато, Нейто и Ямбуто. Площадь этих водоёмов составляет более 5 км². Чаще всего, маленькие озера характеризуются термокарстовым происхождением (иногда встречаются моренные и остаточные морские). Крупные озёра обычно морского происхождения. Северная часть Ямала характеризуется озерами и болотами, которые обычно приурочены к долинам рек и низким морским террасам. В южной части полуострова озёра и болота занимают как речные

долины, так и водоразделы. Освобождение ото льда на крупных озёрах происходит только к середине лета, а замерзают они уже ко второй половине октября. [6]

2. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для проведения работы были рассмотрены 9 гидрологических постов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Требования для отбора постов состояли в достаточной продолжительности рядов гидрологических данных, без значительных пропусков данных. А также в подборе метеорологической станции, с продолжительными рядами данных и достаточной корреляции гидрологических и метеорологических данных за совместный период. Из первоначально выбранных 9 гидрологических постов, после предварительного анализа данных, 8 постов не прошли отбор по требуемым критериям и остался пост на р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале.

Для проведения работы недостаточно рассматривать и анализировать один пост. Для дальнейшей работы и выполнения поставленной цели и задач было принято решение выйти за границы ЯНАО и выбрать пост, расположенный в 80 км от границы в Ханты -мансийском автономном округе.

Для проведения работы были выбраны три реки – р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале, протекающая по территории Ямало-Ненецкого автономного округа и реки р. Ляпин – п. Саранпауль и р. Северная Сосьва – п. Няксимволь, протекающие по северу Ханты-Мансийского автономного округа. На указанных постах расположены соответствующие им три метеорологические станции Тарко-Сале, Саранпауль, Няксимволь. Расположение гидрометеорологических станций представлено на рисунке 6.

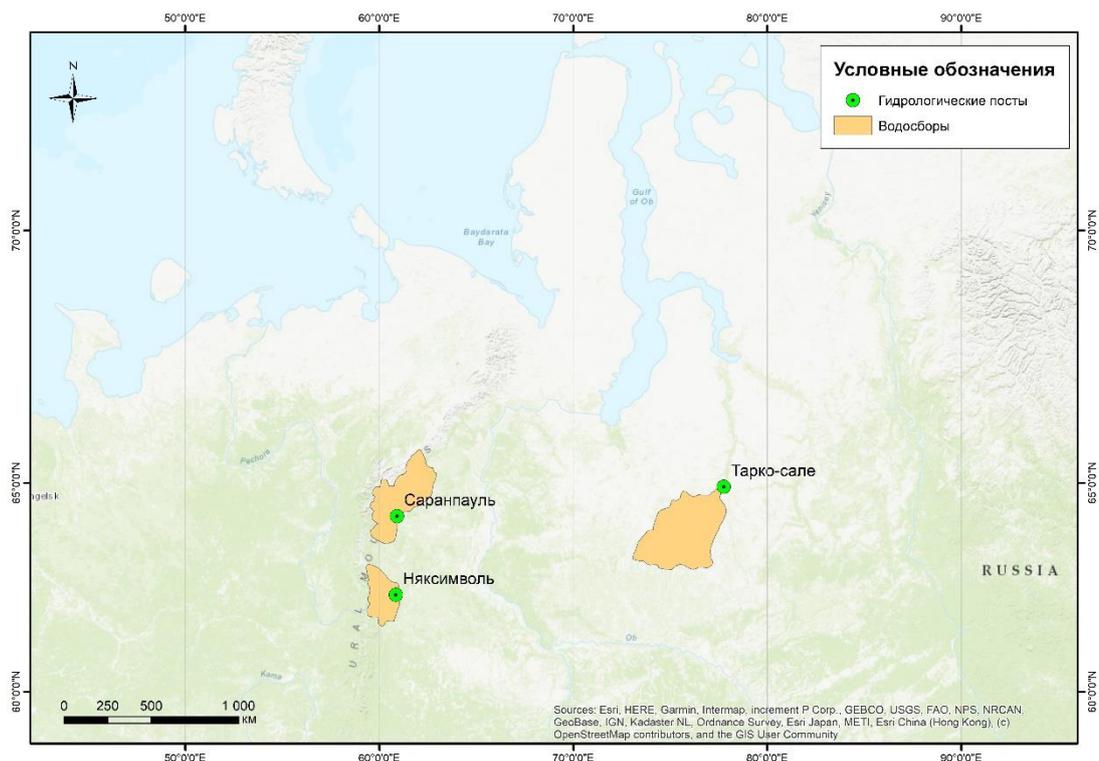


Рисунок 6 – Карта расположения гидрометеорологических станций

По метеорологическим станциям были выбраны данные о суточных температурах грунта на различных глубинах (20 см, 60 см, 80 см, 120 см, 180 см, 240 см, 360 см), среднегодовых температурах воздуха и годовых сумм осадков, полученные с сайта мирового центра данных ВНИИГМИ-МЦД [7]. Для гидрологических постов использовались данные о среднегодовых расходах воды. [8], [9], [10], [11]

Для рядов среднегодовых расходов и годовых сумм осадков была проведена оценка корреляционной зависимости. Рассчитанные коэффициенты корреляции представлены в таблице 2.1.

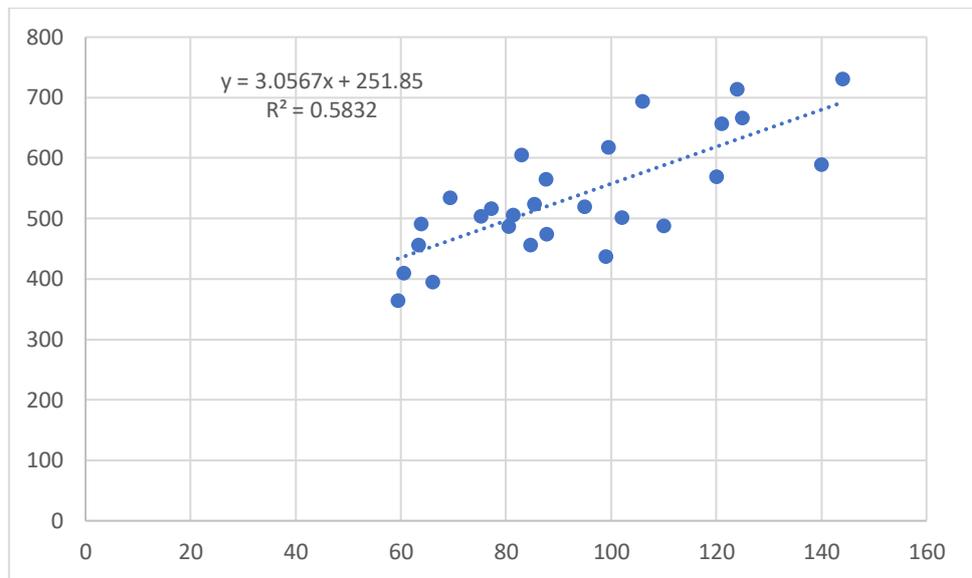


Рисунок – 7. График зависимости среднегодовых расходов воды р. Северная Сосьва – п. Няксимволь и годовых сумм осадков метеостанции Няксимволь

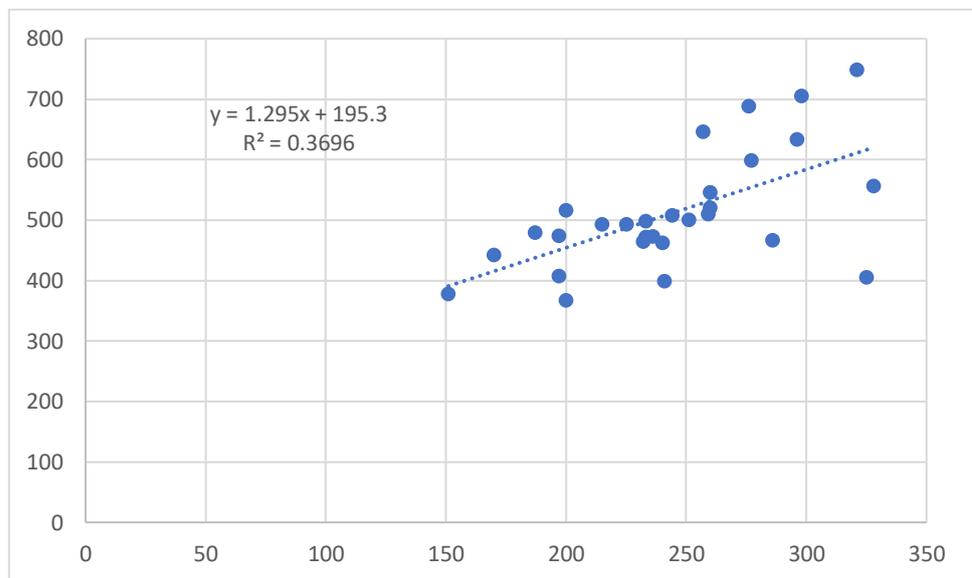


Рисунок – 8. График зависимости среднегодовых расходов воды р. Ляпин - Саранпауль и годовых сумм осадков метеостанции Саранпауль

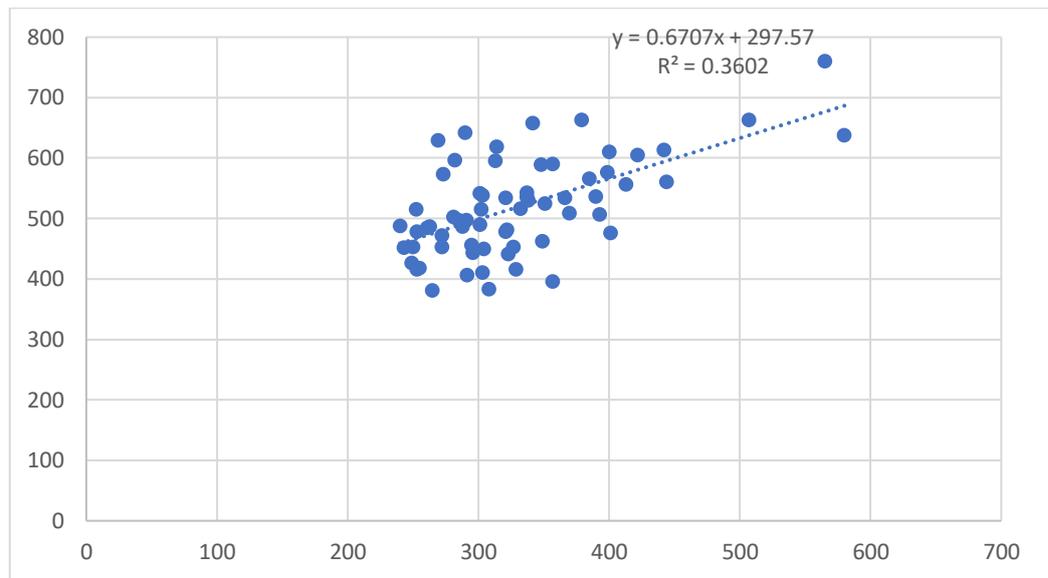


Рисунок – 9. График зависимости среднегодовых расходов воды р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале и годовых сумм осадков метеостанции Тарко-Сале

Таблица 2.1 – Значения коэффициента корреляции для значения среднегодовых расходов и годовых сумм осадков

Пост	Северная Сосьва - Няксимволь	Няксимволь	Ляпин - Саранпауль	Саранпауль	Пяку-Пур - п. Тарко-Сале	Тарко-Сале
R	0,76		0,61		0,60	

При анализе полученных результатов нужно отметить высокую корреляцию между данными гидрологических постов и соответствующих им метеостанциям.

2.1 Анализ гидрологических данных

При предварительной оценке ряда среднегодовых расходов воды р. Северная Сосьва – п. Няксимволь были выявлены пропуски данных наблюдений за 2001, 2002 и 2003 годы. По методу гидрологической аналогии было произведено восстановление ряда.

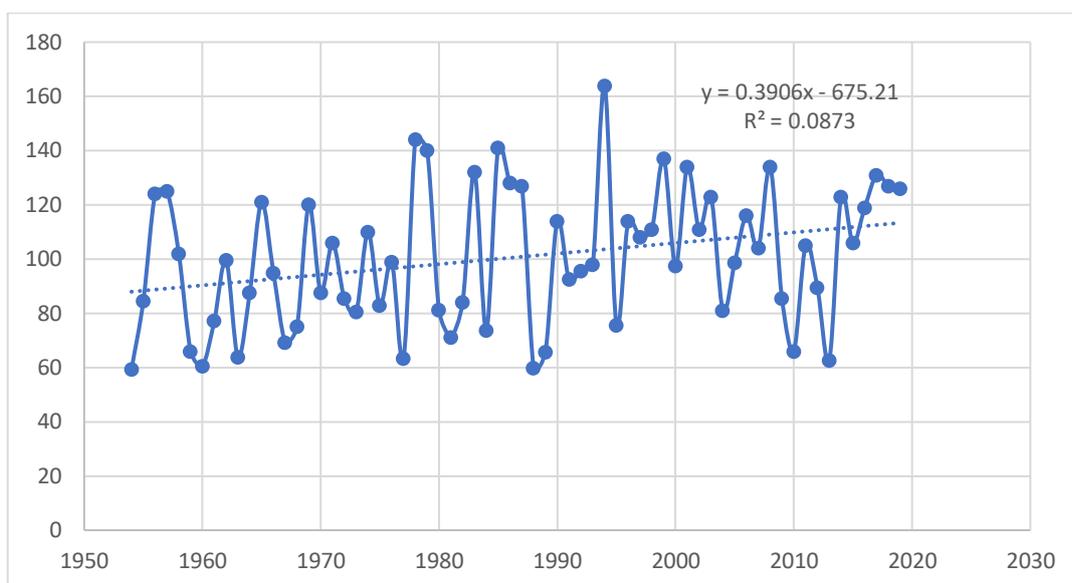


Рисунок 10. - Хронологические графики хода среднегодовых расходов воды
Северная Сосьва – Няксимволь

По визуальной оценке, хронологического графика хода среднегодовых расходов воды Северная Сосьва – Няксимволь можно отметить, что наблюдается тренд на повышение значений с момента начала наблюдений. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда, представленный в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Проверка на значимость тренда ряда среднегодовых расходов воды р. Северная Сосьва - п. Няксимволь

n	66
R ²	0.074
σR	0.12
t _{2α}	2.00
R	0.27
R/σR	2.26

По результатам проверки было выявлено $\frac{R}{\sigma R} > t_{2\alpha}$ - тренд значимый.

Для рядов среднегодовых расходов воды Северная Сосьва – Няксимволь была произведена проверка на однородность по критериям Фишера и Стьюдента. Результаты представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Проверка рядов среднегодовых расходов воды р. Северная Сосьва – Няксимволь на однородность по критерию Стьюдента и Фешера

По Фишеру		По Стьюденту	
Среднее1	89,7	Среднее1	89,7
Среднее2	96,0	Среднее2	96,0
D1	572	D1	572
D2	627	D2	627
Fэмп	Fт	tэмп	tт
0,913	0,376	0,68	1,71

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера больше теоретического, гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине меньше теоретического гипотеза об однородности ряда годовых сумм осадков по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ не опровергается.

В соответствии с СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик [12] расчет статистических характеристик для рядов среднегодовых температур и годовых сумм осадков производился методом моментов. Результаты расчетов представлены в таблице 2.4

Таблица 2.4 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых расходов воды р. Северная Сосьва - п. Няксимволь

среднее	101
Cv	0.25
Cs	0.14
Cs/Cv	0.56
СКО	25.4
Дисперсия	644
EQ%	3.10
Escv%	8.9



Рисунок 11 – Хронологические графики хода среднегодовых расходов воды р. Ляпин - п. Саранпауль

По визуальной оценке, хронологического графика хода среднегодовых расходов воды Северная Сосьва – Няксимволь можно отметить, что тренд на повышение или понижение значений не наблюдается. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда, представленный в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Проверка на значимость тренда ряда среднегодовых расходов воды р. Ляпин - п. Саранпауль

n	42
R ²	0.0018
σR	0.16
t _{2α}	2.02
R	0.04
R/σR	0.27

По результатам проверки было выявлено $\frac{R}{\sigma R} < t_{2\alpha}$ - тренд не значимый.

Для рядов среднегодовых расходов воды р. Ляпин - п. Саранпауль были произведены проверки на однородность по критериям Фишера и Стьюдента. Результаты представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Проверка рядов среднегодовых расходов воды р. Ляпин - п. Саранпауль на однородность по критерию Стьюдента и Фешера

По Фишеру		По Стьюденту	
Среднее1	253	Среднее1	253
Среднее2	237	Среднее2	237
D1	1969	D1	1969
D2	2140	D2	2140
Fэмп	Fт	Fэмп	Fт
0,92	0,39	0,93	1,70

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера больше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине меньше теоретического гипотеза об однородности ряда годовых сумм осадков по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ не .

