



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

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему **Изменение речного стока  
в результате возможного  
изменения климата  
(на примере р. Обь)**

Исполнитель Ширёв Владислав Юрьевич

Руководитель к.г.н., доцент

Постников Александр Николаевич

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор

Коваленко Виктор Васильевич

«15» июня 2016г.

Санкт-Петербург  
2016



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

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов  
**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская)

На тему Изменение речного стока в результате возможных изменений климата (на примере р. Обь)

**Исполнитель**                      Ширёв Владислав Юрьевич

**Руководитель**                      канд.наук

Постников Александр Николаевич

**«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой**

д.г.н., профессор

Коваленко В.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Санкт–Петербург  
2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1 Физико-географическая описание бассейна реки Обь.....	5
1.1 Рельеф и геология .....	5
1.2 Климат.....	12
1.3 Почвы и растительность.....	18
2 Формулы для расчёта среднего годового испарения с поверхности суши, радиационного баланса увлажненной поверхности и норм годового стока ....	24
3 Оценка стока на территории бассейна река Обь в условиях изменяющегося климата .....	36
Заключение .....	70
Список использованных источников .....	74

## Введение

Наряду с оценкой современного состояния водных ресурсов региона, нам представляется интересным оценить их изменение в будущем, если климат по той или иной причине начнет меняться.

В последнее время проблема изучения климата на планете приобретает всё большую актуальность. Это связано с одной стороны с тем, что человек накапливает всё больше научных знаний в области всевозможных процессов, происходящих на Земле, и с другой стороны – непосредственным влиянием самого человека на эти процессы. Ни для кого не секрет, что природа непрерывно находится в состоянии эволюции, постоянного изменения. И для человечества всегда представлялось огромным интересом предугадать эти изменения.

На данный момент существует немалое количество всевозможных теорий и гипотез о характере будущего изменения климата. Однако ни одну из них нельзя назвать единственно верной, споры идут по сей день. Большинство специалистов придерживается концепции потепления климата, вызванного парниковым эффектом, создаваемым непрерывным увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере. Наряду с этим высказываются гипотезы и о похолодании, которые связываются с различными геофизическими причинами. Чья точка зрения окажется более правомерной, покажет будущее.

Прогноз климата не является задачей гидрологии, однако гидрологи должны уметь заблаговременно оценить изменения, хотя бы, нормы речного стока на той или иной территории при различных вариантах климата, возможных в будущем.

Можно сказать, что изменение климата, по сути, есть изменение среднесуточных значений (норм) гидрометеорологических элементов. Опираясь на связь этих элементов (осадки  $X$ , температура воздуха  $t$ , испарение  $E$ , сток  $Y$ ) в уравнении водного баланса, в работе сделана попытка определить нормы речного стока при различных вариантах климата, которые возможны в будущем. Представляется интересным рассмотреть вопрос о том, какой будет норма стока и как в случае сравнительно незначительного потепления, так и в случае столь же незначительного похолодания.

В данной работе изменение норм осадков и температуры воздуха задавались нами самими. Цель работы: выяснить, как будет меняться норма стока в зависимости от этих изменений.

Решение поставленной задачи, по-видимому, имеет не только научный, но и практический интерес, поскольку речной сток имеет огромное значение для народного хозяйства страны.

# 1 Физико-географическое описание бассейна реки Обь

Одной из крупнейших водных систем мира является река Обь. По площади бассейна (более 2 990 000 км<sup>2</sup>) она является рекордсменкой.

По гидрографическим условиям и характеру водного режима реку делят на три части: Верхнюю – от точки слияния Катунь с Бией до устья реки Томь (около 1020 км). Среднюю – от устья Томи до устья реки Иртыш (около 1500 км). Нижнюю – от устья притока Иртыш до Обской губы (около 1160 км). Бассейн реки Обь среди всех рек мира занимает пятое место по площади водотока – 2990 тыс. км<sup>2</sup>. Среднегодовой расход воды при измерении в районе устья составляет внушительные 12,7 тыс. м<sup>3</sup>/сек.

Обь после впадения Иртыша становится мощной, глубокой (до 30 м) рекой с широкой поймой, ширина русла 1,5-4 км. У поселка Перегребного Обь делится на 2 рукава: Большую Обь (правый) и Малую Обь (левый). Эти рукава текут самостоятельно около 450 км.

Иртыш протекает по территории трех стран: КНР (на протяжении 525 км.), Казахстана (1700 км.) и конечно же России (2010 км.). Он берет свое начало на восточных склонах горного Алтая, что на границе Монголии и Китая.

## 1.1 Рельеф и геология

### Нижний Иртыш и нижняя Обь

Широтным повышением, простирающимся от предгорий Урала в области Тоболо – Сосьвинского водораздела через так называемые Сибирские увалы, равнина разделяется две части(котловины): северную (Нижнеобскую) и южную(Среднеобскую). Поверхность обеих котловин, за исключением небольшой части на северо-западе, занятой восточными склонами Уральских гор,– низменная равнина с приподнятыми краями с общим очень незначительным падением на север. Обе котловины соединены между собой широким понижением, по которому протекает р. Обь.

Наиболее пониженные части Нижнеобской котловины приурочены к устьевому участку Оби и южной оконечности Обской губы. От наиболее

пониженной части местность повышается во все стороны, и высоты быстро возрастают, достигая на левобережье Оби 200–220 м и в отдельных точках 270 м.

С севера Нижнеобскую котловину замыкают возвышенности Гыдана и Ямала, разделяющиеся Обской губой. Возвышенности центральной части Ямала достигают высоты 70–75 м и тянутся до северной оконечности Полярного Урала, сохраняя высоты 70–80 м, и лишь местами прерываются речными долинами (р. Юрибей и др.)

Современные микроформы рельефа в северной части территории формируются мерзлотно-солифлюкционными процессами.

В пределы описываемой территории входят восточные склоны Северного, Приполярного и Полярного Урала, составляющие единую горную систему, распадающуюся на ряд параллельных хребтов. Здесь выделяются три геоморфологические области, лежащие на разных абсолютных высотах и характеризующиеся определенными формами рельефа: 1) высокогорье, 2) среднегорье, 3) холмисто-увалистые предгорья.

Эта равнина представляет молодую платформу, покрытую мощной толщей четвертичных отложений. Горные районы занимают сравнительно небольшую площадь на западе территории.

Геология Западной Сибири четвертичного времени тесно связана с покровными оледенениями. В распространении четвертичных отложений наблюдается ясно выраженная широкая зональность. Выделяются ледниковая и внеледниковая области. Ледниковая область является ареной деятельности покровных оледенений. Западно–Сибирская равнина пережила три покровных оледенения (Самаровское, Тазовское, Зыряновское). В конце Зыряновского оледенения произошло опускание северных прибрежных районов Западно–Сибирской равнины. Опустившиеся участки были затоплены водами Карского моря и покрыты морскими отложениями. Затем после регрессии моря в южной половине равнины началось новое врезание рек. Из-за малых уклонов русла и широкого распространения многолетней

мерзлоты в большинстве речных долин Западной Сибири преобладала боковая эрозия, углубление долин шло медленно, поэтому они и имеют обычно значительную ширину распространение покровных горизонтов лёссовидных суглинков и глинистых пород. Валунное ледниковое отложение покрывают огромные пространства равнины. Однако в западной части равнины валуны состоят преимущественно из уральских пород, а в восточной части преобладают обломки траппов, принесенных с северо-востока из Таймырского центра оледенения.

### Алтай и Западная Сибирь (средняя Обь)

По характеру рельефа большая часть описываемой территории представляет пониженную, слабо дренированную равнину, на которой чередуются самостоятельные низменности и возвышенности. К юго-востоку Западно – Сибирская низменность сменяется зоной предгорных расчлененных равнин, переходящих в горные хребты Салаирского кряжа, Кузнецкого Алатау и Горной Шории, окаймляющие Кузнецкую котловину.

Абсолютные отметки территории колеблются от 20м на севере до 2178м на юге.

Лесная зона. Для лесной зоны характерно преобладание слабодренированных плоских равнин, занятых обширными труднопроходимыми болотами и бесчисленным множеством озер. Равнинный характер рельефа местами нарушается аккумулятивно-ледниковыми грядами и холмами, а также термокарстовыми котловинами разных размеров. Речные долины имеют, как правило, надпойменные, местами двух- и трехъярусные террасы высотой до 10-15 м, которые чередуются с замкнутыми котловинами, занятыми озерами.

Западная часть лесной зоны (левобережье р. Оби) представляет собой обширную, слабоприподнятую равнину, подвергшуюся заболачиванию, заторфовыванию и частичному эрозионному расчленению в течение второй

половины четвертичного периода. Наиболее возвышенная юго-восточная часть имеет отметки 150-170 м над уровнем моря, на севере отметки снижаются до 90 м.

Грунты левобережной территории лесной зоны представлены толщами рыхлых песчано-глинистых пород, мощность которых по долинам рек составляет около 50 м.

Лесостепная зона по характеру рельефа делится на две части: пониженную западную (Обско-Иртышское междуречье) с абсолютными отметками, не превышающими восточную с высотами 420-470 м.

Средняя лесостепь представляет собой равнину местами грядистую с многочисленными блюдцами.

Кузнецкая котловина на северо-западе примыкает непосредственно к Западно – Сибирской низменности, на юго-востоке она окружена горным хребтом Кузнецкого Алатау, на западе – Салаирским кряжем. Кузнецкая котловина представляет слаборасчлененную равнину с небольшими колебаниями высот и уклоном с юга на север. Средние высоты составляют около 450 м на юге и 250 м на севере.

По своему геологическому строению Кузнецкая котловина представляет межгорную впадину геосинклинального типа, выполненную мощной толщей осадков различного возраста.

Кузнецкий Алатау – это горный хребет со средними высотами 600-800 м, однако отдельные массивы поднимаются до 1800-2200 м.