Расчет статистических характеристик для рядов среднегодовых расходов воды р. Ляпин - п. Саранпауль производился методом моментов. Результаты представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых расходов воды р. Ляпин - п. Саранпауль

среднее	248
Cv	0.18
Cs	-0.06
Cs/Cv	-0.31
СКО	45.9

Дисперсия	2103
EQ%	2.85
Escv%	11.1

При предварительной оценке ряда среднегодовых расходов воды р. Северная Сосьва – п. Няксимволь были выявлены пропуски данных наблюдений за 1982 и 2014 годы. По методу гидрологической аналогии было произведено восстановление ряда.

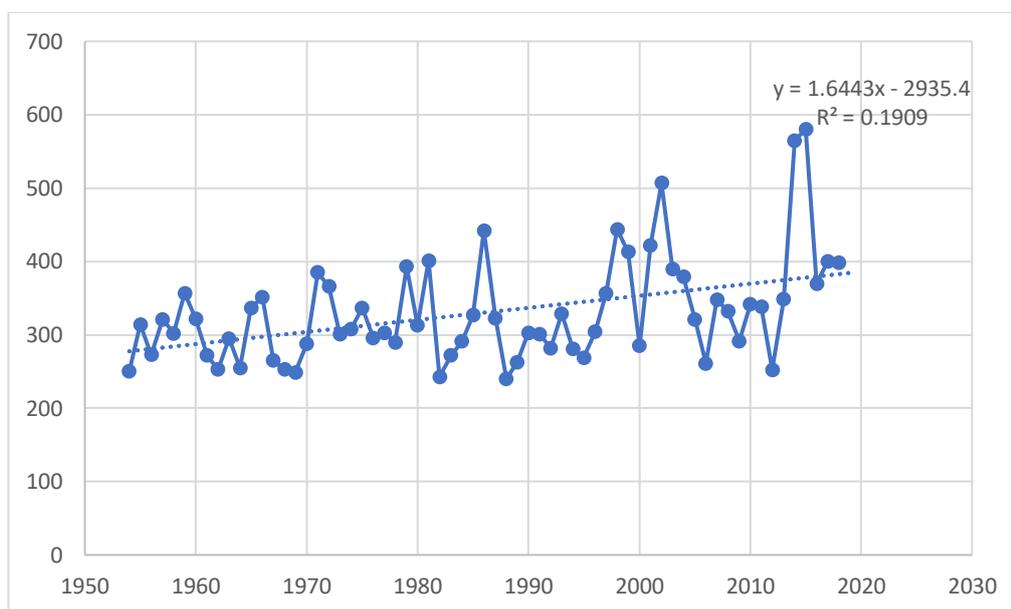


Рисунок 12 – Хронологические графики хода среднегодовых расходов воды Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

По визуальной оценке, хронологического графика хода среднегодовых расходов воды р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале можно отметить, что наблюдается тренд на повышение значений с момента начала наблюдений. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда. Результаты представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Проверка на значимость тренда ряда среднегодовых расходов воды р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

n	65
R ²	0.163
σR	0.12
t _{2α}	2.00
R	0.40
R/σR	3.50

По результатам проверки было выявлено $\frac{R}{\sigma R} > t_{2\alpha}$ - тренд значимый.

Для рядов среднегодовых расходов воды р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале были произведены проверки на однородность по критериям Фишера и Стьюдента. Результаты представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Проверка рядов среднегодовых расходов воды на однородность по критерию Стьюдента и Фишера

По Фишеру		По Стьюденту	
Среднее1	300	Среднее1	300
Среднее2	311	Среднее2	311
D1	1385	D1	1385
D2	2046	D2	2046
Fэмп	Fт	Fэмп	Fт
0,68	0,38	0,65	1,71

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера больше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине меньше теоретического гипотеза об однородности ряда годовых сумм осадков по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ не .

Расчет статистических характеристик для рядов среднегодовых расходов воды р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале производился методом моментов. Результаты представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых расходов воды р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

Характерика	Значение	Погрешность
среднее	306	2,59
C_v	0,13	13,69
C_s	0,46	107
C_s/C_v	3,44	
СКО	41,1	
Дисперсия	1689,6	

2.2 Анализ исходных данных метеорологических станций

Для метеостанции Няксимволь были использовались данные о суточных температурах грунта на глубинах 20 см, 60 см, 80 см, 120 см, 180 см, 240 см, 360 см с 1963 по 2015 годы. Построены хронологические графики хода температур.

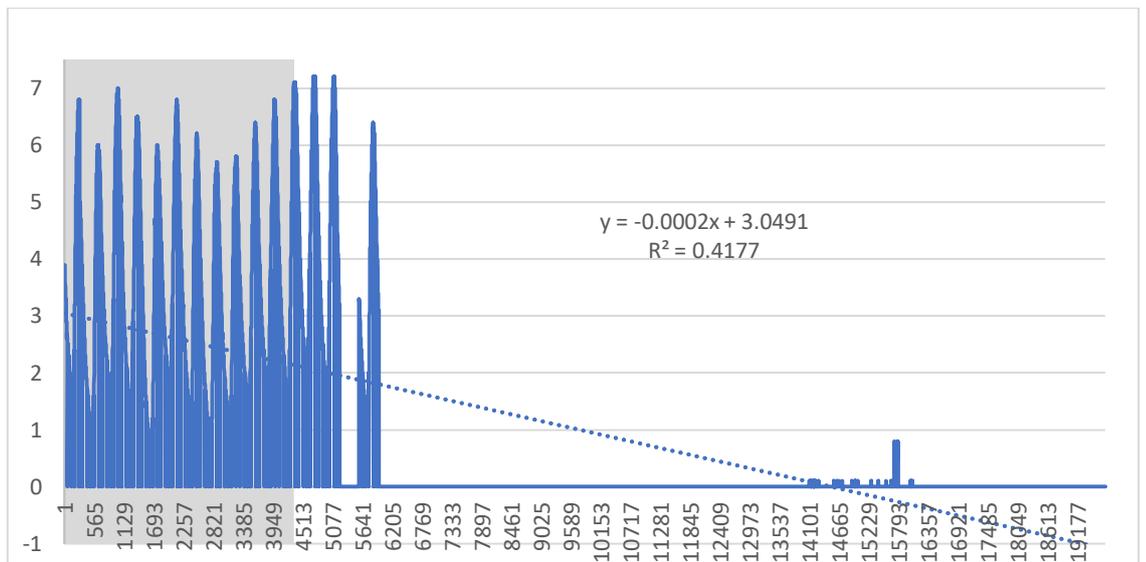


Рисунок 13 – Хронологические графики хода температур на глубине 360 см метеостанция Няксимволь

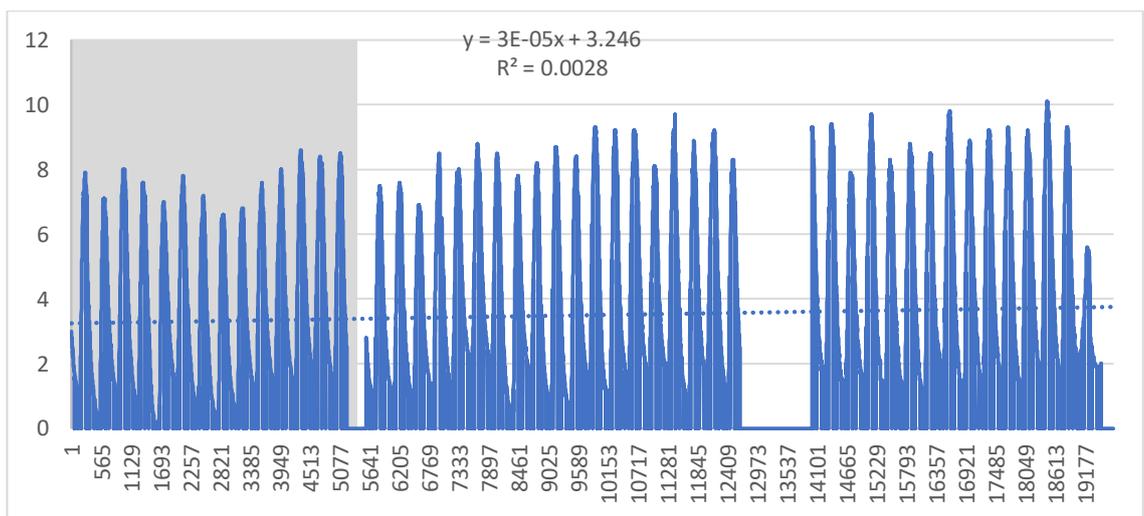


Рисунок 14 – Хронологические графики хода температур на глубине 240 см метеостанция Няксимволь

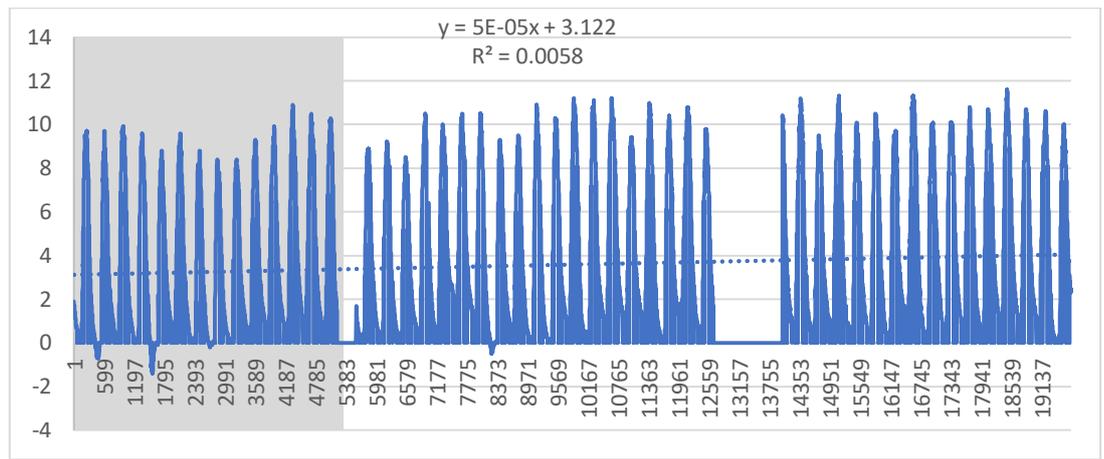


Рисунок 15 – Хронологические графики хода температур на глубине 180 см метеостанция Няксимволь

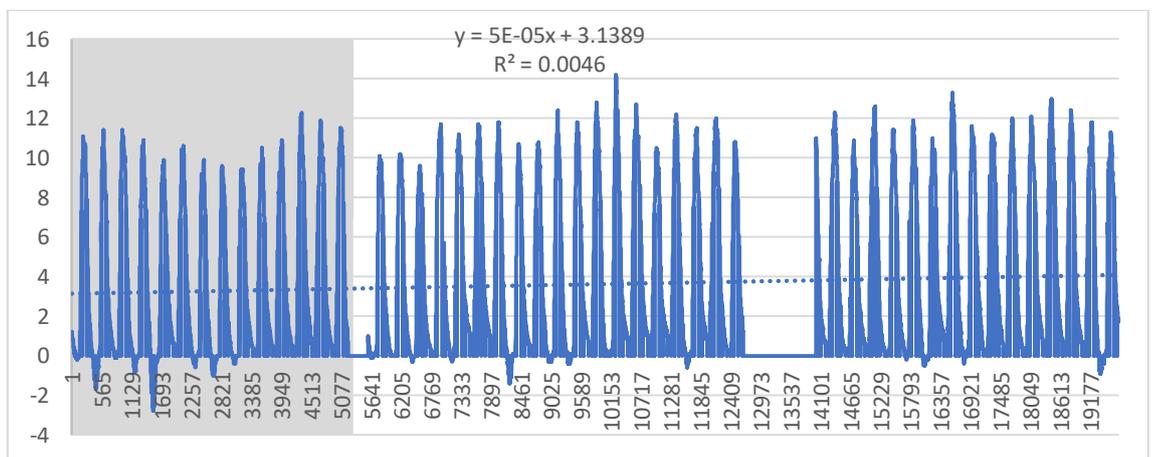


Рисунок 16 – Хронологические графики хода температур на глубине 120 см метеостанция Няксимволь

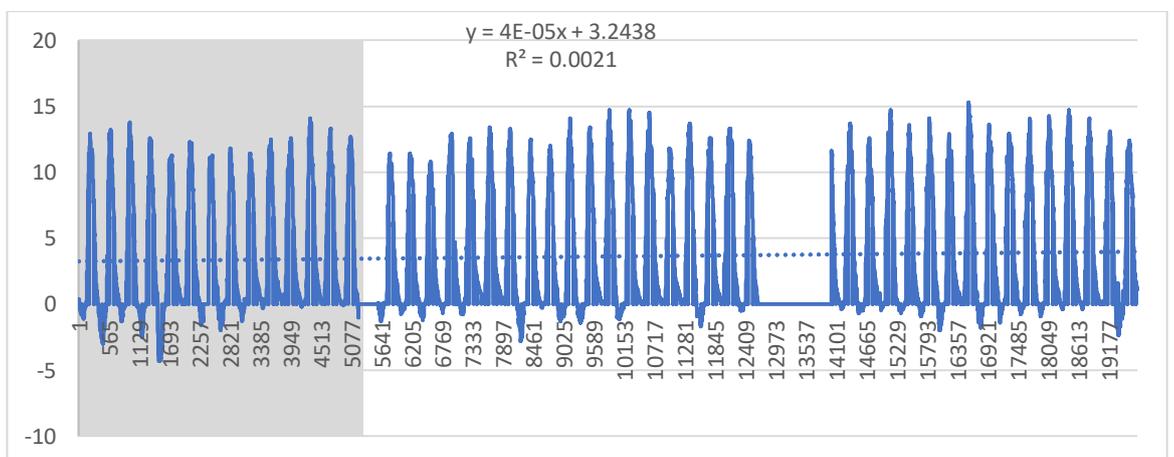


Рисунок 17 – Хронологические графики хода температур на глубине 80 см метеостанция Няксимволь

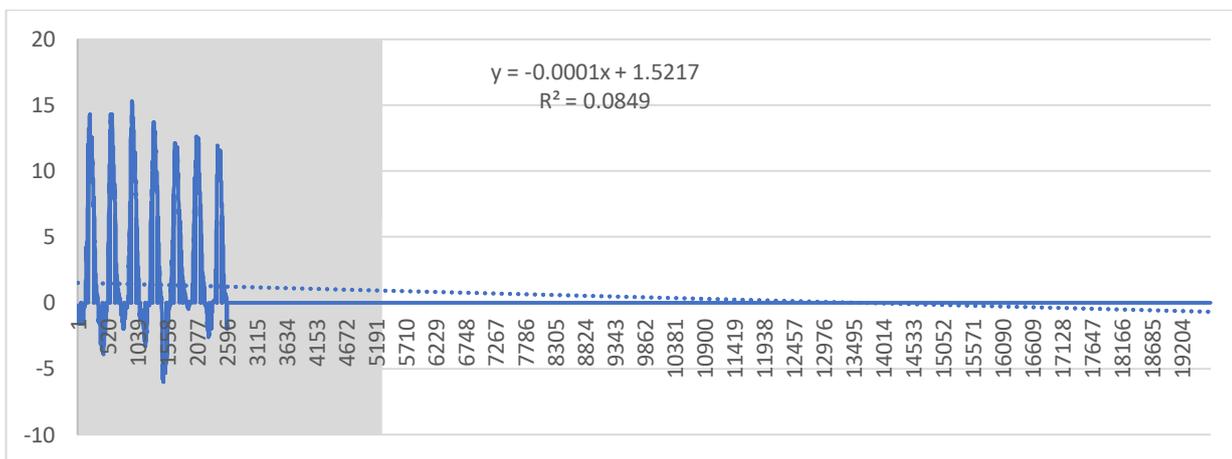


Рисунок 18 – Хронологические графики хода температур на глубине 60 см метеостанция Няксимволь

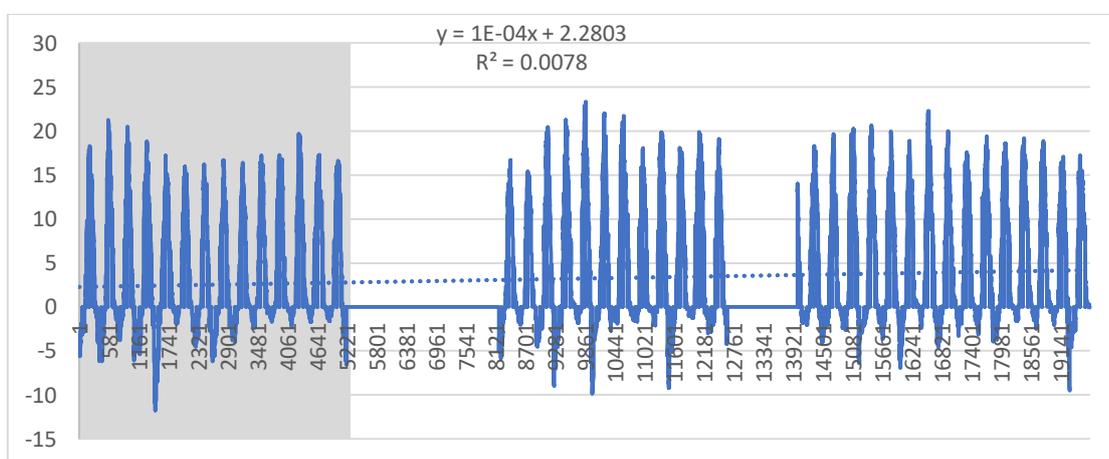


Рисунок 19 – Хронологические графики хода температур на глубине 20 см метеостанция Няксимволь

По визуальной оценке, данных можно отметить, что наблюдается тренд на повышение значений температур почвы с момента начала наблюдений. Для более точной оценки необходимо произвести расчет значимости тренда. Так же отмечаются пробелы в рядах данных. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда. Результаты представлены в таблице 2.11

Таблица.2.11 – Результаты проверки на значимость тренда рядов температур почв метеостанции Няксимволь

Температура на глубине	R/σR	t2α	Значимость тренда
360	3,94	1,96	Значим
240	6.99	1,96	Значим

180	10.10	1,96	Значим
120	9.02	1,96	Значим
80	6.07	1,96	Значим
60	15.40	1,96	Значим
20	10.90	1,96	Значим

Для метеорологической станции Няксимволь были выбраны ряды среднегодовых температурах воздуха за период 1936-2021 и годовых сумм осадков за период 1934-2021год.

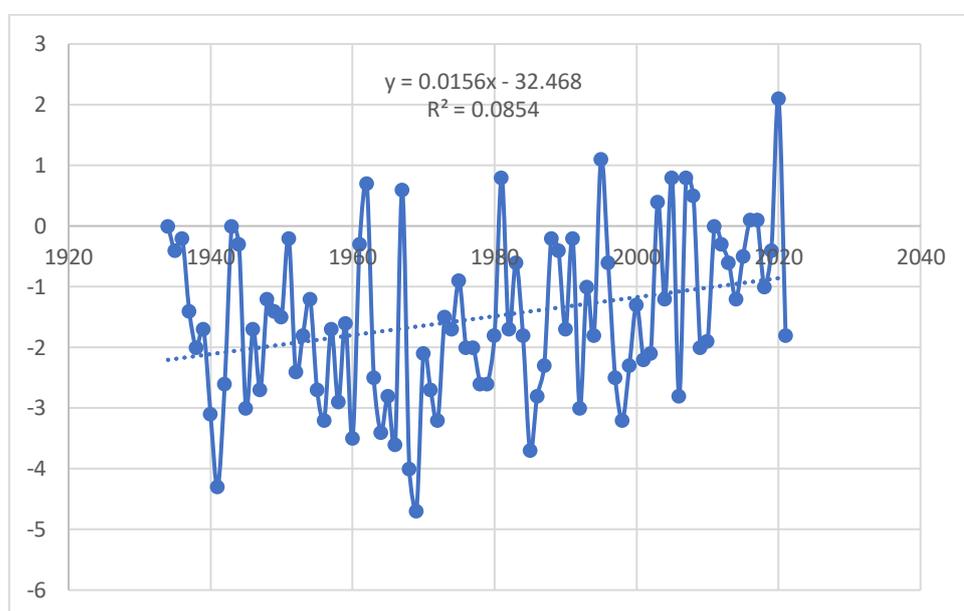


Рисунок 20 – Хронологические графики хода среднегодовых температур воздуха метеостанция Няксимволь

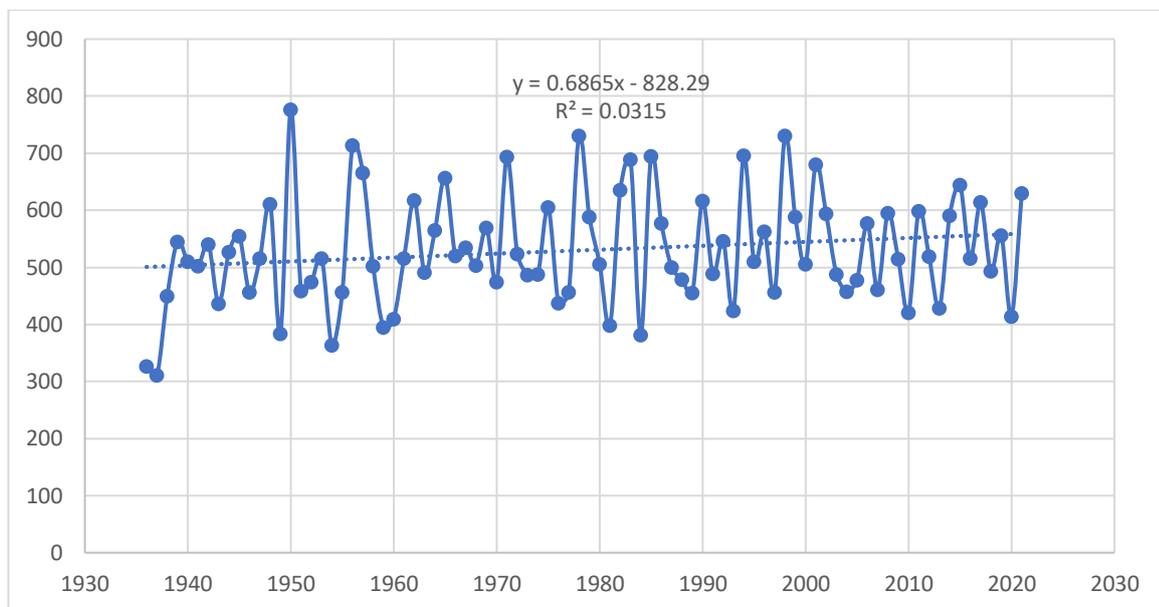


Рисунок 21 – Хронологические графики хода годовых сумм осадков метеостанция Няксимволь

По визуальной оценке, хронологического графика хода годовых сумм осадков и среднегодовых температур воздуха можно отметить, что наблюдается тренд на повышение значений с момента начала наблюдений. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда. Для ряда температур и осадков. Результаты представлены в таблице. 2.12 и 2.13. соответственно.

Таблица 2.12 – Проверка на значимость тренда ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Няксимволь

n	88
R ²	0.0854
oR	0.10
t _{2α}	1.99
R	0.29
R/oR	2.83

Таблица 2.13 – Проверка на значимость тренда ряда годовых сумм осадков метеостанции Няксимволь

n	86
R2	0.0315
oR	0.11
t2α	1.99
R	0.18
R/oR	1.65

По результатам проверки было выявлено неравенство $\frac{R}{\sigma R} > t_{2\alpha}$ при котором тренд значимый для рядов температур и осадков.

Для рядов температур и осадков были произведены проверки на однородность по критериям Фишера и Стьюдента.

Эмпирическое значение статистики Фишера сравнивается с теоретическим F_t при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Теоретическое значение статистики Фишера определяется по таблице F-распределения в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы ν_1 и ν_2 . Эмпирическое значение статистики Стьюдента сравнивается с теоретическим t_t при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Теоретическое значение статистики Стьюдента определяется по таблице t-распределения в зависимости от принятого уровня значимости и числа степеней свободы ν .

Результаты представлены в таблице 2.14 и 2.15.

Таблица 2.14 – Проверка рядов годовых сумм осадков на однородность по критерию Стьюдента и Фешера

По Фишеру		По Стьуденту	
Среднее1	518	Среднее1	518
Среднее2	542	Среднее2	542
D1	10584	D1	10584
D2	7995	D2	7995
Fэмп	Fт	Fэмп	Fт
1,32	1,67	1,15	1,66

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера меньше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине меньше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Таблица 2.15 – Проверка рядов среднегодовых температур воздуха на однородность по критерию Стьюдента и Фешера

По Фишеру		По Стьуденту	
Среднее1	-1,9	Среднее1	-1,9
Среднее2	-1,1	Среднее2	-1,1
D1	1,7	D1	1,7
D2	1,8	D2	1,8
Fэмп	Fт	Fэмп	Fт
0,968	0,602	2,62	1,66

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера больше теоретического. Гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине больше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Расчет статистических характеристик для рядов среднегодовых температур и годовых сумм осадков производился методом моментов.

Результаты расчета представлены в таблице 2.16 и 2.17.

Таблица 2.16 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда годовых сумм осадков станции Няксимволь

среднее	530
Cv	0.18
Cs	0.31

Cs/Cv	1.73
СКО	96.6
Дисперсия	9325
EQ%	1.96
Escv%	7.7

Таблица 2.17 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых температур воздуха станции Няксимволь

среднее	2
Cv	0.90
Cs	0.15
Cs/Cv	0.17
СКО	1.4
Дисперсия	2
EQ%	9.56
Escv%	9.8

Для метеостанции Саранпауль были использовались данные о суточных температурах грунта на глубинах 80 см, 160 см с 1978 по 2015 годы. Построены хронологические графики хода температур.

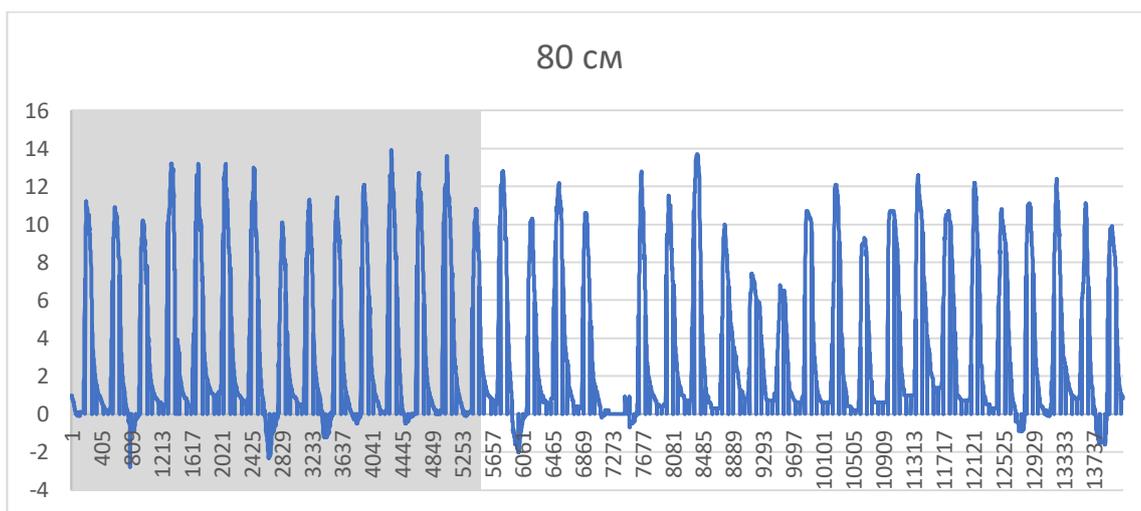


Рисунок 22 – Хронологические графики хода температур на глубине 80см метеостанция Саранпауль

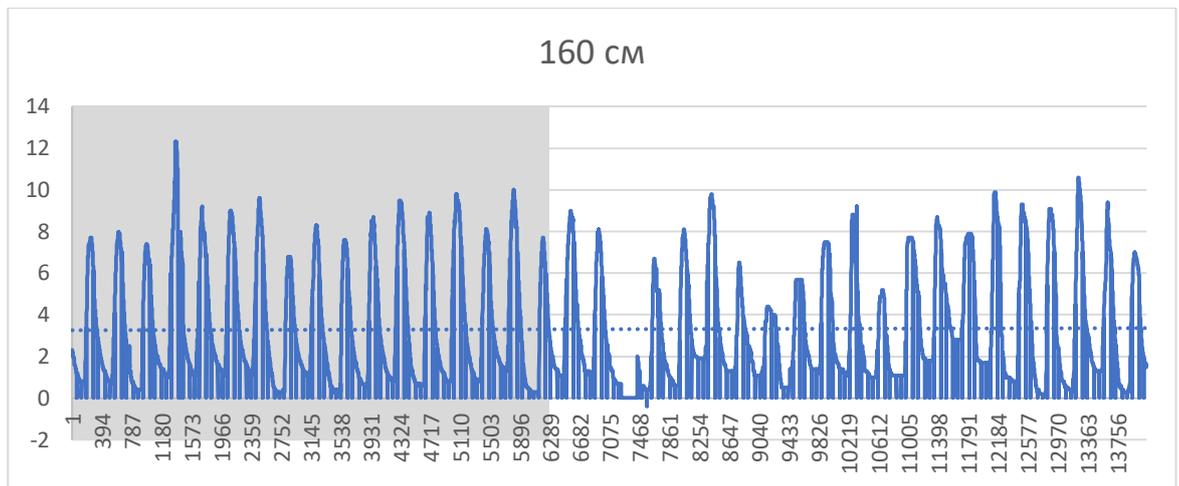


Рисунок 23 – Хронологические графики хода температур на глубине 160см метеостанция Саранпауль

По визуальной оценке, данных можно отметить, что наблюдается тренд на повышение значений температур с момента начала наблюдений. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда. Результаты представлены в таблице 2.18.

Таблица 2.18. Результаты проверки на значимость тренда рядов температур почв метеостанции Саранпауль

Температура на глубине	$R/\sigma R$	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
160	3.03	1,96	Значим
80	1.17	1,96	Не значим

По результатам проверки для ряда температур на глубине 160 см было выявлено неравенство $\frac{R}{\sigma R} > t_{2\alpha}$ при котором тренд значимый. Для ряда температур на глубине 80 см было выявлено неравенство $\frac{R}{\sigma R} < t_{2\alpha}$, при котором тренд не значим.

Для метеорологической станции Саранпауль были выбраны ряды среднегодовых температурах воздуха за период 1937-2021 и годовых сумм осадков за период 1937-2021год.

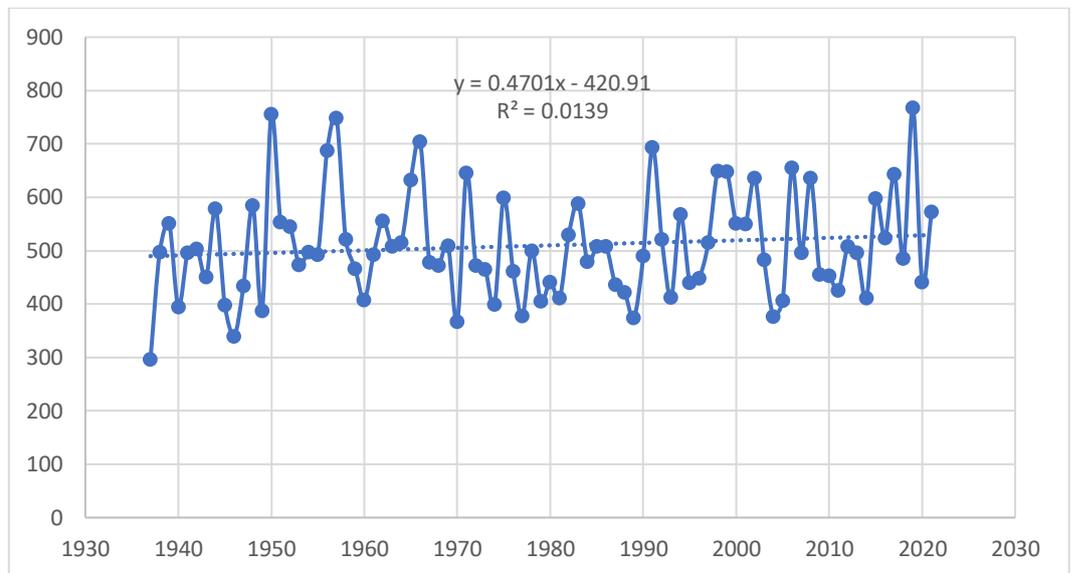


Рисунок 24 – Хронологические графики хода годовых сумм осадков метеостанция Саранпауль

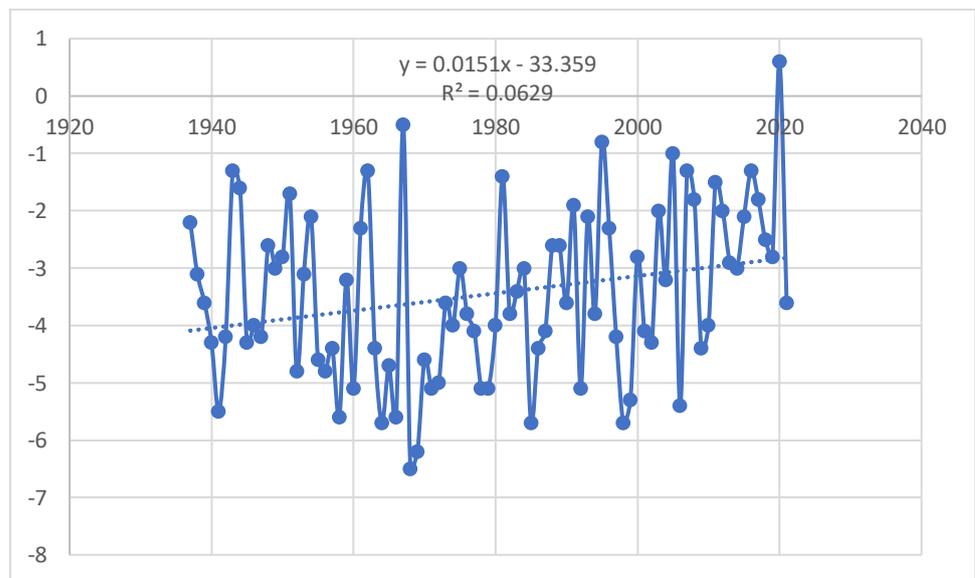


Рисунок 25 – Хронологические графики хода среднегодовых температур воздуха метеостанция Саранпауль

По визуальной оценке, хронологического графика хода годовых сумм осадков и среднегодовых температур воздуха можно отметить, что наблюдается тренд на повышение значений с момента начала наблюдений. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда. Для ряда температур и осадков. Результаты представлены в таблице 2.19. и .2.20 соответственно.