Западный склон крутой и обрывается к Кузнецкой котловине системой уступов. Много небольших стремительных порожистых речек протекает через узкие ущелья. Восточный склон более пологий, расчлененный широкими, хорошо разработанными долинами с плоским дном и спокойно текущими реками.

Кузнецкий Алатау сложен кембрийскими мраморами и силурийскими сланцами, и туфами.

Равнинная часть рассматриваемой территории в гидрогеологическом отношении относится к Западно – Сибирскому бассейну, куда входят частично Иртышский, Чулымский, Обский артезианские бассейны.

Горная область относится к Саяно-Алтайской складчатой стране, включающей Кузнецкий Алатау, Горную Шорию, Салаирский кряж, Колывань-Томскую складчатую зону и Кузнецкую котловину. В геологическом строении горной области участвуют в основном породы докембрия и палеозоя, частично перекрытые кайнозойскими отложениями.

Геоморфологические и геологические условия характеризуемой территории определяют особенности формирования подземных вод в отдельных структурных регионах. Интенсивный дренаж подземных вод горными реками, становится затрудненным и замедленным при выходе долины р. Оби на Западно – Сибирскую равнину, что отражается количественно на подземной составляющей в общем балансе поверхностных водотоков.

Подземное питание рек в пределах Кузнецкого Алатау и Горной Шории значительное и происходит в основном за счет подземных вод верхней выветренной трещиноватой зоны, трещинных и особенно трещинно-карстовых вод.

### Горный Алтай и верхний Иртыш

Бассейны Верхнего Иртыша и Верхней Оби располагаются на стыке Казахской складчатости страны и Алтае-Саянской горной системы, охватывая весь советский Алтай, и имеет преимущественно горный рельеф с большим разнообразием форм поверхности и весьма сложным орографическим строением.

Для территории Верхней Оби и правобережья Иртыша характерно общее повышение хребтов и дна долин с северо-запада от. Западно – Сибирской низменности, на восток-юго-восток- к главным горным узлам

Алтая, а для западной, левобережной части р. Иртыша-постепенное увеличение высоты местности от холмисто-грядового мелкосопочника и низкогорной Казахской складчатой страны на севере и западе до среднегорного и высокогорного рельефа на юге.

В западной части рассматриваемой территории (левобережная часть р. Иртыша) принято выделять геоморфологических районов: мелкосопочный район Казахской складчатой страны, Зайсанская котловина, равнинное Прииртышье, Кальбинский хребет.

Мелкосопочный район находится в северо-западной части рассматриваемой территории. Поверхность Центрально-Казахстанского мелкосопочника сформировалась под воздействием процессов выветривания древних горных хребтов до стадии равнины с стланцевыми горами и сопками. Невысокие (500-600 м абс.) сопки (холмы), часто сгруппированные в гряды, чередуются с изолированными низкогорными поднятиями и с обширными долинами.

На северно-востоке мелкосопочник плавно переходит в Прииртышскую равнину, а на юго-западе окаймляется низкогорным хребтом Чингиз-Тау.

Хребет Чингиз-Тау представляет собой складчато – горстовое поднятие Казахской складчатой страны. Он простирается с северо-запада на юго-восток более чем на 200 км и возвышается над окружающей местностью на 500-600 м. В целом для хребта Чингиз – Тау характерно чередование невысоких линейно-направленных гор и сопок, разделенных широкими долинами.

Зайсанская котловина представляет обширную депрессию, ограниченную горами Южного Алтая, Сауро – Тарбагатая и Кальбоны. На юге и севере границы ее выражены весьма отчетливо, на востоке продолжением котловины служит широкая Черного Иртыша, а на западе она постепенно переходит в мелкосопочник Центрального Казахстана.

Равнинным рельефом наряду с Зайсанской котловиной характеризуется также крайняя северная часть правобережного Прииртышья.

Равнинное Прииртышье занимает незначительную часть рассматриваемой территории. Для этого района характерен слабоволнистый или увалистый рельеф, незначительная высота местности, большое количество замкнутых блюдцеобразных бессточных впадин, нередко занятых мелкими озерами.

Хребет является левобережным продолжением горных массивов Алтая. На востоке он кулисообразно заходит за Нарымский хребет, обуславливая этим глубокий изгиб долины Иртыша.

В отличие от Северного Алтая, который довольно круто обрывается к Западно – Сибирской низменности, в Западном Алтае переход к равнинному рельефу происходит более постепенно и на значительном протяжении.

Рассматриваемая территория имеет сложное геологическое строение. Горные породы, слагающиеся хребты Алтая, Тарбагатая и низкогорий Казахского мелкосопочника, разнообразны по возрасту, литологическому составу, степени дислоцированной и метаморфизованной. Наиболее характерной структурной особенностью является преобладающая северо-западная ориентировка осей складок и разломов.

Казахский мелкосопочник – это сильно разрушенная и сглаженная горная страна. В восточной части, расположенной на рассматриваемой территории, сложен преимущественно древними геологическими образованиями. Особенно широко распространены отложения палеозоя, представленные кварцитами, известняками, песчаниками и сланцами.

Равнинное Прииртышье сложено в основном рыхлыми палеогеновыми и антропогеновыми отложениями. Мощность резко уменьшается при движении с севера на юг, т.е. в направлении поднятия погребенного палеозойского фундамента. В толщу этих сложений входят палеогеновые морской и неогеновые континентальные осадки.

В геологическом строении Алтая принимают участие разновозрастные, преимущественно палеозойские породы, сильно метаморфизованные и нарушенные разломами в основном северо-западного и северного простирания. В центральных и юго-восточных районах Горного Алтая широко распространены также протерозойские отложения.

В Северном Алтае палеозойские отложения в основном осадочного типа представлены песчано-сланцевыми отложениями, гранитами, авгитами, алевритами, тонкозернистыми известковистыми песчаниками, глинисто-известковыми сланцами, мергелистыми сланцами, известняками, глинистыми сланцами, конгломератами.

Характерной чертой геологии Северного Алтая, особенно свойственной его северо-западной части, является широкое распространение известняков, известковых песчаников и других карбонатных пород, характеризующихся сильной трещиноватостью.

## 1.2 Климат

### Нижний Иртыш и нижняя Обь

Равнинность территории и открытость с севера и юга не препятствуют глубокому проникновению в ее пределы воздушных масс как с севера, так и с юга. Поэтому в любой сезон года возможны резкие изменения погоды, переход от тепла к холоду, резкие колебания температуры воздуха от месяца к месяцу, от суток к суткам и в течение суток.

*Осадки.* Увлажненность почти целиком зависит от количества влаги, приносимой с запада. Вторжение арктических масс с севера и континентально-полярных с юга не встречает препятствий на обширной территории Западно – Сибирской равнины. Однако первые вообще не дают больших осадков, а вторые, хотя и дают значительные осадки, обычно ограничены сравнительно узкой фронтальной зоной и притом не очень часто повторяются.

Большая протяженность территории, простирающейся от берегов Ледовитого океана до казахских степей, наличие на западной границе Уральских гор и характерное для ее рельефа чередование низменностей с возвышенностями вносят значительное разнообразие в распределении осадков по территории.

Наибольшее количество осадков (500–600 мм) выпадает в лесной зоне. Увеличение осадков в этом районе связано с наибольшим развитием циклонической деятельности. К северу и югу от этой зоны количество осадков убывает.

Уменьшение осадков к северу от зоны максимальных осадков связано главным образом с малым влагосодержанием преобладающего здесь арктического воздуха, а к югу—ослаблением циклонической деятельности и повышением температуры.

Некоторую пятнистость в распределении осадков вносят различия в характере подстилающей поверхности.

Области наибольшего количества осадков приурочены к облесенным водоразделам, так как широкие плоские долины крупных рек оказывают заметное влияние в сторону уменьшения осадков.

По всей территории основное количество осадков выпадает с мая по октябрь, и годовая сумма осадков на 75–80% складывается из осадков теплого полугодия.

Следует отметить значительную изменчивость годового количества осадков. Наибольшие колебания сумм осадков наблюдается в лесной зоне, где при годовой норме 500–600 мм осадков в дождливые годы иногда может выпасть на 200–250 мм больше, а в сухие— на столько же меньше. Изменчивость месячных сумм осадков из года в год также довольно велика, особенно в теплый период.

Максимальная величина суточного количества осадков в Заполярье не превышает 50 мм, на всей остальной территории – 150 мм и приходится на летние месяцы.

## Алтай и Западная Сибирь (средняя Обь)

*Осадки* на рассматриваемой территории распределяются крайне неравномерно, что связано с разнообразием форм рельефа. При продвижении от северных районов лесной зоны к южным происходит уменьшение годовых осадков от 500 до 400 мм. В западных районах Обско–Иртышского междуречья выпадает всего 300-350 мм в год. Наименьшее количество осадков (250–300 мм) приходится на район оз. Чаны. Наибольшая годовая сумма осадков (950–1000 мм) наблюдается на западных склонах Кузнецкого Алатау.

Минимум осадков падает на февраль, максимум –как правило, на июль, а в лесной зоне на восточном склоне Салаирского кряжа – на август.

Изменчивость месячных сумм осадков из года в год довольно велика, особенно в теплый период. Так, например, в г. Томске в августе 1963 г. выпало 206 % месячной нормы осадков, а в августе 1964 г. только 20 %;

*Снежный покров.* Продолжительная и холодная зима благоприятствует накоплению снега. Время выпадения первого снега близко к дате перехода средней суточной температуры воздуха через 0°. Устойчивый снежный покров образуется в конце октября- начале ноября, однако отдельные годы могут наблюдаться значительные отклонения от средних лет. Максимальной высоты снежный покров достигает в третьей декаде февраля на юго-западе и во второй декаде марта на северо-востоке территории.

Максимальные запасы воды в снеге колеблются от 70 мм на территории Обско-Иртышского междуречья до 170 мм на северо–востоке и 200 мм в горном районе. С наступлением оттепелей высота снежного покрова быстро уменьшается от декады к декаде; таяние снега происходит значительно быстрее, чем его накопления

Число дней со снежным покровом уменьшается с северо-востока на юго-запад от 190–200 до 150.