Таблица 2.19 – Проверка на значимость тренда ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Саранпауль

n	85
R ²	0.0629
σR	0.11
t _{2α}	1.99
R	0.25
R/σR	2.36

По результатам проверки для ряда температур воздуха было выявлено неравенство $\frac{R}{\sigma R} > t_{2\alpha}$ при котором тренд значимый. Для ряда осадков было выявлено неравенство $\frac{R}{\sigma R} < t_{2\alpha}$, при котором тренд не значим.

Таблица 2.20 – Проверка на значимость тренда ряда годовых сумм осадков метеостанции Саранпауль

n	85
R ²	0.0239
σR	0.11
t _{2α}	1.99
R	0.15
R/σR	1.43

Для рядов температур и осадков были произведены проверки на однородность по критериям Фишера и Стьюдента. Результаты представлены в таблице 2.21 и 2.22.

Таблица 2.21 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда годовых сумм осадков метеостанция Саранпауль

По Фишеру		По Стьуденту	
Среднее±1	506	Среднее±1	506

Среднее2	513	Среднее2	513
D1	10803	D1	10803
D2	8782	D2	8782
Fэмп	Fт	Fэмп	Fт
1,23	1,67	0,36	1,66

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера меньше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине меньше теоретического гипотеза об однородности ряда годовых сумм осадков по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Таблица 2.22 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых температур воздуха метеостанция Саранпауль

По Фишеру		По Стьуденту	
Среднее1	-3,85	Среднее1	-3,85
Среднее2	-3,07	Среднее2	-3,07
D1	2,04	D1	2,04
D2	2,12	D2	2,12
Fэмп	Fт	Fэмп	Fт
0,96	0,60	2,48	1,66

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера больше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине больше теоретического гипотеза об однородности ряда среднегодовых температур воздуха по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Расчет статистических характеристик для рядов среднегодовых температур и годовых сумм осадков производился методом моментов. Результаты представлены в таблице 2.23 и 2.24.

Таблица 2.23 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых температур воздуха станции Саранпауль

среднее	-3.5
Cv	0.43
Cs	0.23
Cs/Cv	0.53
СКО	1.5
Дисперсия	2
EQ%	4.67
Escv%	8.3

Таблица 2.24 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда годовых сумм осадков станции Саранпауль

среднее	509
Cv	0.19
Cs	0.61
Cs/Cv	3.17
СКО	98.4
Дисперсия	9679
EQ%	2.09
Escv%	7.8

-

Для метеостанции Тарко-Сале были использовались данные о суточных температурах грунта на глубинах 20 см, 40 см, 80 см, 120 см, 160 см с 1978 по 2015 годы. Построены хронологические графики хода температур.

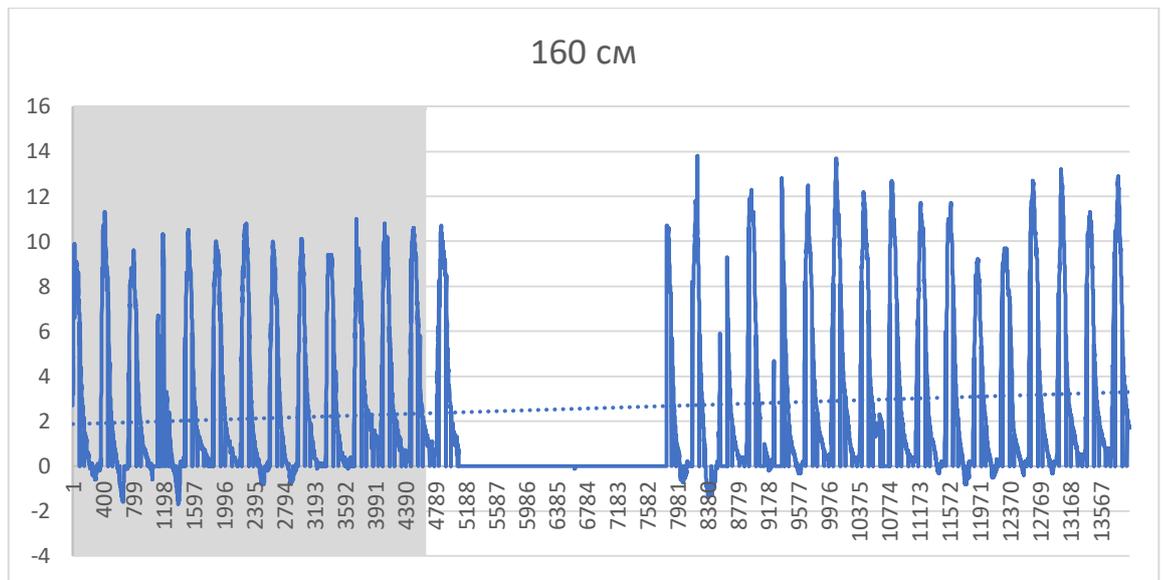


Рисунок 26 – Хронологические графики хода температур на глубине 160 см метеостанция Тарко-Сале

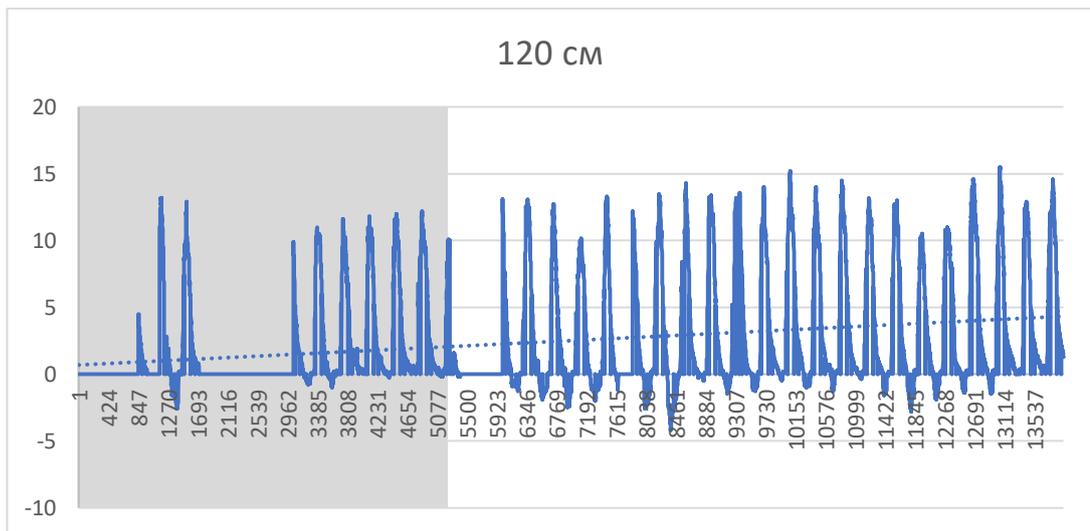


Рисунок 27 – Хронологические графики хода температур на глубине 120 см метеостанция Тарко-Сале

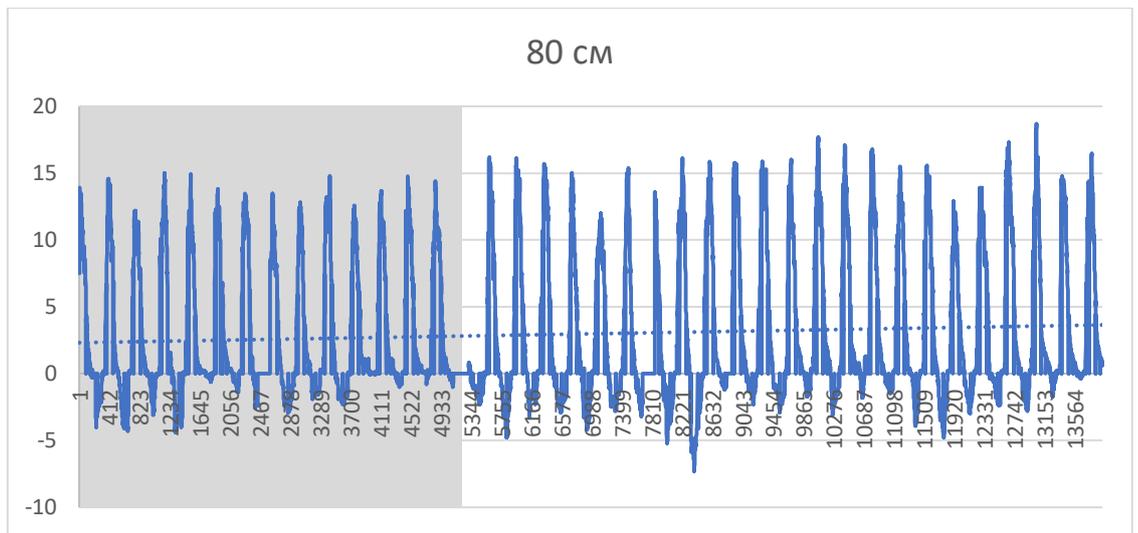


Рисунок 28 – Хронологические графики хода температур на глубине 80 см метеостанция Тарко-Сале

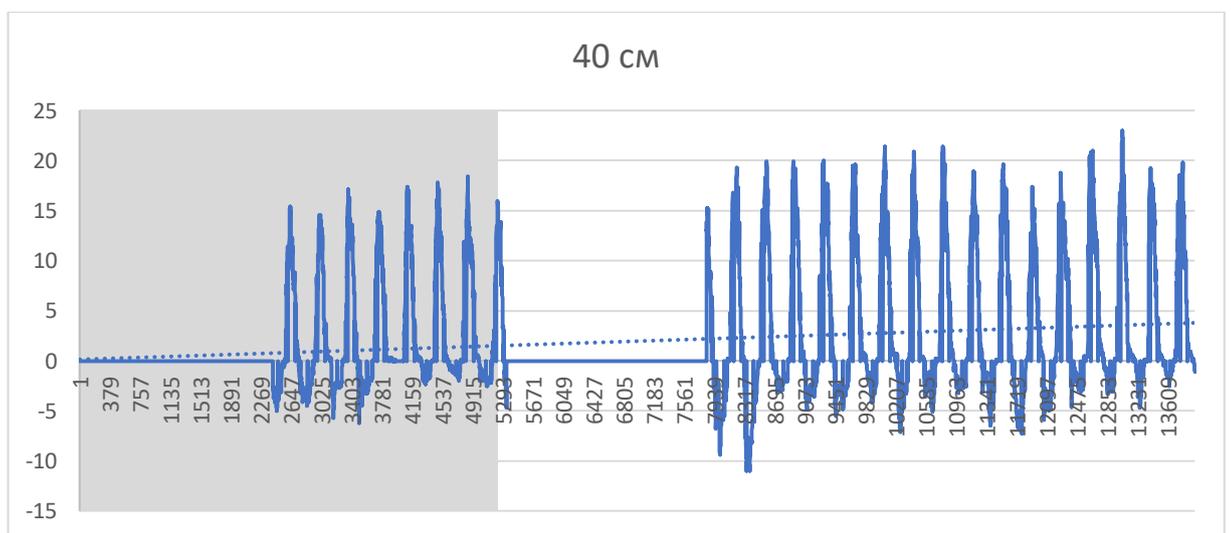


Рисунок 29 – Хронологические графики хода температур на глубине 40 см метеостанция Тарко-Сале

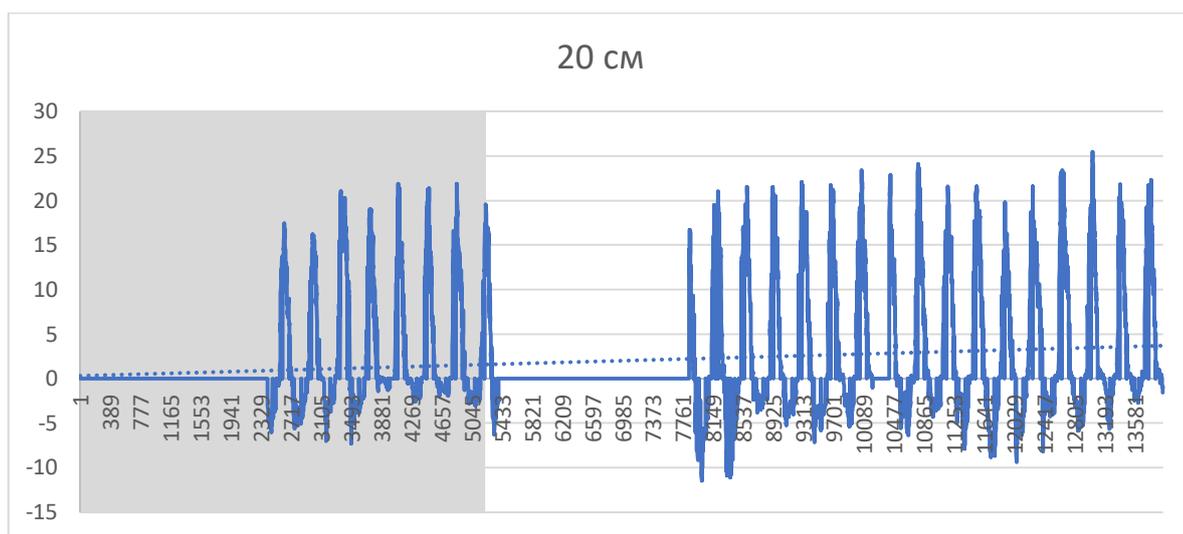


Рисунок 30 – Хронологические графики хода температур на глубине 20 см метеостанция Тарко-Сале

По визуальной оценке, данных можно отметить, что наблюдается тренд на повышение значений температур почвы с момента начала наблюдений. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда. Результаты представлены в таблице 2.25.

Таблица 2.25. Результаты проверки на значимость тренда рядов температур почв метеостанции Тарко-Сале

Температура на глубине	$R/\sigma R$	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
160	11.70	1,96	Значим
120	26.58	1,96	Значим
80	8.17	1,96	Значим
40	17.61	1,96	Значим
20	14.59	1,96	Значим

По результатам проверки для ряда температур на всех глубинах было выявлено неравенство $\frac{R}{\sigma R} > t_{2\alpha}$ при котором тренд значимый.

Для метеорологической станции Тарко-Сале были выбраны ряды среднегодовых температур воздуха за период 1937-2021 и годовых сумм осадков за период 1937-2021год.

По визуальной оценке, данных можно отметить, что наблюдается тренд на повышение значений температур воздуха и осадков с момента начала наблюдений. Для более точной оценки был произведен расчет значимости тренда. Результаты представлены в таблице 2.26 и 2.27 соответственно.

Таблица 2.26 – Проверка на значимость тренда ряда годовых сумм осадков метеостанции Тарко-Сале

n	85
R ²	0.1517
σR	0.10
t _{2α}	1.99
R	0.39
R/σR	3.85

Таблица 2.27 – Проверка на значимость тренда ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Тарко-Сале

n	85
R ²	0.1704
σR	0.10
t _{2α}	1.99
R	0.41
R/σR	4.13

По результатам проверки для ряда температур воздуха и осадков было выявлено неравенство $\frac{R}{\sigma R} > t_{2\alpha}$ при котором тренд значимый.

Для рядов температур и осадков были произведены проверки на однородность по критериям Фишера и Стьюдента. Результаты представлены в таблице 2.28 и 2.29.