*Влажность воздуха.* Наибольшая относительная влажность (80–85 %) наблюдается в зимние месяцы (ноябрь–декабрь), наименьшая (55–65 %) – в мае. Годовой дефицит влажности составляет 2,5–3,5 мб. В среднем за теплый период (апрель–октябрь) дефицит влажности изменяется от 2 до 10 мб.

*Ветер.* На большей части рассматриваемой территории в течение всего года преобладают юго–западные и западные ветра. Средняя годовая скорость ветра равняется 3–5 м/сек. В зимние месяцы скорость ветра наибольшая, в марте она достигает 5–6 м/сек. В летний период скорость ветра уменьшается и составляет в июле и августе 2,5–3,5 м/сек.

### Горный Алтай и верхний Иртыш

Территория Горного Алтая и Верхнего Иртыша характеризуется резко континентальным климатом. Из-за большей удаленности и отгороженности горными системами, и влажные воздушные массы с Атлантического океана доходят сюда трансформированными, потерявшими большую часть влаги, а воздушные массы, проникающие с Северного Ледовитого океана, – холодными и сухими. Особенно большую сухостью отличаются холмисто-мелкосопочные и равнинные районы левобережья Иртыша. Сложная орография, наличие замкнутых котловин и плоскогорий обуславливают большие различия климатических особенностей отдельных районов Алтая. Климат Алтая в целом значительно мягче, чем в соседних районах, лето прохладное, а зима относительно теплее.

*Осадки.* На распределение атмосферных осадков по территории Горного Алтая и Верхнего Иртыша большое влияние оказывает орография и высота местности. Особенно неравномерно распределяются осадки по территории Алтая, где на сравнительно небольшом расстоянии находятся хорошо увлажняемые осадками склоны и межгорные котловины, для которых характерно весьма малое количество осадков. В

орографический однородных районах решающее влияние на количество осадков оказывается высота местности.

На Алтае наибольшее количество годовых осадков выпадает на склонах, ориентированных навстречу влагоносным воздушным потокам передовых хребтов Западного (до 1500–1800 мм) и Северного (до 1000–1300 мм) Алтая. В центральных и юго-восточных замкнутых районах Алтая среднегодовое количество осадков значительно меньше (400–600 мм). Особенно мало осадков выпадает в межгорных котловинах.

По сезонам года осадки на большей части Алтая распределены неравномерно. В теплое время года выпадает 60–75% годовой суммы. Зима малоснежна, особенно в котловинах и замкнутых участках долин. В отдельных горных районах количество зимних осадков велико (Ульбинский, Катунский хребет).

Летом барометрический максимум сменяется пониженным давлением, что способствует усилению циклонической деятельности. В это время осадкообразующими являются холодные (арктические) и теплые (полярные) воздушные массы, причем первые преобладают.

Особенности орографического строения играют большую роль в распределении осадков теплого периода. Мощный веер западных хребтов с направлением от северо-западного до юго-западного способствует проникновению далеко вглубь по межгорным пространствам влажных воздушных течений к охлажденным гребням хребтов, которые быстро конденсируют приносимую влагу. Поэтому в теплый период наблюдается максимум выпадающих осадков. В среднем за многолетний период количество осадков за теплый период изменяется от 100 мм, а Зайсанской котловине до 800–1000 мм в высокогорье Западного и Центрального Алтая.

Месячный максимум осадков чаще всего наблюдается в июне или июле. В Казахской части района есть еще второй максимум, менее выраженный, приходящийся на октябрь-ноябрь. Для некоторых районов этом максимум может превзойти летный (Зайсанская котловина, Южный Алтай).

Некоторое увеличение осадков осенью наблюдается и в северо-восточных районах Алтая. В остальных районах Горного Алтая и Верхнего Иртыша от лета к осени происходит постепенное снижение количества осадков. Минимальное месячное количество осадков приходится на февраль.

*Снежный покров.* Малое количество осадков в зимнее время в равнинных, холмисто-сопочных районах и межгорных котловинах и большое количество их на горных склонах, а также перенос снега ветром создают пеструю картину распределения снежного покрова по территории. Первые снегопады и неустойчивый снежный покров в северо-западных районах наблюдаются в октябре, в северо-восточных предгорных районах – в сентябре, а в высокогорных районах Алтая – в конце августа – начале сентября. Устойчивый снежный покров образуется в среднем на 20-30 дней позже.

*Наибольшая высота снежного покрова* в равнинных районах Верхнего Иртыша и Алтая равна 16-20 см, а в малоснежные зимы – 3–5 см. Наибольшей мощностью снежного покрова характеризуются районы низкогорно-предгорного и среднегорного поясов Северного и Западного Алтая (до 80 – 100 см в середине по снежности годы и более 150–200 см в многоснежные).

*Максимальные запасы воды* в снежном покрове составляют в среднем от 30-40 мм в равнинных районах левобережья р. Иртыша до 80–100 мм в высокогорных районах Западного и Центрального Алтая.

Начало снеготаяния и разрушение устойчивого снежного покрова в малоснежных западных районах в среднем наблюдается в конце марта, в многоснежных заселенных районах – в середине – конце апреля, а в высокогорье – в мае–июне.

В Горных районах имеется достаточно условий для образования снежных лавин, что необходимо учитывать при проектировании строительных объектов и проведении всевозможных работ в зимнее время. Основными предпосылками для возникновения снежных обвалов следует

считать достаточное количество осадков в высокогорной части, большую крутизну склонов, наличие на них коров и воронкообразных углублений, и деятельность ветров, которые могут переносить снег и создавать большие нависшие над долинами скопления на вершинах подветренных склонов даже в тех местах, где количество осадков может быть небольшим. Лавины чаще всего возникают в предвесенний период (март–апрель), а в высокогорье также и в весенне-летние месяцы (май–июнь), во время оттепелей или после них, когда на оттаявшую, а затем подмерзшую снежную поверхность выпадает большое количество снега.

*Влажность воздуха* повторяет изменение по территории температуры воздуха. Наибольшей величины *абсолютная влажность* в июле достигает в лесных и лесостепных низкогорно–предгорных районах (14–17 мб), несколько уменьшаясь в степных равнинных районах (11–12 мб). Наименьшая величина абсолютной влажности летом отмечается в высокогорье.

*Относительная влажность* воздуха наибольших величин достигает в декабре-январе, наименьших – в летние месяцы. Вблизи озер относительная влажность мелко изменяется в течение года, причем ее наибольшие величины приходится на летние месяцы.

*Дефицит влажности* воздуха всюду достигает наибольшей величины в летние месяцы (10–17 мб в июле), наименьшей – в зимние (0,4–0,8 в январе).

### 1.3 Почвы и растительность

#### Нижний Иртыш и нижняя Обь

Зональное распределение количества тепла и влаги на Западно – Сибирской равнине обуславливает и зональное распространение в ее пределах типов почвенного покрова и растительности.

Почти во всех природных зонах наблюдается комплексность в размещении почв, т.е. сочетание на относительно небольших площадях

нескольких почвенных типов, причем в каждой зоне преобладает свой определенный комплекс генетических типов почв.

В северной части арктической тундры к северу от 70° с.ш. преобладают грубые и неразвитые почвы, среди которых встречаются участки скрытоподзолистых, поверхностно-глеевых почв.

В арктической зоне широко развиты полигональные пятнистые тундры, совершенно отсутствуют кустарники и сфагновые болота. Из представителей травянистой растительности наиболее распространенными являются полярные лисохвост и луговик.

В основной массе растительность тундры представлена мхами и лишайниками.

В лесотундре среди редких елово-лиственных участках леса основу растительного покрова составляют лишайники и мхи. Хорошо развита карликовая береза и кустарниковая ольха.

Лесная зона распространяется к югу до 57–58° с.ш. На севере зоны преобладают почвы торфяно-болотистого типа; при движении к югу больший процент площади падает на долю подзолистых почв, развитых на суглинках. На самом юге зоны получают распространение дерново-подзолистые почвы.

Характерной чертой растительного ландшафта является широкое развитие моховых болот.

По преобладающему распространению древесной растительности зону можно разделить на три подзоны.

1. Узкая полоса подзоны редкостойных заболоченных елово-лиственных лесов.
2. Кедрово-болотная подзона располагается широкой полосой.
3. Урманно-болотная подзона распространяется к югу до 58° с.ш. «Урман» – густой хвойный лес из пихты, ели и кедра – основной тип растительности подзоны.

В горах Северного Урала различают три основных пояса растительности:

Горно-таежный, для которого характерны высокорослые леса горных склонах, 2) погольцовый, являющийся переходным от горно-таежного к гольцовому, часто имеют характер криволеся, 3) гольцовый, в котором распространены главным образом горные тундры. Растительность гольцового пояса в основном состоит из мхов, лишайников и низкорослых и низкорослых кустарников. Широко развиты, особенно в пределах Приполярного и Полярного Урала, различные горные тундры.

#### Алтай и Западная Сибирь (средняя Обь)

Почвенный покров описываемой территории характеризуется большой пестротой. В лесной зоне на водосборах рек Ваха, Тыма, Кети, Васюгана и тд. Основным являются почвы подзолистого типа на песчаных, супесчаных, глинистых и тяжелосуглинистых отложениях. Плоскиеобширные междуречья Кети, Тыма, Васюгана, Ваха заняты сфагновыми и сфагново-гипновыми болотами с торфяно-подзолистыми глеевыми почвами, развитыми на песчаных и супесчаных отложениях.

На юго-востоке лесной зоны, в бассейнах рек Чулыма, Томи, Шегарки, широко распространены серые лесные почвы в сочетании с черноземно-луговыми и отчасти с подзолистыми черноземами на тяжелосуглинистых и глинистых отложениях.

В лесостепной зоне основными почвами являются черноземы: оподзоленные, выщелоченные, частично обыкновенные и лугово-черноземные в комплексах с солонцами.

На широко дренированных пространствах Приобского плато основными типами почв являются черноземы с подтипами оподзоленных, выщелоченных, обыкновенных и серые лесные.