Таблица 2.28 Проверка рядов годовых сумм осадков на однородность по критерию Стьюдента и Фешера

По Фишеру		По Стьюденту	
Среднее1	493	Среднее1	493
Среднее2	545	Среднее2	545
D1	4381	D1	4381
D2	6628	D2	6628
Fэмп	Fт	Fэмп	Fт
0,66	0,60	3,23	1,66

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера больше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине больше теоретического гипотеза об однородности ряда годовых сумм осадков по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Таблица 2.29 Проверка рядов среднегодовых температур воздуха на однородность по критерию Стьюдента и Фешера

По Фишеру		По Стьюденту	
Среднее1	-6,47	Среднее1	-6,47
Среднее2	-4,98	Среднее2	-4,98
D1	2,33	D1	2,33
D2	2,58	D2	2,58
Fэмп	Fт	Fэмп	Fт
0,90	0,60	4,73	1,66

По результатам проверки эмпирическое значение статистики Фишера больше теоретического гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Эмпирическое значение статистики Стьюдента по абсолютной величине больше теоретического гипотеза об

однородности ряда среднегодовых температур воздуха по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Расчет статистических характеристик для рядов среднегодовых температур и годовых сумм осадков производился методом моментов. Результаты представлены в таблице 2.30 и 2.31.

Таблица 2.30 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда годовых сумм осадков метеостанция Тарко-Сале

среднее	520
Cv	0.15
Cs	0.50
Cs/Cv	3.32
СКО	78.3
Дисперсия	6126
EQ%	1.63
Escv%	7.75

Таблица 2.31 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых температур метеостанция Тарко-Сале

среднее	-5.7
Cv	0.30
Cs	0.30
Cs/Cv	1.00
СКО	1.7
Дисперсия	3.0
EQ%	3.28
Escv%	7.98

2.3 Определение максимальной неоднородности рядов

Для определения максимальной неоднородности рядов среднегодовых расходов воды необходимо определить точку перелома ряда. Для этого были выбраны первые 20 лет, для выделенного периода определялась эмпирического и теоретического коэффициента Фишера и Стьюдента и их разница.

Последовательно со сдвижкой на один год производились расчеты, до тех пор, пока сдвигка не достигнет 20 лет. Максимальная разность эмпирического и теоретического коэффициента определяет точку перелома неоднородности ряда. После получения двух периодов для каждого производится оценка значимости тренда, определение однородности ряда и определение статистических характеристик.

Таблица 2.32 – Определение точки перелома для ряда среднегодовых расходов воды р. Пяку-Пур - п. Тарк-Сале

Период		F	Разность	$t_{кр}$	t	$ABS(t)$	Разность
1954-1973	0.31	0.44	-0.13	1.73	-0.47	0.47	1.27
1954-1974	0.33	0.52	-0.19	1.73	-1.00	1.00	0.73
1954-1975	0.34	0.56	-0.22	1.72	-1.18	1.18	0.54
1954-1976	0.35	0.60	-0.25	1.72	-0.77	0.77	0.95
1954-1977	0.35	0.66	-0.30	1.72	-0.78	0.78	0.94
1954-1978	0.37	0.79	-0.43	1.71	-0.21	0.21	1.51
1954-1979	0.37	0.62	-0.25	1.71	-0.61	0.61	1.10
1954-1980	0.38	0.67	-0.29	1.71	-1.03	1.03	0.67
1954-1981	0.39	0.57	-0.18	1.71	-1.37	1.37	0.33
1954-1982	0.40	0.56	-0.16	1.70	-1.52	1.52	0.19
1954-1983	0.40	0.56	-0.16	1.70	-1.34	1.34	0.36
1954-1984	0.41	0.65	-0.24	1.70	-1.79	1.79	-0.09
1954-1985	0.42	0.70	-0.28	1.70	-1.88	1.88	-0.18
1954-1986	0.43	0.47	-0.04	1.70	-2.36	2.36	-0.66
1954-1987	0.43	0.50	-0.07	1.69	-2.41	2.41	-0.72
1954-1988	0.44	0.60	-0.16	1.69	-1.44	1.44	0.25
1954-1989	0.44	0.60	-0.15	1.69	-1.26	1.26	0.43
1954-1990	0.45	0.68	-0.23	1.69	-0.83	0.83	0.86
1954-1991	0.45	0.72	-0.27	1.69	-0.81	0.81	0.88
1954-1992	0.46	0.67	-0.21	1.69	-0.76	0.76	0.93
1954-1993	0.46	0.70	-0.24	1.69	-0.84	0.84	0.85

Для р. Пяку-Пур - п. Тарк-Сале были определена точка перелома в 1980 году и выделены два периода 1954 по 1980 и с 1981 по 2019.

Таблица 2.33 – Значения среднегодовых расходов воды, осадков, температур воздуха р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1954-1980

Год	Расход	Осадки	t воздуха
1954	250	453	-5.5
1955	314	619	-6.3
1956	273	574	-5.5
1957	321	535	-7.1
1958	302	515	-8.7
1959	357	396	-6.3
1960	322	482	-9.3
1961	272	472	-6
1962	253	416	-3.9
1963	295	456	-6.7
1964	255	418	-7.9
1965	337	543	-7.1
1966	351	525	-8.6
1967	265	381	-3.5
1968	253	479	-8.3
1969	249	427	-8.7
1970	288	487	-8.1
1971	385	566	-6.7
1972	366	534	-8.1
1973	301	542	-5.5
1974	308	383	-8.7
1975	337	536	-5.8
1976	296	444	-6.1
1977	303	411	-6.8
1978	290	642	-6.6
1979	393	507	-7.8
1980	313	596	-6.2

Таблица 2.34 – Результаты проверки на значимость тренда рядов рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1954-1980

Ряд	$R/\sigma R$	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
Расходы (1979-2019)	1.47	2.06	Не значим
Осадки (1979-2019)	0.40	2.06	Не значим
Температура(1979-2019)	0.43	2.06	Не значим

Таблица 2.35 – Проверка на однородность рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1954-1980

Однородность по Фишеру			
Ряд	Fэмп	Fт	
Расходы (1979-2019)	0.68	0.38	не однородн
Осадки (1979-2019)	0.71	0.37	не однородн
Температура(1979-2019)	1.77	2.79	однородн
Однородность по Стьюденту			
	t-статистика	t критическое	
Расходы (1979-2019)	-0.65	1.71	однородн
Осадки (1979-2019)	-0.47	1.71	однородн
Температура (1979-2019)	0.47	1.71	однородн

Таблица 2.36 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых расходов воды р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1954-1980

Характеристика	Расходы воды	Осадки	Температура
Среднее	306	494	-7
C_v	0.13	0.15	-0.21
C_s	0.46	0.20	0.41
C_s/C_v	3.44	1.36	-1.92
СКО	41.1	72.1	1.5

Дисперсия	1690	5204	2
EQ%	2.59	2.81	-4.09
Escv%	13.7	13.7	13.8

Таблица 2.37 – Значения среднегодовых расходов воды, осадков, температур воздуха р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1981-2018

Год	Расход	Осадки	t воздуха
1981	401	476	-4.3
1982	243	452	-5.3
1983	272	453	-4.1
1984	291	497	-5.8
1985	327	453	-6.7
1986	442	614	-5.6
1987	323	442	-6.6
1988	240	488	-5
1989	263	487	-5.4
1990	303	539	-5.9
1991	301	490	-4.8
1992	282	597	-6.9
1993	329	416	-4.1
1994	281	503	-6
1995	269	630	-2.7
1996	304	450	-5.7
1997	357	590	-5.3
1998	444	561	-7.8
1999	413	557	-6.4
2000	285	498	-6.1
2001	422	605	-5.9
2002	507	663	-5.5
2003	390	537	-4.8
2004	379	663	-5.4
2005	321	479	-2.8
2006	261	485	-6.8

2007	348	589	-3.1
2008	332	517	-3.7
2009	291	407	-6.8
2010	342	658	-6.8
2011	338	530	-2.7
2012	252	515	-2.8
2013	349	463	-4.4
2014	565	760	-5.5
2015	580	638	-3.2
2016	370	509	-2.4
2017	400	611	-3.1
2018	399	577	-4.7

Таблица 2.38 – Результаты проверки на значимость тренда рядов рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1954-1980

Ряд	$R/\sigma R$	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
Расходы (1979-2019)	1.47	2.06	Не значим
Осадки (1979-2019)	0.40	2.06	Не значим
Температура(1979-2019)	0.43	2.06	Не значим

Таблица 2.39 – Проверка на однородность рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1981-2018

Однородность по Фишеру			
Ряд	$F_{эмп}$	F_T	Однородность
Расходы (1979-2019)	0.48	0.45	не однородн
Осадки (1979-2019)	0.58	0.45	однородн
Температура(1979-2019)	0.60	0.44	однородн
Однородность по Стьюденту			

	t-статистика	t критическое	
Расходы (1979-2019)	-2.15	2.03	не однородн
Осадки (1979-2019)	-2.28	2.03	не однородн
Температура (1979-2019)	-2.12	2.03	не однородн

Таблица 2.40 – Основные статистические характеристики и их погрешности рядов среднегодовых расходов воды, осадков и температур воздуха р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1981-2018

Статистическая характеристика	Расходы воды	Осадки	Температура
Среднее	2000	348	537
Cv	0.01	0.24	0.15
Cs	0.00	1.16	0.64
Cs/Cv	0.00	4.87	4.27
СКО	11.1	82.5	80.6
Дисперсия	124	6809	6501
EQ%	0.09	3.85	2.44
Escv%	11.5	11.7	11.6

Для р. Северная Сосьва - п. Няксимволь были определена точка перелома в 1980 году и выделены два периода 1954 по 1978 и с 1979 по 2019

Таблица 2.41 – Определение точки перелома для ряда среднегодовых расходов воды р. Северная Сосьва - п. Няксимволь

Период	Fкр	F	Разность	tкр	t	ABS(t)	Разность
1954-1973	3.18	2.02	1.16	1.73	-0.67	0.67	1.06
1954-1974	3.14	1.69	1.45	1.73	-0.92	0.92	0.81
1954-1975	2.98	1.80	1.18	1.72	-0.84	0.84	0.88
1954-1976	2.85	1.96	0.89	1.72	-0.93	0.93	0.79
1954-1977	2.82	2.14	0.67	1.72	-0.03	0.03	1.68
1954-1978	2.72	1.26	1.46	1.71	-0.48	0.48	1.24
1954-1979	0.37	0.87	-0.50	1.71	-0.77	0.77	0.94

1954-1980	0.38	0.91	-0.54	1.71	-0.68	0.68	1.03
1954-1981	0.39	0.90	-0.51	1.71	-0.87	0.87	0.84
1954-1982	0.40	0.89	-0.49	1.70	-0.81	0.81	0.90
1954-1983	0.40	0.83	-0.43	1.70	-1.34	1.34	0.36
1954-1984	0.41	0.83	-0.43	1.70	-1.18	1.18	0.52
1954-1985	0.42	0.77	-0.36	1.70	-1.06	1.06	0.64
1954-1986	0.43	0.69	-0.26	1.70	-1.37	1.37	0.32
1954-1987	0.43	0.69	-0.27	1.69	-1.57	1.57	0.12
1954-1988	0.44	0.59	-0.15	1.69	-1.13	1.13	0.56
1954-1989	0.44	0.58	-0.14	1.69	-0.92	0.92	0.77
1954-1990	0.45	0.55	-0.10	1.69	-1.16	1.16	0.53
1954-1991	0.45	0.58	-0.13	1.69	-1.14	1.14	0.55
1954-1992	0.46	0.57	-0.11	1.69	-1.34	1.34	0.35
1954-1993	0.46	0.60	-0.14	1.69	-1.36	1.36	0.33

Таблица 2.42 – Значения среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Северная Сосьва - Няксимволь за период 1954-1978

Год	Расход	Осадки	t воздуха
1954	59.4	364	-1.2
1955	84.6	456	-2.7
1956	124	714	-3.2
1957	125	666	-1.7
1958	102	502	-2.9
1959	66	395	-1.6
1960	60.5	410	-3.5
1961	77.2	516	-0.3
1962	99.5	618	0.7
1963	63.9	491	-2.5
1964	87.6	565	-3.4
1965	121	657	-2.8
1966	95	520	-3.6
1967	69.3	535	0.6
1968	75.2	504	-4

1969	120	569	-4.7
1970	87.7	474	-2.1
1971	106	694	-2.7
1972	85.4	524	-3.2
1973	80.5	487	-1.5
1974	110	488	-1.7
1975	82.9	605	-0.9
1976	99	437	-2
1977	63.3	456	-2
1978	144	731	-2.6

Таблица 2.43 – Результаты проверки на значимость тренда рядов рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Северная Сосьва - Няксимволь за период 1954-1978

Ряд	R/σR	t2α	Значимость тренда
Расходы (1979-2019)	0.78	2.07	Не значим
Осадки (1979-2019)	0.71	2.07	Не значим
Температура(1979-2019)	0.11	2.07	Не значим

Таблиц 2.44 – Проверка на однородность рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале за период 1981-2018

Однородность по Фишеру			
	Fэмп	Fт	
Расходы (1979-2019)	0.48	0.45	не однородн
Осадки (1979-2019)	0.58	0.45	однородн
Температура(1979-2019)	0.60	0.44	однородн
Однородность по Стьюденту			
	t-статистика	t критическое	
Расходы (1979-2019)	-2.15	2.03	не однородн
Осадки (1979-2019)	-2.28	2.03	не однородн
Температура (1979-2019)	-2.12	2.03	не однородн

Таблица 2.45 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых расходов воды р. Северная Сосьва - Няксимволь за период 1954-1978

	Расходы воды	Осадки	Температура
Среднее	92	535	-2
Cv	0.25	0.19	-0.60
Cs	0.48	0.45	0.56
Cs/Cv	1.88	2.40	-0.94
СКО	23.2	100.2	1.3
Дисперсия	537	10046	2
EQ%	5.06	3.75	-11.94
Escv%	14.4	14.3	15.6

Таблица 2.46 – Значения среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Северная Сосьва - Няксимволь за период 1979-2019

Год	Расход	Осадки	t воздуха
1979	140	589	-2.6
1980	81.3	506	-1.8
1981	71.2	398	0.8
1982	84.1	635	-1.7
1983	132	689	-0.6
1984	73.8	382	-1.8
1985	141	695	-3.7
1986	128	577	-2.8
1987	127	500	-2.3
1988	59.9	479	-0.2
1989	65.7	455	-0.4
1990	114	616	-1.7
1991	92.5	489	-0.2
1992	95.7	546	-3
1993	98	424	-1
1994	164	696	-1.8
1995	75.7	510	1.1
1996	114	563	-0.6

1997	108	456	-2.5
1998	111	731	-3.2
1999	137	589	-2.3
2000	97.5	506	-1.3
2001	134	680	-2.2
2002	111	594	-2.1
2003	123	488	0.4
2004	81.1	458	-1.2
2005	98.6	478	0.8
2006	116	577	-2.8
2007	104	461	0.8
2008	134	595	0.5
2009	85.4	515	-2
2010	66	421	-1.9
2011	105	599	0
2012	89.4	519	-0.3
2013	62.7	429	-0.6
2014	123	591	-1.2
2015	106	644	-0.5
2016	119	516	0.1
2017	131	614	0.1
2018	127	493	-1
2019	126	556	-0.4

Таблица 2.47 – Результаты проверки на значимость тренда рядов рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Северная Сосьва - Няксимволь за период 1979-2019

	$R/\sigma R$	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
Расходы (1979-2019)	0.62	2.02	Не значим
Осадки (1979-2019)	0.11	2.02	Не значим
Температура(1979-2019)	2.15	2.02	Не значим

Таблица 2.48 – Проверка на однородность рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Северная Сосьва - Няксимволь за период 1979-2019

Однородность по Фишеру			
	Fэмп	Fт	
Расходы (1979-2019)	1.81	2.16	однородн
Осадки (1979-2019)	1.99	2.16	однородн
Температура(1979-2019)	0.43	1.68	однородн
Однородность по Стьюденту			
	t-статистика	t критическое	
Расходы (1979-2019)	-0.19	1.68	однородн
Осадки (1979-2019)	1.48	2.16	однородн
Температура (1979-2019)	-2.13	1.68	однородн

Таблица 2.49 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых расходов воды, осадков, температур воздуха р. Северная Сосьва - Няксимволь за период 1979-2019

Характеристика	Расходы воды	Осадки	Температура
Среднее	106	543	-1
Cv	0.24	0.16	-1.09
Cs	-0.08	0.27	-0.03
Cs/Cv	-0.34	1.63	0.03
СКО	25.3	88.3	1.2
Дисперсия	641	7790	2
EQ%	3.72	2.54	-16.98
Есv%	11.29	11.16	14.63

Таблица 2.50 – Значения среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р.Ляпин - Саранпауль за период 1953-1972

Год	Расход	Осадки	t воздуха
1953	197	474	-3.1
1954	233	498	-2.1
1955	215	493	-4.6
1956	276	688	-4.8
1957	321	749	-4.4
1958	260	521	-5.6
1959	286	467	-3.2
1960	197	408	-5.1
1961	225	493	-2.3
1962	328	556	-1.3
1963	244	508	-4.4
1964	200	516	-5.7
1965	296	633	-4.7
1966	298	705	-5.6
1967	187	479	-0.5
1968	233	472	-6.5
1969	259	510	-6.2
1970	200	367	-4.6
1971	257	646	-5.1
1972	236	473	-5

Таблица 2.51 – Проверка на однородность рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Ляпин - п. Саранпауль за период 1953-1972

Однородность по Фишеру			
	Fэмп	Fт	
Расходы (1953-1972)	1.57	3.18	однородн
Осадки (1953-1972)	1.08	3.18	однородн
Температура (1953-1972)	0.75	0.31	однородн

Однородность по Стьюденту			
	t-статистика	t критическое	
Расходы (1953-1972)	0.66	1.73	однородн
Осадки (1953-1972)	0.08	1.73	однородн
Температура (1953-1972)	1.69	1.73	однородн

Таблица 2.52 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых расходов воды р. Ляпин - п. Саранпауль за период 1953-1972

	Расходы воды	Осадки	Температура
Среднее	247	533	-4
Cv	0.17	0.19	-0.39
Cs	0.38	0.79	0.91
Cs/Cv	2.19	4.21	-2.34
СКО	42.8	100.2	1.6
Дисперсия	1835	10044	3
EQ%	3.46	3.76	-7.73
Escv%	14.3	14.3	14.8

Таблица 2.53 –. Значения среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р.Ляпин - Саранпауль за период 1973-1993

Год	Расход	Осадки	t воздуха
1973	232	465	-3.6
1974	241	399	-4
1975	277	599	-3
1976	240	462	-3.8
1977	151	378	-4.1
1978	251	500	-5.1
1979	325	405	-5.1
1980	170	442	-4
1981	247	411	-1.4
1982	233	530	-3.8

1983	288	589	-3.4
1984	292	480	-3
1985	259	508	-5.7
1986	266	509	-4.4
1987	271	437	-4.1
1988	196	422	-2.6
1989	158	375	-2.6
1990	257	490	-3.6
1991	345	694	-1.9
1992	225	521	-5.1
1993	303	413	-2.1

Таблица 2.54 – Основные статистические характеристики и их погрешности ряда среднегодовых расходов воды, осадков, температур воздуха р. Ляпин - п. Саранпауль за период 1973-1993

	Расходы воды	Осадки	Температура
среднее	187	402	-4
Cv	0.62	0.48	-0.31
Cs	-0.76	-1.31	0.15
Cs/Cv	-1.22	-2.75	-0.50
СКО	117.0	191.6	1.1
Дисперсия	13683	36702	1
EQ%	9.75	7.45	-4.84
Escv%	12.54	11.97	11.45

Таблица 2.55 – Проверка на однородность рядов среднемноголетних расходов воды, осадков, температур воздуха р. Ляпин - п. Саранпауль за период 1973-1993

Однородность по Фишеру			
	Fэмп	Fт	Однородность
Расходы (1973-1993)	0.83	0.33	не однородн

Осадки (1973-1993)	0.74	0.33	не однородн
Температура (1973-1993)	0.61	0.33	не однородн
Однородность по Стьюденту			
	t-статистика	t критическое	
Расходы (1973-1993)	-0.71	1.73	однородн
Осадки (1973-1993)	-0.39	1.73	однородн
Температура (1973-1993)	-0.49	1.73	однородн

3. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

Методика основывается на учете поступления воды с оттаивающих грунтов в основной сток. составлении прогноза нормы и коэффициента вариации. Согласно данной методике, в районе проектируемого объекта необходимо знать прогнозные норму осадков и температуры воздуха. Согласно сделанным упрощениям, система для определения моментов вырождается в две простые формулы:

$$\begin{aligned} -\bar{c}m_1 + \bar{N} &= 0, \\ -2\bar{c}m_2 + 2\bar{N}m_1 + G_{\bar{N}} &= 0 \end{aligned}$$

Причем, так как $\tau = 1$ (а если не 1, то из-за стационарности процесса этот параметр сокращается), то $\bar{c} = \frac{1}{\bar{k}}, \bar{N} = \bar{X}$.

Сначала, зная m_1, m_2, \bar{X} , находим \bar{c} и $G_{\bar{N}}$. Затем необходимо определить прогнозное значение коэффициента стока. Используется выражение для коэффициента стока $k = \frac{\bar{Q}}{\bar{X}} = 1 - \frac{\bar{E}}{\bar{X}}$, полученное из уравнения водного баланса для замкнутых речных водосборов ($\bar{Q} = \bar{X} - \bar{E}$). Коэффициент стока связывается с параметрами, которые фигурируют в климатических сценариях ($\bar{T}^{\circ}C$ и \bar{X}), путем использования формул для испарения. Наиболее известны расчетные зависимости, разработанные П. Шрайбером, Э. М. Ольдекопом, М. И. Будыко, В. С. Мезенцевым, Л. Тюрком и др. [Багров, 1954; Мезенцев, 1973; Методы изучения..., 1981; Братсерт, 1985].

Величина испаряемости непосредственно зависит от поступления тепла к испаряющей поверхности, т. е. от ее радиационного баланса. Но определение радиационного баланса водосборов затруднено, а иногда и невозможно из-за редкой сети специализированных метеорологических станций, поэтому разработаны эмпирические методы определения E_0 на основе использования

сетевой гидрометеорологической информации [Константинов, 1971; Методы изучения..., 1981; Братсерт, 1985]. Зависимости вида $E_0 = E_0(T)$, где T – норма температуры воздуха, предложены, в частности, Л. Тюрком в 1955 году и А. Н. Постниковым в 1999 году [14]. В таблице 3.1 представлены основные формулы для определения испарения и испаряемости.

В данной методике используются формулы Н.А.Багрова ($E = f(\bar{X}, E_0)$, здесь E_0 - испаряемость) и Л.Тюрка $E_0 = f(T)$. Согласно этому коэффициент стока определяется по формуле:

$$k = 1 - th\left(\left(300 + 25\bar{T} + 0,05\bar{T}^3\right) / \bar{X}\right)$$

Принимаем, что в новом климате величина G_N остается прежней. Из системы определяются прогнозные значения m_1, m_2 , а затем значение $Cv = \sqrt{m_2 - m_1^2} / m_1$.

Таблица 3.1 – Формулы для расчета годового суммарного испарения и испаряемости

Автор	Расчётная формула	
	в исходном виде	
П. Шрайбер В. С. Мезенцев и Л. Тюрк	$E = P \left(1 - e^{-\frac{E_0}{P}}\right)$ $E = E_0 \left[1 + \left(\frac{P}{E_0}\right)^{-n}\right]^{\frac{1}{n}}$	n=2
Э. М. Ольдекоп	$E = E_0 th\left(\frac{P}{E_0}\right)$	
М. И. Будыко	$E = \sqrt{E_0 th\left(\frac{P}{E_0}\right) P \left(1 - e^{-\frac{E_0}{P}}\right)}$	
Л. Тюрк		
А. Н. Постников		$= (350 + 5,5 T) e^{0.07T}$

Существуют различные методы определения содержания незамерзшей воды мерзлого грунта. Для нашей ситуации подходит калориметрический метод, основанный на измерении теплового эффекта, возникающего при оттаивании мерзлого грунта (СНИП 2. 04 -88 [13]).

Влажность мерзлого грунта за счет незамерзшей воды w_w определяется, как правило, опытным путем. В определенных случаях [13] значения w_w (доли единицы) для незасоленных мерзлых грунтов допускается определять по формуле:

$$w_w = k_w w_p,$$

где k_w – коэффициент, принимаемый по таблице 3.2 в зависимости от числа пластичности I и температуры грунта T , °С;

w_p – влажность грунта на границе пластичности (раскатывания), доли единицы.

Таблица 3.2 – Значения коэффициента k_w

Грунты	Число пластичности грунтов I	Коэффициент k_w при температуре грунта T , °С								
		-0,2	-0,3	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10
Пески и супеси	$I < 0,02$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Супесь	$0,02 < I < 0,07$	0,60	0,50	0,40	0,35	0,33	0,30	0,28	0,26	0,25
Суглинки	$0,07 < I < 0,13$	0,70	0,65	0,60	0,5	0,48	0,45	0,43	0,41	0,40
Суглинки	$0,13 < I < 0,17$	–	0,75	0,65	0,55	0,53	0,50	0,48	0,46	0,45
Глины	$I > 0,17$	–	0,95	0,80	0,65	0,63	0,60	0,58	0,56	0,55

Примечание: знак «–» означает, что вся вода в порах незамерзшая.

Информацию о том, что рассматриваемые речные бассейны не находятся в пределах распространения засоленных мерзлых пород, содержит рисунок 31.

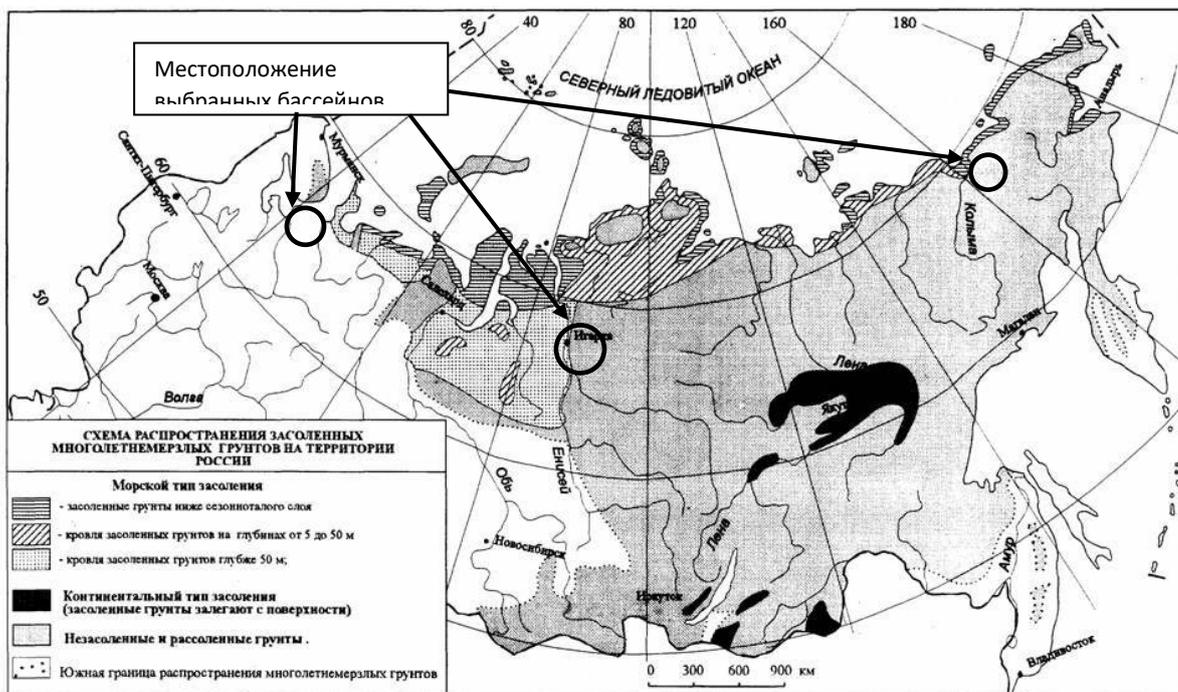


Рисунок 31 – Карта распространения засоленных многомерзлотных грунтов на территории РФ [15].

Для перевода влажности в количество воды при оттаивании грунта можно использовать следующую формулу [16]:

$$Q_{hll} = h_{hll} (w_k - w_T) \sigma,$$

где h = 0,8 – 1,0 м – глубина оттаивания грунта;

w – влажность грунта в весенний период;

w_T – влажность грунта на границе пластичности;

σ – напряжение, зависящее от типа грунта (для суглинка $\sigma = 1,75 \text{ т/м}^3$).

Таким образом, появилась возможность учитывать количество воды от оттаивавшего грунта через коэффициент стока, который будет увеличиваться за счет такой добавочной воды.

Существуют различные методы определения содержания незамерзшей воды мерзлого грунта. Для наших территорий подходит калориметрический метод, основанный на измерении теплового эффекта, возникающего при оттаивании мерзлого грунта.

4. РАСЧЕТЫ ПО МЕТОДИКЕ

4.1 Прогноз математического ожидания и коэффициента вариации

Для составления прогноза для исследуемых неоднородных рядов данных была определена максимальная неоднородность. Исходя из этого, был определен год перелома и каждый ряд поделен на два однородных периода, отличающиеся по стоку, температуре воздуха и количеству осадков. Для постов Тарко-Сале и Няксимволь первый период был определен как маловодный, более холодный и с меньшим количеством осадков. Второй период принимается за полноводный, с более высокой нормой температуры воздуха и увеличенной нормой осадков. Для станции Саранпауль не прослеживается подобной закономерности для периодов, в связи с более коротким рядом.

Для апробации методики было принято производить прогноз с первого периода на второй и также со второго на первый, чтобы проследить работу методики для прогноза с маловодного периода с более холодным климатом, на многоводный с потеплением и наоборот.

По методике рекомендуется использовать формулу Тюрка для определения испарения, но она справедлива для южных широт и может давать неверные результаты для арктической зоны. В связи с этим были рассмотрены другие варианты расчетных формул для испарения и испаряемости, представленные в таблице 3.1

По полученным данным были вычислены погрешности рассчитанных значений математического ожидания и коэффициента вариации относительно фактических:

$$\delta = \frac{(F_{\text{нзл}} - F_{\text{факт}})}{F_{\text{нзл}}} 100\% ,$$

где $F_{\text{факт}}$ – фактические значения математического ожидания и коэффициента вариации, полученная по ряду данных;

Гпрогн – прогнозные значения математического ожидания и коэффициента вариации.

Результаты вычислений представлены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза с первого периода (1954-1980) на второй (1981-2018) р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

Формула испарения	Хпр			537	tпр,°С		-5,0	Gп		5482	δCv
	Ео	Е	кпр	Спр	m2пр	m1п р	m1фак т	δm1	Cвп р	Cвфак т	
Шрайбер	919	440	0,18	5,53	9912	97	349	72	0,23	0,24	4
Мезенцев	919	464	0,14	7,32	5760	73	349	79	0,26	0,24	-10
Ольдекоп	919	483	0,10	9,98	3170	54	349	85	0,31	0,24	-28
Будыко	919	461	0,14	7,07	6153	76	349	78	0	0	-8

Формула испарения	Хпр			494	tпр,°С		-6,9	Gп		21088	δCv
	Ео	Е	кпр	С	m2пр	m1п р	m1фак т	δm1	Cвп р	Cвфак т	
Шрайбер	227	185	0,65	1,53	125491	352	349	-1	0,12	0,24	50
Мезенцев	227	209	0,61	1,64	109066	328	349	6	0,12	0,24	48
Ольдекоп	227	223	0,58	1,71	100029	314	349	10	0,13	0,24	47
Будыко	227	203	0,62	1,61	112993	334	349	4	0	0	48

Таблица 4.2 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза со второго периода (1981-2018) на первый (1954-1980) р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

Формула испарения	Хпр			494	tпр,°С		-6,9	Gп		21088	δCv
	Ео	Е	кпр	С	m2пр	m1п р	m1фак т	δm1	Cвп р	Cвфак т	
Шрайбер	147	46									-
	4	9	0,05	20	1159	25	306	92	0,92	0,13	611
Мезенцев	147	46									-
	4	8	0,05	19	855	26	306	92	0,55	0,13	324

Ольдекоп	147 4	47 6	0,04	28	439	18	306	94	0,63	0,13	- 387
Будыко	147 4	47 3	0,04	23	615	21	306	93	0,59	0,13	- 353
Формула испарения											
	E_0	E	$k_{пр}$	C	$m_{2пр}$	$m_{1п}$ p	$m_{1фак}$ t	δm i	$C_{вп}$ p	$C_{вфак}$ t	δC_v
Шрайбер	193	15 9	0,68	1,48	11907 5	335	306	-9	0,25	0,13	-94
Мезенцев	193	17 9	0,64	1,57	10935 2	315	306	-3	0,32	0,13	- 149
Ольдекоп	193	19 0	0,61	1,63	10197 8	304	306	1	0,32	0,13	- 150
Будыко	193	17 4	0,65	1,54	11297 4	320	306	-5	0,32	0,13	- 149

Для р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале двух периодов результаты вычислений испаряемости по формуле Постникова показали более надежный результат. При прогнозе с маловодного на полноводный период отмечено, что все формулы для испарения подходят для расчетов. Для дальнейшей работы рекомендуется формула Будыко ($\delta m_1=4\%$, $\delta C_v =48\%$). При прогнозе с многоводного на маловодный период была выбрана формула Шрайбера ($\delta m_1=-9\%$, $\delta C_v =-94\%$), несмотря на высокие погрешности по коэффициенту вариации. Это связано с тем, что коэффициент вариации имеет заведомо большую погрешность, чем математическое ожидание, в связи с этим выбор формулы производится по наименьшей погрешности математического ожидания и после этого по наименьшей погрешности коэффициента вариации.