В Кузнецком Алатау, Шории, Кузнецкой котловине и Салаирском кряже представлены различные почвенные разности, от горно-тундровых в высокогорном поясе до черноземов обыкновенных и выщелоченных в предгорьях.

В долинах р. Оби и ее крупных притоков распространены аллювиальные слаборазвитые, луговые, лугово-болотные и болотные почвы легкого механического состава.

Растительный покров лесной зоны представлен в основном темнохвойными лесами, приуроченными к речным долинам и приречным частям равнины, и сфагновыми болотами с незначительным распространением луговой растительности. Леса состоят из ели сибирской, пихты сибирской и кедра сибирского с примесью березы и осины; реже лиственницы и сосны. На водоразделах темнохвойные леса встречаются по холмам и гривам. Главной причиной такого распространения их в условиях сибирской тайги является плохая дренированность и заболоченность водоразделов.

Для лесостепи характерно чередование открытых пространств с отдельными березняками, которые на севере сливаются почти в сплошные леса. В этой зоне часто встречаются небольшие сфагновые болота с угнетенной сосной. Наряду с присутствием степных форм здесь значительно развита галофитная (солонцеватая) растительность.

С продвижением на юг лесостепной зоны виды растительного покрова начинают зависеть от характера рельефа: в западинах развиты колки, на гривах водоразделов- остепненные луга, а на пологих склонах грив- солонцеватые сообщества. В понижениях встречаются различные типы болот, сырых лугов и солончаков. Островки лугово-лесной растительности приурочены к наиболее повышенным частям рельефа. В этой части территории распространены обширные займища, т.е. заросшие тростником озера, местами с островками сфагновых болот, осоковых кочкарников и солонцеватых лугов.

Для Салаирского кряжа и Кузнецкого Алатау характерно развитые формаций черневой тайги, в древостое которой преобладает пихта и осина с подлеском из крупных кустарников- черемухи, рябины, сибирской калины и высокого травяного покрова.

### Горный Алтай и верхний Иртыш

Сложный рельеф, разнообразие подстилающих материнских пород и климатических особенностей обуславливают пестрый состав почв на рассматриваемой территории. В связи с преобладанием горного рельефа в большинстве районов наблюдается вертикальная почвенная поясность.

В районе Казахского мелкосопочника преобладают светло-каштановые, преимущественно суглинистые почвы. На склонах и вершинах холмов, между каменистыми участками залегают светло-каштановые, хрящевато-щебенчатые почвы.

В Зайсанской котловине преобладают светло-каштановые полупустынные и бурые почвы. Ближе к центру котловины светло-каштановые почвы сменяются бурыми, которые занимают отдельные крупные массивы. В районах песчаных массивов почвенный горизонт слабо выражен.

Равнинный район Прииртышья в северной части сложен темно-каштановыми нормальными и солонцеватыми почвами. Малый район Бельгагачской равнины занимают черноземы обыкновенные.

В Северном Алтае равнинную и предгорную часть занимают тучные обыкновенные черноземы и лугово-черноземные почвы. Выше, в низкогорном поясе Колывановского, Бащелакского, Ануйского хребтов, в широких долинах рек Чарыша, Ануя, по правобережью р. Катунь, в Урскульской и Теньгинской степи распространены горные черноземы. В верховьях рек Чарыша, Ануя и в среднем течении р. Песчаной распространены черноземные карбонатные почвы.

Режим увлажнения, промерзания и оттаивания почво-грунтов района изучен очень слабо.

Соответственно изменению количества осадков и уменьшению испарения наибольшая увлажненность характерна для периферийных горных районов Западной и Северного Алтая, а также для высокогорий. Наибольшая иссушенность почв в летне-осенний период свойственна равнинным, холмисто-мелкосопочным и низкогорным районам левобережной части бассейна р. Иртыша, Зайсанской котловине, а также районам горных степей Алтая.

Растительный покров территории бассейнов Верхнего Иртыша и Верхней Оби весьма разнообразен. Здесь наблюдается самые различные типы растительности: от пустынных солянковых сообществ Казахского мелкосопочника и Зайсанской котловины до таежных лесов северо-восточного Алтая и тундровых ассоциаций его высокогорий.

В Северо-Западном Алтае лесостепной растительностью заняты все предгорья. Хвойно-лиственные леса, представленные березой, лиственницей, сосной, кедром, расположены здесь на высоте более 400-500 м. выше 1200-1700 м леса сменяются горно-луговой растительностью.

В Западной Алтае разнотравно – ковыльная степная растительность тоже широко распространена как в предгорьях, так и межгорных долинах. В лесостепном поясе преобладают кустарниковые заросли. Леса распространены преимущественно на высотах от 700 до 1800 м.

В Центральном Алтае по долинам рек и межгорным впадинам до высот 800-1200 м развита степная растительность. Лесной пояс, представленный преимущественно лиственницей расположен на высотах 1200-1800 м, а на хребтах Катунском, Северо-Чуйском и Южно-Чуйском верхняя граница леса поднимается до 2000-2400 м. выше лесного пояса в высокогорье распространена альпийско-луговая и альпийско-тундровая растительность.

В Южном Алтае на высотах 400-1200 м распространена типчаково-ковыльная степная растительность, а выше – кустарниковая и разнотравная

злаковая луговая. Леса расположены на высотах 1400-1800 м. выше склоны гор заняты горно-луговой растительностью.

2 Формулы для расчёта среднего годового испарения с поверхности суши, радиационного баланса увлажненной поверхности и нормы годового стока.

С давних пор проблеме описания взаимосвязи речного стока и испарения с атмосферными осадками уделялось повышенное внимание. Известны уравнения Шрейбера

$$E = x(1 - \exp(-E_0/x)), \quad (1)$$

Э.М. Ольдекопа

$$E = E_0 \operatorname{th}(x/E_0) \quad (2)$$

М.И. Будыко

$$E = \sqrt{(E_{(1)} \cdot E_{(2)})} \quad (3)$$

В.С. Мезенцева

$$E = E_0(1 - (kx/E_0)^n)^{-1/n} \quad (4)$$

Л. Тюрка

$$E = x(A + (x/E_0)^2)^{-1/2} \quad (5)$$

И других исследователей.

В уравнениях (1)–(5) приняты обозначения:  $E$ ,  $E_0$  и  $x$  - соответственно годовые нормы испарения, испаряемости и осадков;  $A$ ,  $n$ ,  $k$

- параметры, определяемые из опыта; и - испарение, рассчитанное по формулам (1) и (2), соответственно.

Обоснование общих свойств указанных зависимостей впервые было дано Э. М. Ольдекопом. Первые три уравнения содержат только один параметр - испаряемость ( $E_0$ ). В специальной литературе можно найти несколько незначительно различающихся определений испаряемости, но все они сходятся в одном: испаряемость обуславливается только метеорологическими факторами.

Для среднесуточных условий формула водного баланса чрезвычайно проста: осадки расходуются на сток и испарение. По уравнениям (1) – (3) получается, что единственным посредником, разделяющим осадки между процессами стока и испарения, является некоторая совокупность метеорологических, т. е. внешних по отношению к водосбору условий. Свойства самого водосбора (тип почвогрунтов, рельеф и другие факторы, способные оказывать влияние на формирование стока) в уравнениях (1) – (3) не учитываются, что является их принципиальным недостатком.

Уравнения (1) – (3) показывают, что теоретически испарение может уравниваться с испаряемостью только при бесконечно больших осадках, т. е. не существует обычно наблюдаемых значений осадков, при которых имеет место равенство  $E = E_0$ . Таким образом, в теоретическом плане  $E_0$  превращается в абстракцию, не достижимую на практике.

Поэтому в формулах (1) – (3)  $E_0$  представляет собой не испаряемость, а некоторый сводный и, вполне вероятно, по значению индивидуальный для каждого водосбора параметр, управляющий соответствием осадков и испарения. Для каждого водосбора значение  $E_0$  в указанных уравнениях зависит от формы связи. Понятно, что испаряемость как объективно существующая реальность, не может определяться подобными условиями.

Уравнения (4) и (5), содержащие несколько параметров, способны достаточно гибко аппроксимировать зависимость  $E = f(x)$ . Однако

физический смысл параметров  $n$  и  $A$  определен не очень четко.

Н. А. Багров считал, что первая производная стока по осадкам определяется соотношением испарения и испаряемости, и что в самом общем виде эту зависимость можно записать следующим образом

$$dy/dx = (E/E_0)^m \quad (6)$$

Так как для среднемноголетних условий уравнение водного баланса замкнутого речного водосбора имеет вид

$$y = x - E, \quad (7)$$

то

$$dx/dy = 1 - dE/dx \quad (8)$$

откуда

$$dE/dx = 1/E_0^m (E_0^m - E^m) \quad (9)$$

Таким образом, первая производная испарения по осадкам пропорциональна разности  $(E_0^m - E^m)$ , которой трудно придать какой-либо физический смысл при  $m \neq 1$ . Только при  $m = 1$  рассматриваемую разность можно трактовать как дефицит испарения, имеющий ясный физический смысл. В этом случае получается уравнение, похожее на уравнение Шрейбера

$$E = E_0(1 - \exp(-x/E_0)) \quad (10)$$

Однако при  $m = 1$  производная  $dy/dx$  в выражении (6) в точности, без всяких коэффициентов, равна отношению испарения к испаряемости. Такая конкретизация смысла и величины  $dy/dx$  при составлении дифференциального уравнения представляется чрезмерной.

Высказанные замечания в адрес рассматриваемых уравнений побуждают к поискам новой формы уравнения связи, которую попытаемся получить аналитическим путем.

Предположим, что норма осадков для данного водосбора изменяется от очень малых до очень больших значений. В соответствии с этим положением будут также меняться нормы речного стока и испарения. Все сказанное об осадках, испарении и стоке относится к их нормам (среднегодовым значениям) и только к ним.

Итак, при очень малых осадках вся вода будет аккумулироваться поверхностью и расходоваться на испарение, а стока не будет. Так будет продолжаться до тех пор, пока значения осадков не достигнут  $x_1$ , при превышении которой начнет появляться сток (рис. 2.1). При дальнейшем увеличении осадков будут расти как сток, так и испарение. Однако рост последнего будет происходить не бесконечно: при достижении осадками некоторого значения  $x_0$  испарение сравняется с испаряемостью и при дальнейшем увеличении  $x$  уже расти не будет, т. е. при  $x \geq x_0$  будет иметь место равенство  $E = E_0$ . Из рис. 1 также видно, что в точке  $x_1$  производная  $dy/dx=0$ , затем она начинает расти и в точке  $x_0$  достигает своего максимального и постоянного (правее точки  $x_0$ ) значения:  $dy/dx = 1$ . Понятно, что любому значению  $dy/dx$  соответствует некоторое значение  $E$ , а  $dy/dx = 1$  соответствует значению  $E = E_0$ . Опираясь на сказанное, будем считать, что справедливо равенство

$$1-dy/dx=\alpha(E_0-E)^n \quad (11)$$

где,  $\alpha$  и  $n$  – параметры

С учетом выражения (8) уравнение (11) примет вид

$$dE/dx=\alpha(E_0-E)^n \quad (12)$$

Интегрирование уравнения (12) дает

$$(E_0 - E)^{1-n} / (1-n) = \alpha x + C \quad (13)$$

где  $C$  – постоянная интегрирования.

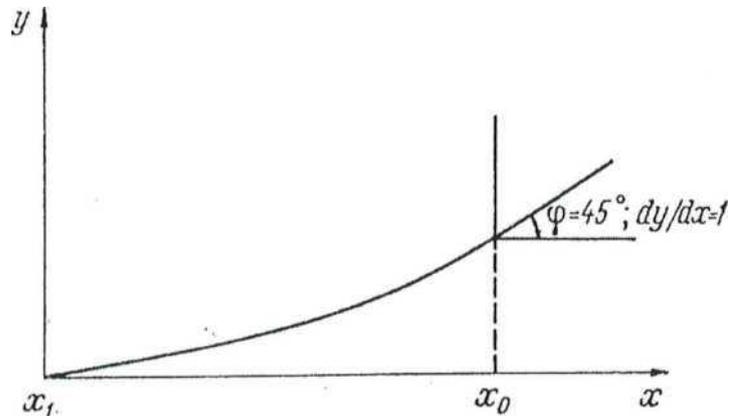


Рисунок 2.1 - К выводу уравнений системы (16).

Используя условия  $E=x_1$  при  $x=x_1$ ;  $E=E_0$  при  $x=x_0$ , из уравнения (13) получаем

$$E = E_0 - (E_0 - x_1) \left( \frac{x_0 - x}{x_0 - x_1} \right)^{1/(1-n)} = v^* \quad (14)$$

Выше отмечалось, что  $dy/dx = 0$  при  $x=x_1$ .  
Последнее условие позволяет из равенства (11) установить, что

$$n = (x_0 - E_0) / (x_0 - x_1) \quad (15)$$

$(x_0 - x)$  - это стокообразующие осадки при  $x=x_0$ , т. е. часть осадков, которая дает сток. Поэтому  $n$  представляет собой коэффициент стока стокообразующих осадков, когда  $x=x_0$ . Таков физический смысл параметра  $n$ . Отсюда  $0 \leq n \leq 1$ .

Таким образом, зависимость испарения от осадков представляется системой уравнений:

$$\begin{aligned} E &= x && \text{при } x \leq x_1; \\ E &= v^* && \text{при } x_1 \leq x \leq x_0; \\ E &= E_0 && \text{при } x \geq x_0; \end{aligned} \quad (16)$$

Попытаемся указать, от каких факторов могут зависеть параметры  $x_1$  и  $x_0$ .

$x_0$ , во-первых, по своему физическому смыслу должен определяться значением  $E_0$ . Например, если в силу каких-то причин произойдет увеличение  $E_0$ , то это сразу же повлечет увеличение  $x_0$ . Во-вторых, при одном и том же значении  $E_0$ , но при разных уклонах склонов,  $x_0$  должен быть больше на водосборе с большими уклонами, чем на водосборе с малыми уклонами. В-третьих, если рассматривать, например, пару бассейнов - один с суглинистыми, другой с песчаными почвами, то легко заметить, что песок, обладая высокой фильтрационной способностью, будет быстро пропускать через себя воду вниз, т. е. изымать ее у поверхностного стока и очень мало воды оставлять для испарения. Быстро проникающая до водоупора вода на таком водосборе будет расходоваться на сток подземным путем. В бассейне с суглинистыми почвами, наоборот, более благоприятными будут условия для испарения. Итак, третьим фактором  $x_0$  являются физические свойства почвы, которые, вполне возможно, для этих целей могут характеризоваться объемным весом. И, наконец, четвертый фактор - это распределение осадков во времени. Весьма существенно, когда и как часто они выпадают. Например, там, где большая часть годовых осадков выпадает в холодный период года, условия для стока более благоприятны, чем там, где осадки (большая их часть) выпадают в теплый период (в первом случае значение  $x_0$  будет больше, чем во втором).

Рассмотрим также два случая выпадения одного и того же количества осадков: в первом случае осадки выпадают в виде двух дождей, а во втором - в виде десяти дождей через равные интервалы времени. В последнем случае благоприятнее условия для испарения, а в первом - для стока, поэтому в последнем случае  $x_0$  меньше, чем в первом.

$x_1$  должен зависеть также от нескольких факторов. Во-первых, от распределения осадков во времени: чем за большее число раз будет выпадать одно и то же количество осадков, тем больше будет  $x_1$ , так как задержанное

количество воды  $x_{1i}$  в ходе выпадения предыдущего дождя к моменту выпадения настоящего дождя может уже испариться и поэтому водосбор будет снова в состоянии задержать слой воды, не меньший, чем  $x_{1i}$ . Во-вторых,  $x_1$  зависит каким-то образом от условий стекания. Например, чем больше уклоны склонов или чем больше густота речной сети на водосборе, тем меньше остается шансов у воды задержаться на поверхности бассейна, тем меньше  $x_1$ . В-третьих, значение  $x_1$  должно до некоторой степени определяться общим уровнем увлажнения: у влажных почв  $x_1$  будет меньше, чем у пересушенных. По этой причине, по-видимому,  $x_1$  может возрастать при переходе от лесной к лесостепной и далее к степной зонам, т. е. с севера на юг.

Вполне возможно, что параметры  $x_1$  и  $x_0$  зависят еще от каких-то факторов, связанных со строением водосбора. То обстоятельство, что параметры  $x_1$  и  $x_0$  являются функциями многих переменных, характеризующих условия формирования стока, свидетельствует, с одной стороны, в пользу системы (16), так как последняя многое учитывает, но, с другой стороны, зависимость  $x_1$  и  $x_0$  от многих переменных осложняет применение уравнения (16).

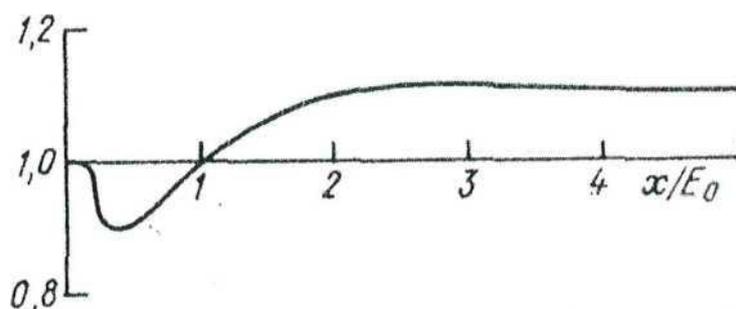


Рисунок 2.2 – Функция  $-z = E_{(1)}/E_{(10)} = f(x/E_0)$

Интересно отметить, что из формулы (12) при  $n = 1$  получаем

$$E = E_0 - (E_0 - x_1) \exp(-(x - x_1)/(E_0 - x_1)) \quad (17)$$

где  $E_0$  и  $x_1$  имеют тот же смысл, что и в уравнении (16), но уже другие численные значения. Если в выражении (17) необходимо (вследствие отсутствия данных  $ox_1$ ) принять его равным нулю, то получим уравнение (10). График функции  $z = -E_{(1)} - E_{(10)}$  в зависимости от переменной  $x/E_0$  представлен на рис. 2.2, из которого видно, что на всем интересном с практической точки зрения интервале изменений  $x/E_0$  максимальное отклонение  $z$  от единицы составляет 10-12%, т. е. использование уравнений (1) и (10) приводит к близким результатам. Заметим, что по уравнениям (1)-(5) и (10) сток начинается сразу же, как только появляются сколь угодно малые осадки, что не соответствует действительности. Например, в пустынях Туркмении стока нет, хотя годовые суммы осадков там не равны нулю.

Итак, получена новая форма зависимости между осадками и испарением, представленная системой уравнений (16), применение которой для расчета норм испарения (стока) в настоящее время невозможно в виду того, что неизвестны зависимости параметров  $x_1$  и  $x_0$  от обуславливающих факторов. Вместе с тем вывод системы (16) безусловно интересен и полезен, поскольку убедительно показывает, что в зависимости  $E = f(x)$  должно участвовать несколько параметров, физический смысл которых прост и естественен. Существование многопараметрической системы свидетельствует о том, что в уравнениях (1)-(3) параметр  $E_0$  не следует отождествлять с испаряемостью, правильнее относиться к нему как к некоторому сводному параметру, ставящему в строгое соответствие  $E$  и  $x$  по этим уравнениям. Поэтому модели  $E_0$  при использовании уравнений (1)-(3) не могут совпадать с моделями испаряемости и должны быть сложнее последних. Можно утверждать, что построить модель  $E_0$  для уравнений (1)-(3) гораздо сложнее, чем для системы уравнений (16), потому что в последнем случае функции параметров более дифференцированы и определены. Но это только кажется, что использовать на практике уравнения (1)-(3) проще, чем выражения (16). Выскажем свое мнение еще

определеннее: неизвестно, что сложнее - построить модели для всех трех параметров в системе (16) или для одного в уравнениях (1)-(3).