Таблица 4.3 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза с первого периода (1954-1978) на второй (1979-2019) р. Северная Сосьва - Няксимволь

Испаряемость по Тюрку									
		X_{пр}	543	t_{пр},°C		-1,1	G_n	20067	

Формула испарения	E_0	E	$k_{пр}$	$C_{пр}$	$m_{2пр}$	$m_{1пр}$	$m_{1фак}$ t	δm_1	$C_{vпр}$	$C_{vфак}$ t	δC_v
Шрайбер	330	247	0,54	1,84	9284 7	296	340	13	0,25	0,24	-4
Мезенцев	330	282	0,48	2,08	7287 9	261	340	23	0,27	0,24	-11
Ольдекоп	330	306	0,44	2,30	6032 9	237	340	30	0,28	0,24	-16
Будыко	330	275	0,49	2,03	7658 8	268	340	21	0	0,24	-9
Формула испарения	E_0	E	$k_{пр}$	C	$m_{2пр}$	$m_{1пр}$	$m_{1фак}$ t	δm_1	$C_{vпр}$	$C_{vфак}$ t	δC_v
Шрайбер	318	241	0,56	1,80	9682 2	302	340	11	0,25	0,24	-3
Мезенцев	318	275	0,49	2,02	7694 2	268	340	21	0,26	0,24	-9
Ольдекоп	318	298	0,45	2,22	6450 6	245	340	28	0,27	0,24	-14
Будыко	318	268	0,51	1,97	8070 8	275	340	19	0	0,24	-8

Таблица 4.4 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза со второго периода(1979-2019) на первый (1954-1978) р. Северная Сосьва - Няксимволь

Формула испарения	$X_{пр}$			535	$t_{пр}, ^\circ C$		-2,2	G_n		20972	δC_v
	E_0	E	$k_{пр}$	C	$m_{2пр}$	$m_{1пр}$	$m_{1фак}$ t	δm_1	$C_{vпр}$	$C_{vфак}$ t	
Шрайбер	420	291	0,46	2,19	64217	244	293	17	0,28	0,25	-13
Мезенцев	420	331	0,38	2,62	46243	204	293	30	0,33	0,25	-31
Ольдекоп	420	359	0,33	3,04	34640	176	293	40	0,35	0,25	-40
Будыко	420	323	0,40	2,53	49391	212	293	28	0,32	0,25	-29

Формула испарения	E_0	E	$k_{пр}$	C	$m_{2пр}$	$m_{1пр}$	$m_{1фак}$ т	δm_1	$C_{впр}$	$C_{вфак}$ т	δC_v
Шрайбер	290	224	0,58	1,72	10302	311	293	-6	0,25	0,25	-0,4
Мезенцев	290	255	0,52	1,91	84982	280	293	4	0,29	0,25	-14,5
Ольдекоп	290	276	0,48	2,06	73154	259	293	11	0,30	0,25	-18,2
Будыко	290	248	0,54	1,87	88808	287	293	2	0	0,25	-13

Для р. Северная Сосьва - Няксимволь двух периодов результаты вычислений испаряемости по формуле Постникова показали более надежный результат. При прогнозе с маловодного на полноводный период все формулы для испарения дают завышенную погрешность для математического ожидания. Для дальнейшей работы рекомендуется формула Шрайбера, с наименьшей погрешностью для математического ожидания ($\delta m_1=11\%$, $\delta C_v =-3\%$). При прогнозе с многоводного на маловодный период все формулы кроме Ольдекоп подходят для расчетов. Для дальнейшей работы выбрана формула Будыко ($\delta m_1=2\%$, $\delta C_v =-13\%$).

Таблица 4.5 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза с первого периода (1953-1972) на второй (1973-1993) р. Ляпин - п. Саранпауль

Формула испарения	$X_{пр}$			402	$t_{пр}, ^\circ C$		-3,6	G_n		13455	δC_v
	E_0	E	$k_{пр}$	$C_{пр}$	$m_{2пр}$	$m_{1пр}$	$m_{1фак}$ т	δm_1	$C_{впр}$	$C_{вфак}$ т	
Шрайбер	622	316	0,21	4,69	8765	86	319	73	0,44	0,62	29
Мезенцев	622	338	0,16	6,24	5229	64	319	80	0,51	0,62	18
Ольдекоп	622	354	0,12	8,37	3109	48	319	85	0,59	0,62	5
Будыко	622	335	0,17	5,97	5663	67	319	79	0	0,62	20

Шрайбер	257	190	0,53	1,89	4862 7	212	319	33	0,28	0,62	55
Мезенцев	257	216	0,46	2,17	3758 4	186	319	42	0,30	0,62	52
Ольдекоп	257	235	0,41	2,41	3061 3	167	319	48	0,32	0,62	49
Будыко	257	211	0,47	2,11	3958 7	191	319	40	0	0,62	52

Таблица 4.6 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза со второго периода (1973-1993) на первый (1953-1972) р. Ляпин - п. Саранпауль

Испаряемость по Тюрку											
Формула испарения	X _{пр}			533	t _{пр} , °C		-4,2	G _n		99931	δC _v
	E _о	E	k _{пр}	C	m _{2пр}	m _{1п} p	m _{1фак} т	δm ₁	C _{вп} p	C _{вфак} т	
Шрайбер	737	399	0,25	3,9	30391	134	421	68	0,84	0,17	-393
Мезенцев	737	432	0,19	5,2	8977	101	421	76	-	0,17	-
Ольдекоп	737	456	0,14	6,9	5422	77	421	82	-	0,17	-
Будыко	737	427	0,20	5,0	9844	106	421	75	-	0,17	-!
Испаряемость по Постникову											
Формула испарения	E _о	E	k _{пр}	C	m _{2пр}	m _{1п} p	m _{1фак} т	δm ₁	C _{вп} p	C _{вфак} т	δC _v
	Шрайбер	244	196	0,63	1,5	14550 9	337	421	20	0,53	0,17
Мезенцев	244	222	0,58	1,7	77077	311	421	26	-	0,17	-
Ольдекоп	244	238	0,55	1,8	69554	295	421	30	-	0,17	-
Будыко	244	216	0,60	1,6	80018	317	421	25	-	0,17	-

Для р. Ляпин - п. Саранпауль методика показала неудовлетворительные результаты. При прогнозе с маловодного на полноводный период все формулы

для испарения дают завышенную погрешность для математического ожидания (в среднем $\delta m_1=30\%$). И хотя для коэффициента вариации были получены по всем формулам не плохие результаты, погрешности стремятся к 30%. При первичном анализе двух периодов ряда р. Ляпин - п. Саранпауль было отмечено, что методика может не показать удовлетворительных результатов в связи с более коротким рядом и несовпадением условия маловодного и многоводного периодов.

4.2 Расчет водоотдачи при оттаивании грунта

Для расчета водоотдачи из оттаявшего грунта используются данные о температуре почв, типе почвогрунтов и влажности почвы.

Влажность почвы является важной характеристикой, необходимой для учета во многих отраслях. Но в связи с отсутствием систематических наблюдений за почвенной влагой, оценка и учет этой характеристики значительно затруднены. Измерения как правило производятся при проведении изысканий. Исходя из этого было принято обратиться к данным полученным с дистанционного зондирования земли (ДЗЗ).

SMAP

Спутник SMAP (Soil Moisture Active Passive), запущенный NASA (Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США) в январе 2015 г. На борту спутника SMAP установлен пассивный микроволновой радиометр, работающий в L-диапазоне (1.400-1.427 ГГц) и предназначенный для измерения поверхностной влажности почвы и состояния замораживания-оттаивания с пространственным разрешением около 40 км [17].

Диапазон охвата составляет от 180°W до 180°E, а также приблизительно от 85,044°N до 85,044°S. Охват предназначен для глобальной поверхности суши, исключая внутренние воды. Собственное пространственное разрешение радиометра SMAP составляет приблизительно 36 км. Данные считываются затем

ассимилируются в модель поверхности суши, которая привязана к сетке с использованием проекции 9 км global EASE-Grid 2.0. Оценки влажности почвы на поверхности и в корневой зоне уровня 4 проверяются с точностью до среднеквадратичной ошибки (RMSE) требование 0,04 м³/м³ после устранения долгосрочного среднего смещения.

Ряд данных р. Ляпин – п. Саранпауль не принималась для дальнейшего расчета, в связи с наличием недостаточно длинного ряда и отсутствием современного периода наблюдений, и неудовлетворительными результатами при апробации прогноза математического ожидания и коэффициента вариации. Для определения и сравнения влажности почвы были выбраны дата перехода температуры воздуха через 0 в отрицательные значения, дата перехода температуры воздуха через 0 в положительные значения, дата начала половодья и дата в середине летней межени. Для этого по данным постов р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале и р. Северная Сосьва – п. Няксимволь были построены хронологические графики хода температуры воздуха и гидрографы внутригодового распределения стока, по которым определены необходимые даты, представленные в таблице 4.7 и 4.8

Таблица 4.7 – Ключевые даты для определения влажности почвы для р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Дата перехода через 0-	11.10.2016	23.10.2017	29.10.2018
Дата перехода через 0+	26.05.2017	27.05.2018	24.05.2019
Дата окончания половодья	02.08.2017	01.08.2018	
Дата в межень до паводка	01.10.2017	01.10.2018	

Таблица 4.8 – Ключевые даты для определения влажности почвы для р. Северная Сосьва - Няксимволь

	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Дата перехода через 0-	24.10.2016	09.11.2017	08.11.2018

Дата перехода через 0+	16.05.2017	25.04.2018	01.05.2019
Дата окончания половодья	15.07.2017	30.07.2018	10.09.2019
Дата в межень до паводка	28.08.2017	16.09.2018	

Для выбранных дат на сайте Национального центра данных по снегу и льду (NSIDC) были скачены трехчасовые данные по влажности почвы для времени 00:00 и 03:00 по всей поверхности планеты с разрешением 9км. При помощи цифровой модели и ArcGIS ArcMap было построено растровое изображение влажности почвы для всей поверхности планеты, представленное на рисунке 32

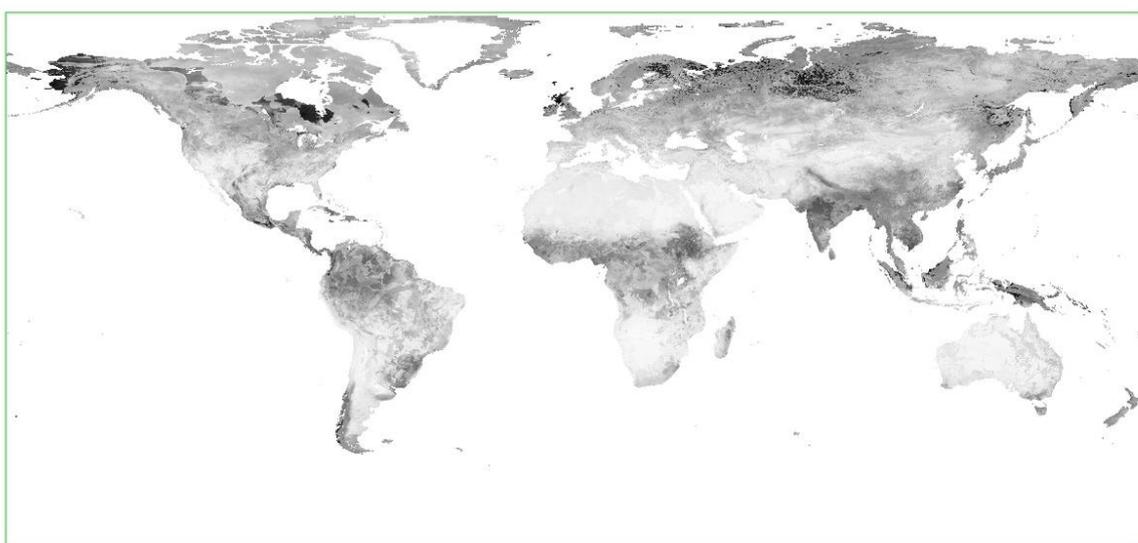


Рисунок 32 –. Растровое изображение распределения влажности почвы по планете

Затем по известным координатам замыкающих створов и при помощи набора инструментов группы Гидрология (Hydrology) были получены водосборы исследуемых рек. По выделенным площадям водосборов были получены растры распределения влажности почвы и определены средние значения влажности по водосбору. Пример представлен на рисунке 33. Данный алгоритм проводился для каждого набора данных со спутника по каждой выбранной дате.



Рисунок 33 – Растровое изображение распределения влажности почвы по выделенным водосборам

Полученные результаты представлены в таблице 4.9

Таблица 4.9 – Данные по влажности почвы для водосборов р. Пяку-Пур п. Тарко-Сале и р. Северная

Сосьва - п. Няксимволь

Тарко-Сале												
	Дата	Влажность		Дата	Влажность		Дата	Влажность		Дата	Влажность	
		0:00	3:00		0:00	3:00		0:00	3:00		0:00	3:00
Дата перехода через 0-	12.10.2016	0.522	0.522	22.10.2017	0.562	0.560	29.10.2018	0.561	0.561			
Дата перехода через 0+				26.05.2017	0.564	0.563	27.05.2018	0.580	0.580	24.05.2019	0.5546	0.5538
Дата окончания половодья				02.08.2017	0.587	0.577	01.08.2018	0.556	0.556			
Дата в межень до паводка				01.10.2017	0.559	0.559	01.10.2018	0.560	0.559			
Няксимволь												
	Дата	Влажность		Дата	Влажность		Дата	Влажность		Дата	Влажность	
		0:00	3:00		0:00	3:00		0:00	3:00		0:00	3:00
Дата перехода через 0-	24.10.2016	0.309	0.301	08.11.2017	0.310	0.310	08.11.2018	0.320	0.319			
Дата перехода через 0+				16.05.2017	0.340	0.340	25.04.2018	0.310	0.309	01.05.2019	0.315	0.314
Дата окончания половодья				15.07.2017	0.335	0.336	30.07.2018	0.304	0.303			
Дата в межень до паводка				28.08.2017	0.304	0.324	16.09.2018	0.282	0.275			

Из полученных данных можно отметить, что значения влажности почвы не имеют значительного различия в зависимости от дат и сезонов. Для дальнейших расчетов будут использоваться осредненные значения влажности почвы за теплый период на даты окончания половодья. Были рассчитаны значения количества воды при оттаивании грунта.

Таблица 4.10 – Расчет водоотдачи р. Северная Сосьва - п. Няксимволь

Q, м	0.03
h, м	0.80
wвес, т/м ³	0.34
wгр, т/м ³	0.32
σ, т/м ³ (для суглинков)	1.75

Таблица 4.11 – Расчет водоотдачи р. Пяку-Пур - п.Тарко-Сале

Q, м	0.05
h, м	0.80
wвес, т/м ³	0.56
wгр, т/м ³	0.52
σ, т/м ³ (для суглинков)	1.75

Количество воды с оттаявших грунтов необходимо учитывать при составлении прогноза, т.к вода с оттаявших грунтов будет стекать по водосбору и за счет этого увеличится норма стока. Для учета количества водоотдачи с грунта необходимо скорректировать коэффициент стока, который будет увеличиваться за счет такой добавочной воды

Для водосбора реки Северная Сосьва – п. Няксимволь с учетом стока оттаявших грунтов (h=31,7 мм) при прогнозе с маловодного периода на многоводный коэффициент стока увеличится на 13%, при прогнозе с многоводного периода на маловодный увеличение коэффициента стока составит 9%. С четом этого значения коэффициента стока были скорректированы и учтены при составлении прогноза. Расчеты представлены в таблице 4.12 и 4.13.