Для расчёта среднесуточных значений (норм) годового испарения с поверхности суши было предложено несколько уравнений ((1)- (5)) вида.

$$E = f(x, E_0) \quad (18)$$

где  $E, x, E_0$  - нормы годовых значений соответственно испарения, осадков и испаряемости [мм/год].

Испаряемость определяется как максимально возможное испарение для данных климатических условий при предположении, что испаряющая поверхность имеет избыточное увлажнение. Отсюда, испаряемость не зависит от увлажнения территории и определяется только её тепловыми ресурсами. Таким образом, уравнения (18) объединяют (связывают) тепловые и водные характеристики данной территории. И это вполне закономерно, так как испарение входит в уравнение водного баланса, а испарение, умноженное на константу ( $LE$ ) входит в уравнение теплового баланса. Здесь  $L$  удельная теплота испарения, равная  $25 \cdot 10^5$  Дж/кг. Отсюда уравнения вида (18) называют уравнениями связи. Если известен способ вычисления значений  $E_0$ , то уравнения связи позволяют оценить не только испарение с той или иной территории, но и сток с неё, так как для среднесуточных условий уравнение водного баланса имеет наиболее простое выражение (7), где  $y$  - сток [мм/год].

Кроме того, задаваясь значениями осадков и переменных, определяющих  $E_0$ , можно получить значения стока и испарения в новых гидрометеорологических условиях.

В нашей работе, на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов, были предложены уравнения для расчёта испарения

$$E = E_0(1 - e^{-z}) \quad (19)$$

и испаряемости

$$E_0 = 16,7(0,8 + 0,011t_{\text{п}})(4,73t + 8,6) \quad (20)$$

где  $z = x/E_0 + 0,5(x/E_0)^2$

$e$  - основание натуральных логарифмов.

Уравнения (19) и (20) позволяют рассчитывать испарение с бассейна реки Обь, с удовлетворительной точностью. В данной работе предпринимается попытка получить более универсальные выражения для расчёта испаряемости.

Было решено вместо нормы годовой температуры использовать характеристику нормы температуры воздуха за тёплый период года. Очевидно, что основная доля испарения с поверхности суши на территории России приходится на тёплый период года. Поэтому, если испаряемость зависит от температуры воздуха, то более тесная зависимость у неё должна быть с температурой именно за тёплый период, а не с температурой за год. В качестве характеристики температуры воздуха за тёплый период ( $t$ ) использовалась сумма среднегодовых положительных значений температуры воздуха за месяцы тёплого периода года, делённая на 12, то есть на число месяцев в году. Деление на 12, а не на число месяцев с положительной температурой, делает характеристику температуры тёплого периода в разных пунктах более сравнимой. Заметим, что для зон, где температура воздуха положительна во все месяцы года, величина  $t$  совпадает с нормой годовой температуры воздуха.

Запишем уравнение годового радиационного баланса увлажнённой поверхности.

$$R = 4,73t + 8,6 \quad (21)$$

где  $R$  - радиационный баланс увлажнённой поверхности [ $\text{кДж}/\text{м}^2 \text{ год}$ ] или [ $\text{Вт}/\text{м}^2$ ].

По данным работ Будыко М. И. затраты тепла на испарение с поверхности океанов составляют около 90% от радиационного баланса. Поскольку мы рассматриваем избыточно увлажнённую поверхность, то эта величина, по-видимому, может служить нам в качестве ориентира. Предполагалось, что для избыточно увлажнённой поверхности суши при

$t = 0^\circ\text{C}$  затраты тепла на испарение составляют 80 % от радиационного баланса.

Кривая на графике очень мало отличалась от прямой и была аппроксимирована в виде

$$f = LE_0/R = 0,8 + 0,011t \quad (22)$$

Уравнение для расчета испаряемости

$$E_0 = 16,7(0,8 + 0,011t_{\text{п}})(90 - 52e^{0,11(6-t_{\text{п}})}) \quad (23)$$

и испарения

$$E = \sqrt{\frac{Rx}{L} (1 - e^{E_0/x}) \text{th } xL/R} \quad (24)$$

где  $R$  – радиационный баланс увлажненной поверхности;

$x$  – осадки;

$L$  – удельная теплота испарения ;

$e$  – основание натурального логарифма ;

$\text{th}$  – гиперболическая функция ;

Уравнения (24) использовались далее для расчёта испарения, а уравнение (23) - для расчёта испаряемости.

Осадки, как правило заметно изменчивая по территории характеристика, осреднялись для каждой территории по 13 - 20 метеостанциям, а температура тёплого периода, как правило, мало изменчивая по территории характеристика, определялась и осреднялась по 7

– 9 метеостанциям. В работе использовались осадки со всеми поправками.

3 Оценка стока на территории бассейна реки Обь в условиях изменяющегося климата.

Как известно, норма стока  $U$  для среднесноголетних условий определяется по уравнению (7). Поскольку нормы осадков нам известны, основная задача сводится к расчёту величины испарения. Для оценки испарения  $E$  в нашей работе предполагается использование двух методик.

«Методика – 1» предполагает использование известной формулы М. И. Будыко(24). Испаряемость  $E_0$  при этом определяется как

$$E_0 = R/L \quad (25)$$

где  $R$  – радиационной баланс увлажненной поверхности;  $L$  – удельная теплота испарения, равная 0,06 ккал/мм.

Согласно подходу, предложенному на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов (в дальнейшем «методика – 2») норма годового испарения  $E$  рассчитывается по уравнения (19), испаряемость  $E_0$  – по уравнению (20). Следует отметить, что температура  $t$  в данном случае определяется как  $t = \sum t_i / 12$ , где  $t_i$  – среднесноголетнее значение температуры воздуха  $i$ -ого месяца тёплого периода года.

Для каждой территории бассейна реки Обь по климатическому справочнику были определены значения норм осадков  $X$  и величины  $t$ . При этом осадки для каждого створа определялись по данным 13–20 метеостанциям и значения  $t$  таким же образом. Осредненные величины для каждой области приводятся в таблицах 3.1.1 – 3.2.3

В таблицах 3.3.1-3.7.3 приводятся результаты расчёта радиационного баланса увлажненной поверхности ( $Вт/м^2$ ), испаряемости (мм/год) и испарения (мм) по различным методикам.

При проведении своих оценок мы считали возможными в будущем как потепление, так и похолодание. Наша задача состояла в том, чтобы определить норму стока на территории реки Обь как в первом, так и во втором случае. Предположим, что оценки относятся к начальной стадии изменения климата, были заданы сравнительно небольшие изменения величин. Поясним, что означает изменение величины  $t$  на  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  и на  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Число месяцев тёплого бассейна реки Обь – Прохоркино равно шести. Если умножить  $0,5^\circ\text{C}$  на количество месяцев тёплого периода (6 месяцев) и разделить на 12 месяцев, то получим примерно  $0,3^\circ\text{C}$ . Это означает, что средняя многолетняя температура воздуха за каждый месяц тёплого периода изменится на  $0,3$  градуса в ту или иную сторону. Также и для других оставшихся станций. В бассейне Нижняя Обь число месяцев тёплого периода составила – пять. Умножаем 5 на  $0,5^\circ\text{C}$  и затем делим на 12, то получаем  $0,2^\circ\text{C}$ . Следовательно, средняя многолетняя температура воздуха за каждый месяц тёплого периода изменится на  $0,2$  градуса в ту или иную сторону. Такие же расчёты проводятся в бассейне реки Иртыш – Тобольск. На этой станции, температура изменилась на  $0,3$  градуса. Также рассчитаем наше изменение величины  $t$  на  $\pm 1^\circ\text{C}$ . На створе Обь – Прохоркино средняя многолетняя температура воздуха за каждый месяц тёплого периода изменилась на  $0,5$  градусов, в створе Иртыш – Тобольск температура изменилась на  $0,6^\circ\text{C}$ , а в Нижней Обь на  $0,4$  градуса.

Таким образом, при проведении расчётов мы полагали, что осадки могут принимать значения  $\bar{X} - 0,05\bar{X}$ ,  $\bar{X}$  и  $\bar{X} + 0,05\bar{X}$ , а температура  $t - 0,5^\circ\text{C}$ ,  $t^\circ\text{C}$  и  $t + 0,5^\circ\text{C}$ . Из этих величин можно получить 9 комбинаций, т.е. как бы 9 вариантов климата. В 3.8.1-3.11.3 приводятся результаты расчёта норм стока для каждого из вариантов климата в абсолютных величинах (мм) и в процентах от нормы стока на современном уровне. При этом в качестве последней принималась не величина, определённая в результате многолетнего многолетних измерений стока, а величина, рассчитанная по значениям  $X$  и  $t$ .

Таблица 3.1.1 – Годовые нормы осадков для станций бассейна Иртыш–Тобольск.

№	Пункт/Станция	X, мм	X <sub>ср</sub> , мм
Иртыш–Тобольск			
1	Семиарка	288	439
2	Усть-Каменогорск	536	
3	Орловский	368	
4	Зайсанская(Ферма)	275	
5	Кокпекты	363	
6	Павлодар	352	
7	Зерносовхоз	325	
8	Аксуат	258	
9	Тюмень	524	
10	Якуторовск	442	
11	Серов	556	
12	Свердловск	582	
13	Нижний Тагил	565	
14	Тобольск	529	
15	Горшково	524	
16	Имиш	454	
17	Тевриз	547	
18	Поново	478	
19	Калачинск	432	
20	Ирыш	377	

Распределение атмосферных осадков для бассейна Иртыш – Тобольск распределяется неравномерно, т.к. на сравнительно небольшом расстоянии находятся хорошо увлажняемые осадками склоны и межгорные котловины, для которых характерно весьма малое количество осадков. К примеру, на станции Аксуат значение выпавших осадков составило 258 мм, а на станции Серов, значение выпавших осадков составило 556 мм. Особенности орографического строения играют большую роль в распределении осадков

теплого периода. Мощный веер способствует проникновению далеко вглубь по межгорным пространствам влажных воздушных течений к охлажденным гребням хребтов, которые быстро конденсируют приносимую влагу. Поэтому в теплый период наблюдается максимум выпадающих осадков. Среднее значение норм осадков в бассейне реки Иртыш – Тобольск составило 439 мм.

Таблица 3.1.2 – Годовые нормы осадков для станций бассейна Обь–Прохоркино.

№	Пункт/Станция	X, мм	X <sub>ср</sub> , мм
Обь-Прохоркино			
1	Турочак	908	655
2	Артыбаш	654	
3	Яйлю	983	
4	Усть-Улаган	337	
5	Усть-Кокса	517	
6	Кара-Тюрек	736	
7	Катанда	472	
8	Кызыл-Озек	628	
9	Усть-Озерное	633	
10	Каргасок	668	
11	Колпашево	593	
12	Томск	637	
13	Кемерово	481	
14	Новокузнецк	593	
15	Тайга	598	
16	Барнаул	716	
17	Новосибирск	514	
18	Батурино	637	
19	Мыски	848	
20	Мунзыбаш	942	

На рассматриваемой территории осадки распределяются крайне неравномерно, что связано с разнообразием форм рельефа. В пункте Усть-Улаган распределение атмосферных осадков составило 337 мм. Для данной

области — это наименьшее количество выпавших осадков на данной территории. На станции Яйлю количество выпавших осадков составило 983 мм, что является максимальной величиной для этой области. Разница между максимальным и минимальным значением осадков в данной области составило 646 мм. Можно сделать вывод, что распределение осадков крайне неравномерны. Что касается среднего значения норм осадков в створе Обь – Прохоркино, то оно ровняется 655 мм.

Таблица 3.1.3 – Годовые нормы осадков для станций бассейна Нижняя Обь.

№	Пункт/Станция	X, мм	X <sub>ср</sub> , мм
Нижняя Обь			
1	Казым	519	561
2	Полуй	552	
3	Саранпауль	513	
4	Ларьяк	604	
5	Надым	546	
6	Ермаково	654	
7	Няксимволь	541	
8	Сосновый	561	
9	Уренгой	531	
10	Мужи	564	
11	Нумто	555	
12	Холе-Савой	645	
13	Хонгокут	505	

В бассейне реки Нижняя Обь среднее распределение атмосферных осадков колеблется от 519 мм – на станции Казым, до 654 мм – на станции Ермаково. Сравнивая данный створ (Нижнюю Обь) со створами Обь – Прохоркино и Иртыш – Тобольск можно подвести итоги по распределению осадков для данных участков: на станции Нижняя Обь распределение происходит равномерно, в отличии от бассейнов Обь – Прохоркино и Иртыш – Тобольск. Разность между максимальным и минимальным значением

осадков составило 135 мм. К примеру, на участке Обь – Прохоркино эта разность составляет 655 мм, что в несколько раз превосходит значение в бассейне Нижняя Обь. Сравнивая среднее значение норм атмосферных осадков можно сказать, что они не сильно различаются друг от друга. Максимальное значение норм атмосферных осадков бассейна реки Обь – Прохоркино (655 мм). минимальное значение бассейна Иртыш – Тобольск(439 мм). В бассейне Нижняя Обь среднее значение норм осадков составила 561 мм.

Таблица 3.2.1 – Средние многолетние значения температуры за тёплый период года в бассейне р. Иртыш–г.Тобольск.

№	Пункт/Станция	Месяцы								$t_{п}$ °C	$t_{ср}$ °C
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X			
1	Семиярка	3,9	13,6	19,8	22,0	19,6	12,9	4,1	8,0	6,6	
2	Усть-Каменогорск	4,3	13,7	18,9	21,2	19,1	12,9	5,0	7,9		
3	Орловский	0,0	8,9	14,0	15,6	13,5	7,6	0,0	5,0		
4	Зайсанская	6,3	14,6	19,8	21,3	19,4	13,2	4,7	8,3		
5	Кокпекты	4,1	12,9	18,6	21,4	19,5	13,4	3,8	7,8		
6	Павлодар	3,2	12,9	19,0	21,2	18,7	12,4	3,2	7,6		
7	Зерносовхоз	3,2	12,6	18,4	20,6	18,7	11,8	3,9	7,4		
8	Аксуат	5,2	13,2	18,8	21,3	19,4	13,2	3,5	7,9		
9	Тюмень	2,2	10,2	16,0	17,8	15,4	9,2	1,4	6,0		
10	Якуторовск	1,4	10,0	15,8	17,5	15,2	9,4	1,2	5,9		
11	Серов	2,1	9,1	15,2	17,3	14,6	8,5	0,5	5,6		
12	Свердловск	2,6	10,1	15,6	17,4	15,1	9,2	1,3	5,9		
13	Нижний Тагил	2,7	9,5	15,1	17,2	15,2	9,3	1,3	5,9		
14	Тобольск	1,3	9,1	15,8	18,0	15,4	9,5	0,8	5,8		
15	Горшково	2,7	10,7	16,7	18,6	16,0	10,1	1,8	6,4		
16	Имиш	1,2	10,4	16,2	18,0	15,2	9,9	1,4	6,0		
17	Тевриз	0,6	9,1	15,3	17,6	14,7	9,5	0,9	5,6		
18	Паново	0,2	9,8	15,6	17,6	15,1	9,7	1,2	5,8		
19	Калачинск	0,6	10,3	16,5	18,5	15,9	10,3	1,4	6,1		
20	Иртыш	1,0	11,1	18,2	19,4	17,0	11,4	2,1	6,7		

В бассейне реки Иртыш – г.Тобольск среднее многолетнее значение температуры воздуха за тёплого период составило 6,6 °C. Для данного створа

мы взяли 20-ть метеостанций. Метеорологические станции охватывают весь створ данного участка и расположены максимально равноудаленно друг от друга.

Данная территория характеризуется резко континентальным климатом, в связи с этим воздушные массы холодные и сухие. Наиболее холодный месяц из представленных, приходится на апрель и октябрь. Так, например, на станции Поново среднемесячная температура воздуха за апрель достигает  $0,6^{\circ}\text{C}$ , а на станции Аксуат и вовсе  $5,2^{\circ}\text{C}$ . Максимальная температура воздуха за тёплый период представлен в июле, в пункте Семиярка ( $22^{\circ}\text{C}$ ) и Кокпекты ( $21,4^{\circ}\text{C}$ ).

Таблица 3.2.2 – Средние многолетние значения температур за тёплый период года в бассейне р.Обь–с.Прохоркино.

№	Пункт/Станция	Месяцы						$t_{\text{п}}$ °C	$t_{\text{п ср}}$ °C
		IV	V	VI	VII	VIII	IX		
1	Турочак	0,8	9,2	15,2	18,5	15,3	9,2	5,7	5,2
2	Артыбаш	2,0	8,7	13,6	17,2	15,4	9,7	5,6	
3	Яйлю	2,7	9,2	13,7	17,2	16,1	10,1	5,8	
4	Усть-Улаган	1,0	6,2	11,5	13,1	11,8	5,7	4,1	
5	Усть-Кокса	0,9	8,6	13,7	15,4	13,0	8,0	5,0	
6	Кара-Тюрек	0,0	0,1	4,2	6,3	5,2	0,3	1,3	
7	Катанда	1,2	8,8	13,6	15,2	13,0	7,8	5,0	
8	Кызыл-Озек	10,2	10,7	16,9	19,0	15,7	9,8	6,9	
9	Усть-Озерное	0,5	6,8	14,5	17,4	14,4	8,0	5,1	
10	Каргасок	0,3	6,6	14,3	17,3	14,1	8,6	5,1	
11	Колпашево	0,5	7,2	14,8	17,8	14,5	9,0	5,3	
12	Томск	1,0	8,6	15,1	17,7	14,9	9,1	5,5	
13	Кемерово	0,5	9,2	15,7	18,3	15,4	9,2	5,7	
14	Новокузнецк	1,4	9,9	16,2	19,5	16,9	10,0	6,2	
15	Тайга	0,2	7,8	14,8	17,4	14,5	8,5	5,3	
16	Барнаул	2,0	11,7	17,4	20,7	18,0	10,8	6,7	
17	Новосибирск	0,8	9,9	16,2	18,5	17,8	9,7	6,1	
18	Батурино	1,0	7,8	15,3	17,5	14,3	8,6	5,4	
19	Мыски	0,7	7,6	14,2	16,8	13,8	6,9	5,0	
20	Мунзыбаш	0,4	7,2	15,2	16,2	13,7	6,6	4,9	

Для бассейна реки Обь – с.Прохоркино мы взяли 20 метеостанций. Станции расположены приблизительно на равноудалённом расстоянии друг от друга. Максимальная температура воздуха приходится на июль. Из всех перечисленных метеостанций, возьмем наиболее характерные створы, на которых максимальная среднемесячная температура воздуха наибольшая. К примеру, на станции Барнаул и Новокузнецк температура воздуха достигает 20,7°С и 19,5°С соответственно. В этом же месяце на станции Кара-Тюрек среднемесячная температура воздуха всего лишь 6,3°С. На основании этих данных, можно сказать, что: максимальная среднемесячная температура воздуха за теплый период сильно изменчива. Среднее многолетнее значение температуры воздуха за теплый период в бассейне р.Обь – с.Прохоркино составляет 5,2°С.

Таблица 3.2.3 – Средние многолетние значения температуры за тёплым периодом года в бассейне р.Нижняя Обь.