Для водосбора реки Пяку-Пур – п. Тарко-Сале с учетом стока оттаявших грунтов ($h=52,3$ мм) при прогнозе с маловодного периода на многоводный коэффициент стока увеличится на 15%, при прогнозе с многоводного периода на маловодный увеличение коэффициента стока составит 17%. С учетом этого значения коэффициента стока были скорректированы и учтены при составлении прогноза. Расчеты представлены в таблице 4.14 и 4.15

Таблица 4.12 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза с первого периода (1954-1978) на второй (1979-2019) р. Северная Сосьва - Няксимволь

Испоряемость по Тюрку											
Формула испарения		Хпр		543	tпр,°C		-1.1	Gн		20067	
	Ео	Е	кпр	Спр	m2пр	m1пр	m1факт	δm1	Cvпр	Cvфакт	δCv
Шрайбер	330	247	0.59	1.70	108056	320	340	6	0.24	0.24	0
Мезенцев	330	282	0.52	1.91	85961	284	340	16	0.26	0.24	-6
Ольдекоп	330	306	0.48	2.09	72632	260	340	23	0.27	0.24	-11
Будыко	330	275	0.53	1.87	89468	290	340	15	0	0.24	-5
Испаряемость по Постникову											
Формула испарения	Ео	Е	кпр	С	m2пр	m1пр	m1факт	δm1	Cvпр	Cvфакт	δCv
Шрайбер	318	241	0.59	1.70	108056	320	340	6	0.24	0.24	0
Мезенцев	318	275	0.53	1.87	89468	290	340	15	0.25	0.24	-5
Ольдекоп	318	298	0.49	2.04	75859	266	340	22	0.26	0.24	-10
Будыко	318	268	0.56	1.80	96693	302	340	11	0	0.24	-3

Таблица 4.13 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза со второго периода(1979-2019) на первый (1954-1978) р. Северная Сосьва - Няксимволь

Испоряемость по Тюрку											
Формула испарения	E ₀	X _{пр}		535	t _{пр} ,°C		-2.2	G _n		20972	δC _v
		E	k _{пр}	C	m ₂ пр	m ₁ пр	m ₁ факт	δm ₁	C _v пр	C _v факт	
Шрайбер	420	291	0.52	1.92	82786	278	293	5	0.27	0.25	-6
Мезенцев	420	331	0.43	2.33	57873	230	293	22	0.31	0.25	-24
Ольдекоп	420	359	0.37	2.73	42654	196	293	33	0.33	0.25	-33
Будыко	420	323	0.44	2.25	61724	238	293	19	0.31	0.25	-23
Испаряемость по Постникову											
Формула испарения	E ₀	E	k _{пр}	C	m ₂ пр	m ₁ пр	m ₁ факт	δm ₁	C _v пр	C _v факт	δC _v
Шрайбер	290	224	0.64	1.55	125385	344	293	-18	0.24	0.25	4.6
Мезенцев	290	255	0.58	1.73	102576	309	293	-5	0.28	0.25	-10.0
Ольдекоп	290	276	0.53	1.88	87813	285	293	3	0.28	0.25	-13.7
Будыко	290	248	0.60	1.67	110387	321	293	-9	0	0.25	-8

Таблица 4.14 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза с первого периода (1954-1980) на второй (1981-2018) р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

Испоряемость по Тюрку											
Формула испарения		Хпр		537	tпр,°С		-5.0	Gп		5482	
	Ео	Е	кпр	Спр	m2пр	m1пр	m1факт	δm1	Cvпр	Cvфакт	δCv
Шрайбер	919	440	0.21	4.83	12924	111	349	68	0.21	0.24	11
Мезенцев	919	464	0.16	6.21	7916	86	349	75	0.24	0.24	-1
Ольдекоп	919	483	0.12	8.70	4129	62	349	82	0.29	0.24	-20
Будыко	919	461	0.16	6.21	7916	86	349	75	0	0	-1
Испаряемость по Постникову											
Формула испарения	Ео	Е	кпр	С	m2пр	m1пр	m1факт	δm1	Cvпр	Cvфакт	δCv
Шрайбер	227	185	0.75	1.34	163177	401	349	-15	0.11	0.24	53
Мезенцев	227	209	0.70	1.43	143830	377	349	-8	0.12	0.24	51
Ольдекоп	227	223	0.67	1.50	130120	358	349	-3	0.12	0.24	50
Будыко	227	203	0.71	1.40	148552	383	349	-10	0	0	52

Таблица 4.15 – Подбор расчетной формулы для определения коэффициента стока для прогноза со второго периода (1981-2018) на первый (1954-1980) р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

Испоряемость по Тюрку											
Формула испарения	E _о	Х _{пр}		494	t _{пр} ,°C		-6.9	G _n		21088	δC _v
		E	k _{пр}	C	m ₂ пр	m ₁ пр	m ₁ факт	δm ₁	C _v пр	C _v факт	
Шрайбер	1474	469	0.06	17	1452	29	306	91	0.86	0.13	-561
Мезенцев	1474	468	0.06	17	1068	29	306	91	0.53	0.13	-306
Ольдекоп	1474	476	0.05	21	709	23	306	92	0.57	0.13	-340
Будыко	1474	473	0.05	21	709	23	306	92	0.57	0.13	-340
Испаряемость по Постникову											
Формула испарения	E _о	E	k _{пр}	C	m ₂ пр	m ₁ пр	m ₁ факт	δm ₁	C _v пр	C _v факт	δC _v
Шрайбер	193	159	0.80	1.26	162859	393	306	-28	0.23	0.13	-79
Мезенцев	193	179	0.75	1.34	150794	370	306	-21	0.32	0.13	-146
Ольдекоп	193	190	0.71	1.40	137080	353	306	-15	0.32	0.13	-147
Будыко	193	174	0.76	1.31	155511	376	306	-23	0.32	0.13	-145

В таблицах 4.16 – 4.19 представлены сравнения погрешностей прогнозных величин математического ожидания и коэффициента вариации до учета оттаявшего слоя и после.

Таблица 4.16 – Сравнение погрешностей m_x и C_v с учетом уточненного коэффициента стока для прогноза **с первого периода (1954-1978 гг.) на второй (1979-2019 гг.)** р. Северная Сосьва - Няксимволь

Испоряемость по Тюрку						
Формула испарения	δm_1 до	δm_1 после	Δ	δC_v до	δC_v после	Δ
Шрайбер	13	6	7	-0.2	-4	4
Мезенцев	23	16	7	-6	-11	5
Ольдекоп	30	23	7	-11	-16	5
Будыко	21	15	7	-5	-9	4
Испаряемость по Постникову						
Формула испарения	δm_1 до	δm_1 после		δC_v до	δC_v после	Δ
Шрайбер	11	6	5	-0.2	-3	3
Мезенцев	21	15	6	-5	-9	4
Ольдекоп	28	22	6	-10	-14	5
Будыко	19	11	8	-3	-8	5

Таблица 4.17 – Сравнение погрешностей m_x и C_v с учетом уточненного коэффициента стока для прогноза **со второго периода(1979-2019 гг.) на первый (1954-1978 гг.)** р. Северная Сосьва - Няксимволь

Испоряемость по Тюрку						
Формула испарения	δm_1 до	δm_1 после	Δ	δC_v до	δC_v после	Δ
Шрайбер	5	17	-12	-6	-13	7
Мезенцев	22	30	-9	-24	-31	6
Ольдекоп	33	40	-7	-33	-40	6
Будыко	19	28	-9	-23	-29	6
Испаряемость по Постникову						

Формула испарения	δm_1 до	δm_1 после	Δ	δC_v	δC_v	Δ
Шрайбер	-18	-6	-11	4.6	-0.4	-5
Мезенцев	-5	4	-10	-10.0	-14.5	-4
Ольдекоп	3	11	-9	-13.7	-18.2	-4
Будыко	-9	2	-12	-8	-13	-5

Таблица 4.18 – Сравнение погрешностей m_x и C_v с учетом уточненного коэффициента стока для прогноза с первого периода (1954-1980 гг.) на второй (1979-2019 гг.) р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

Испоряемость по Тюрку						
Формула испарения	δm_1 до	δm_1 после	Δ	δC_v до	δC_v после	Δ
Шрайбер	72	68	4	4.4	11	-6
Мезенцев	79	75	4	-10	-1	-9
Ольдекоп	85	82	2	-28	-20	-9
Будыко	78	75	3	-8	-1	-7
Испоряемость по Постникову						
Формула испарения	δm_1 до	δm_1 после		δC_v до	δC_v после	Δ
Шрайбер	-1	-15	14	50	53	-3
Мезенцев	6	-8	14	48	51	-3
Ольдекоп	10	-3	13	47	50	-3
Будыко	4	-10	14	48	52	-3

Таблица 4.19 – Сравнение погрешностей математического ожидания и коэффициента вариации с учетом уточненного коэффициента стока для прогноза со второго (1979-2019) на первый период (1954-1978) р. Пяку-Пур - п. Тарко-Сале

Испоряемость по Тюрку						
Формула испарения	δm_1 до	δm_1 после	Δ	δC_v до	δC_v после	Δ
Шрайбер	92	91	1	-611	-561	-50

Мезенцев	92	91	1	-324	-306	-18
Ольдекоп	94	92	2	-387	-340	-47
Будыко	93	92	1	-353	-340	-13
Испаряемость по Постникову						
Формула испарения	δm_1 до	δm_1 после	Δ	δC_v до	δC_v после	Δ
Шрайбер	-9	-28	19	-94	-79	15
Мезенцев	-3	-21	18	-149	-146	3
Ольдекоп	1	-15	16	-150	-147	3
Будыко	-5	-23	18	-149	-145	3

При сравнении полученных результатов, можно отметить, что погрешности значений стали меньше при прогнозе с первого на второй период. Можно сделать вывод, что методика лучше работает для прогноза на период с потеплением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были собраны среднегодовые расходы воды для трех водосборов – р. Северная Сосьва – Няксимволь, р. Пяку-Пур – п. Тарко-Сале, р. Ляпин – Саранпауль. И ряды годовых сумм осадков, среднегодовых температур воздуха, температур грунтов на различных глубинах для метеостанций Няксимволь, Тарко-Сале, Саранпауль.

Была произведена предварительная оценка исходных данных – построены хронологические графики. Оценена однородность рядов по критериям Фишера и Стьюдента практически по всем рядам гипотеза об однородности ряда опровергается либо по критерию Фишера или по критерию Стьюдента. Была произведена оценка значимости тренда. Для всех рядов данных были рассчитаны статистические характеристики – средние значения, коэффициенты вариации и асимметрии и оценены погрешности рассчитанных величин.

Для рядов температур грунтов на различных глубинах были построены графики внутригодовых изменений температуры за года. Наблюдения проводились не на всех глубинах, наибольшие ряды и значения глубин для метеостанции Няксимволь. Для всех рядов температур грунтов на различных глубинах наблюдается тренд на повышение температуры с начального года наблюдений к конечному.

Были рассчитаны коэффициенты корреляции для оценки связи гидрологических и метеорологических данных. При анализе полученных результатов нужно отметить высокую корреляцию гидропоста р. Северная Сосьва – Няксимволь и метеостанции Няксимволь ($R=0.70$) и гидропоста Ляпин – Саранпауль и метеостанции Саранпауль ($R=0.60$), для р. Пяку-Пур – п. Тарко-Сале и метеостанции Тарко-Сале ($R=0,66$).

Для проведения работы ряды были поделены на два периода максимально отличных друг от друга по критериям. Фишера и Стьюдента. Важно отметить,

что первый и второй период отличаются по средним значениям осадков, температуры и расходов. Первый период был определен как маловодный, более холодный и с меньшим количеством осадков. Второй период принимается за полноводный, с более высокой нормой температуры воздуха и увеличенной нормой осадков. Для станции Саранпауль не прослеживается подобной закономерности для периодов, в связи с более коротким рядом.

Для апробации методики было принято производить прогноз с первого периода на второй и также со второго на первый, чтобы проследить работу методики для прогноза с маловодного периода с более холодным климатом, на многоводный с потеплением и наоборот. Был произведен расчет прогнозируемых характеристик, а также подбор лучшей формулы для испарения. Для постов р. Пяку-Пур – п. Тарко-Сале и р. Северная Сосьва – п. Няксимволь для двух периодов результаты вычислений испаряемости по формуле Постникова показали более надежный результат.

Для Пяку-Пур – п. Тарко-Сале при прогнозе на потепление рекомендуется для расчета испарения формула Будыко ($\delta m_1=4\%$, $\delta C_v =48\%$), при прогнозе на период с похолоданием была выбрана формула Шрайбера ($\delta m_1=-9\%$, $\delta C_v =-94\%$)

Для Северная Сосьва – п. Няксимволь При прогнозе с маловодного на полноводный период все формулы для испарения дают завышенную погрешность для математического ожидания. Для дальнейшей работы рекомендуется формула Шрайбера, с наименьшей погрешностью для математического ожидания ($\delta m_1=11\%$, $\delta C_v =-3\%$). При прогнозе с многоводного на маловодный период все формулы кроме Ольдекоп подходят для расчетов. Для дальнейшей работы рекомендуется формула Будыко ($\delta m_1=2\%$, $\delta C_v =-13\%$)

Для р. Ляпин - п. Саранпауль методика показала неудовлетворительные результаты. При прогнозе с маловодного на полноводный период все формулы для испарения дают завышенную погрешность для математического ожидания (в среднем $\delta m_1=30\%$).

Важно отметить, что в методике не используются фактические данные о влажности почв, т.к систематические наблюдения за этой характеристикой не

ведутся и нет рядов наблюдения за период исследования. Для того чтобы иметь примерное соотношение влажностей в течении года со спутника SMAP были получены трехчасовые данные по влажности почвы для времени 00:00 и 03:00 по всей поверхности планеты с разрешением 9км. При помощи цифровой модели и ArcGIS была получена средняя влажность по водосборам. Можно отметить, что значения влажности не сильно различаются между собой в разные периоды. Для дальнейшей работы были выбраны осредненные значения влажности почвы за теплый период.

При оттаивании грунта сформировавшийся сток идет к замыкающему створу, и учитывается в норме через коэффициент стока. После уточнения коэффициента стока производился новый прогноз. При сравнении полученных результатов, можно отметить, что погрешности значений стали меньше при прогнозе с первого на второй период. Можно сделать вывод, что методика лучше работает для прогноза на период с потеплением

Основная цель работы достигнута – получена и апробирована методика сценарной оценки водного режима рек с учетом возможного таяния многолетней мерзлоты. Данную методику возможно применять для любого водосбора отвечающего условиям отбора, для этого необходимо:

1. Собрать фактические данные о среднегодовых расходах воды, температурах воздуха, температурах почвы, годовых сумм осадков и значений влажности почвы
2. Определить климатический сценарий. Согласно выбранному сценарию определить норму осадков и температуру воздуха
3. По методике определить величину слоя стока оттаявших грунтов
4. Скорректировать будущий коэффициент стока с учетом сценарных значений испарения
5. Сценарная оценка с учетом скорректированного коэффициента стока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арктика: экология и экономика №2 (6), 2012 УДК 551.583+338
Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики В.М. Катцов, доктор физико-математических наук, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Росгидромет, Б.Н. Порфирьев, доктор экономических наук, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН
2. Воздействие изменения климата на российскую Арктику: анализ и пути решения проблемы. WWF России. – М., 2008 – 28 с.
3. Статья «Ямал – край, где начинается родина» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/FS/Soderjanie/FS-19/V/Neelov.pdf>
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15 Выпуск 3. Алтай и Западная Сибирь. Л.: Гидрометеиздат, 1972
5. География Ямало-Ненецкого автономного округа: Учебное пособие. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2001. 328 с.
6. Большаков В. Н., Балахонов В. С., Громик В. Д. Природа Ямала; Отв. ред. Л. Н. Добринский]; - Екатеринбург: Урал. изд. фирма "Наука", 1995. – 434с
7. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 13.10.2022)
8. Основные гидрологические характеристики (за 1963-70 гг. и весь период наблюдений). Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь
9. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. РСФСР. Выпуск 10. Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. Стр.1-200
10. Гидрологический ежегодник Том 6. Бассейн Карского моря (западная часть). Выпуск 0-3 (1981-2008)

11. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 20.10.2022)
12. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 2004. – 72 с
13. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9056423> (Дата обращения: 30.01.2022).
14. Расчёт испаряемости и суммарного испарения с водосборов северо-запада России. – Труды КНЦ РАН № 9 2016 [с. 95-101]
15. Рекомендации по определению прочности мерзлых грунтов с морским типом засоления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294845/4294845132.html> (Дата обращения: 30.01.2022).
16. Техничко-экономическое обоснование проекта. Анализ технологического процесса лесопиления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vunivere.ru/work73619/page30> (Дата обращения: 30.01.2022).
17. Расчёт испаряемости и суммарного испарения с водосборов северо-запада России. – Труды КНЦ РАН № 9 2016 [с. 95-101]
18. Геопортал ИВМ СО РАН, Красноярск, 2022. Измерение влажности почвы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://gis.krasn.ru/blog/soil/resume> (Дата обращения: 16.04.2022)
19. Национальный центр данных по снегу и льду (NSIDC) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nsidc.org/data/SPL4SMAU/versions/6> (Дата обращения: 26.04.2022)