№	Пункт/Станция	Месяцы					$t_n$ °C	$t_{n,sp}$ °C
		V	VI	VII	VIII	IX		
1	Казым	3,4	11,6	16,0	12,9	6,8	4,2	4,0
2	Полуй	0,4	8,1	13,6	11,2	5,3	3,2	
3	Саранпауль	3,4	11,4	15,6	12,8	6,3	4,1	
4	Ларьяк	4,4	13,2	17,1	13,6	7,8	4,7	
5	Надым	1,0	8,5	14,5	10,9	5,4	3,4	
6	Ермаково	3,5	12,7	17,0	13,6	7,2	4,5	
7	Няксимволь	5,4	12,7	15,8	13,4	7,1	4,5	
8	Сосновый	5,2	13,1	16,8	13,9	7,4	4,7	
9	Уренгой	0,5	8,0	14,3	11,4	5,1	3,3	
10	Мужи	0,2	9,2	14,4	12,0	5,8	3,5	
11	Нумто	0,2	10,5	15,5	12,4	6,4	3,8	
12	Холе-Савой	0,0	10,7	15,9	13,0	6,4	3,8	
13	Хонгокут	5,4	12,6	15,8	13,3	7,3	4,5	

В бассейне реки Нижняя Обь среднее многолетнее значение температуры воздуха за тёплого период составило  $4,0^{\circ}\text{C}$ , что является наименьшей из всех трех створах. Максимальная средняя температура воздуха бассейна Иртыш – Тобольск ( $6,6^{\circ}\text{C}$ ). Среднее годовое значение температуры воздуха за теплый период колеблется от  $3,3^{\circ}\text{C}$  на станции Уренгой до  $4,5^{\circ}\text{C}$  на станции Хонгокут.

Минимальная среднемесячная температура воздуха за данный период составляет  $0,2^{\circ}\text{C}$  на створе Мужы в апреле, а максимальное значение  $14,4^{\circ}\text{C}$  в июле. На станции Ларьяк максимальное значение приходится на июль и составляет  $17,1^{\circ}\text{C}$ , что является наибольшей среднемесячной температурой воздуха на всех 13и станций. Минимальное значение этой же станции проходится на май и составляет  $4,4^{\circ}\text{C}$ . Для данного створа мы взяли 13-ть метеостанций. Метеорологические станции охватывают максимально весь створ данного участка и расположены равноудаленно друг от друга.

Таблица 3.3.1 – Значение радиационного баланса увлажненной поверхности( $R$ )по различным методикам, на створе Обь – Прохоркино.

№	Станция/Пункт	$R$	$R_{\text{cp}}$
<b>Обь – Прохоркино</b>			
1	Турочак	35,6	33,3
2	Артыбаш	35,1	
3	Яйлю	35,6	
4	Усть-Улаган	28,0	
5	Усть-Кокса	32,3	
6	Кара-Тюрек	14,7	
7	Катанда	32,3	
8	Кызыл-Озек	37,5	
9	Усть-Озерное	32,3	
10	Каргасок	32,7	
11	Колпашево	33,7	
12	Томск	34,6	
13	Кемерово	35,6	
14	Новокузнецк	37,9	
15	Тайга	33,7	
16	Барнаул	39,8	
17	Новосибирск	36,5	
18	Батурино	34,1	

19	Мыски	31,8	
20	Мунзыбаш	31,8	

Для бассейна р. Обь – Прохоркино среднее значение нормы радиационного баланса увлажненной поверхности составило 33,3 Вт/м<sup>2</sup>. Максимальное значение радиационного баланса составляет 39,8 Вт/м<sup>2</sup> на станции Барнаул. Минимальное значение получилось на станции Кара-Тюрек и составило 14,7 Вт/м<sup>2</sup>. Остальные значения радиационного баланса находятся в диапазоне от 28 Вт/м<sup>2</sup> до 37 Вт/м<sup>2</sup>.

Таблица 3.3.2 – Значение радиационного баланса увлажненной поверхности бассейна р. Иртыш –г. Тобольск.

№	Станция/Пункт	R	R <sub>ср</sub>
Иртыш – Тобольск			
1	Семиярка	46,4	39,7
2	Усть-Каменогорск	46,1	
3	Орловский	32,1	
4	Зайсанская(Ферма)	47,7	
5	Кокпекты	45,5	
6	Павлодар	44,3	
7	Зерносовхоз	43,8	
8	Аксуат	45,9	
9	Тюмень	37,1	
10	Якуторовск	36,4	
11	Серов	35,1	
12	Свердловск	36,7	
13	Нижний Тагил	36,3	
14	Тобольск	36,2	
15	Горшково	38,8	
16	Имиш	37,1	
17	Тевриз	35,3	
18	Поново	35,9	
19	Калачинск	37,6	
20	Иртыш	40,2	

Для бассейна р. Иртыш – г. Тобольск среднее значение нормы радиационного баланса увлажненной поверхности составило 39,7 Вт/м<sup>2</sup>.

Максимальное значение радиационного баланса ровняется 47,7 Вт/м<sup>2</sup> на станции Зайсанская (Ферма).

Таблица 3.3.3 – Значение радиационного баланса увлажненной поверхности бассейна р. Нижняя Обь.

№	Станция/Пункт	R	R <sub>ср</sub>
Нижняя Обь			
1	Казым	28,5	27,6
2	Полуй	23,7	
3	Саранпауль	28,0	
4	Ларьяк	30,8	
5	Надым	24,7	
6	Ермаково	29,9	
7	Няксимволь	30,4	
8	Сосновый	30,8	
9	Уренгой	24,2	
10	Мужи	25,2	
11	Нумто	26,6	
12	Холе-Савой	26,6	
13	Хонгокут	29,9	

Таблица 3.4.1 – Значение испаряемости по методике Будыко в бассейне р. Обь – Прохоркино.

№	Пункт/Станция	E <sub>0</sub>	E <sub>0ср</sub>
Обь – Прохоркино			
1	Турочак	594	556
2	Артыбаш	586	
3	Яйлю	594	
4	Усть-Улаган	467	
5	Усть-Кокса	539	
6	Кара-Тюрек	246	
7	Катанда	539	
8	Кызыл-Озек	625	
9	Усть-Озерное	539	
10	Каргасок	546	
11	Колпашево	562	
12	Томск	578	
13	Кемерово	594	
14	Новокузнецк	633	
15	Тайга	562	

16	Барнаул	665	
17	Новосибирск	610	
18	Батурино	570	
19	Мыски	531	
20	Мунзыбаш	531	

Испаряемость – максимально возможное испарение при данных метеорологических условиях с достаточно увлажненной подстилающей поверхности. Испаряемость выражается в миллиметрах слоя испарившейся воды. Среднее значение нормы испаряемости составило 556 мм. Максимальное значение испаряемости равняется 633 мм на станции Новокузнецк, а минимальное значение равняется 246 мм в пункте Кара-Тюрек.

Таблица 3.4.2 – Значение испаряемости по методике-1 бассейна р. Иртыш – г. Тобольск.

№	Пункт/Станция	$E_0$	$E_{0\text{ср}}$
Иртыш – Тобольск			
1	Семиарка	775	663
2	Усть-Каменогорск	770	
3	Орловский	536	
4	Зайсанская(Ферма)	797	
5	Кокпекты	760	
6	Павлодар	740	
7	Зерносовхоз	731	
8	Аксуат	766	
9	Тюмень	619	
10	Якуторовск	608	
11	Серов	587	
12	Свердловск	613	
13	Нижний Тагил	606	
14	Тобольск	604	
15	Горшково	648	
16	Имиш	620	
17	Тевриз	589	
18	Поново	599	
19	Калачинск	627	
20	Ирыш	672	

В таблице 3.4.2 среднее значение нормы испаряемости составило 663 мм. Максимальное значение испаряемости 775 мм на станции Семьяка, а минимальное значение равняется 536 мм в пункте Орловский.

Таблица 3.4.3 – Значение испаряемости по методики Будыко р. Нижняя Обь.

№	Пункт/Станция	$E_0$	$E_{0\text{ср}}$
Нижняя Обь			
1	Казым	475	461
2	Полуй	396	
3	Саранпауль	467	
4	Ларьяк	515	
5	Надым	412	
6	Ермаково	499	
7	Няксимволь	507	
8	Сосновый	515	
9	Уренгой	404	
10	Мужи	420	
11	Нумто	444	
12	Холе-Савой	444	
13	Хонгокут	499	

В таблице 3.4.3 среднее значение нормы испаряемости составило 461 мм. Максимальное значение испаряемости составило 515 мм на станции Сосновый и Ларьяк, а минимальное значение равняется 412 мм в пункте Надым.

Таблица 3.5.1 – Значение испаряемости по методики-2 (кафедры гидрофизики и гидропрогнозов) в бассейне р. Обь – Прохоркино.

№	Пункт/Станция	$E_0$	$E_{0\text{ср}}$
Обь – Прохоркино			
1	Турочак	512	
2	Артыбаш	505	
3	Яйлю	512	
4	Усть-Улаган	395	
5	Усть-Кокса	460	
6	Кара-Тюрек	201	

№	Пункт/Станция	$E_0$	$E_0$ ср
7	Катанда	460	
8	Кызыл-Озек	542	
9	Усть-Озерное	460	
10	Каргасок	468	
№	Пункт/Станция	$E_0$	
<b>Обь – Прохоркино</b>			
11	Колпашево	483	476
12	Томск	497	
13	Кемерово	512	
14	Новокузнецк	550	
15	Тайга	483	
16	Барнаул	580	
17	Новосибирск	527	
18	Батурино	490	
19	Мыски	453	
20	Турочак	453	

Среднее значение нормы испаряемости составило 476 мм. Максимальное значение испаряемости 633 мм на станции Новокузнецк, а минимальное значение равняется 246 мм в пункте Кара-Тюрек.

Таблица 3.5.2 – Значение испаряемостей в бассейне р. Иртыш – г. Тобольск.

№	Пункт/Станция	$E_0$	$E_0$ ср
<b>Иртыш – Тобольск</b>			
1	Семиярка	688	579
2	Усть-Каменогорск	683	
3	Орловский	458	
4	Зайсанская(Ферма)	710	
5	Кокпекты	674	
6	Павлодар	653	
7	Зерносовхоз	644	
8	Аксуат	680	
9	Тюмень	536	
10	Якуторовск	525	
11	Серов	505	
12	Свердловск	530	
13	Нижний Тагил	524	
14	Тобольск	522	
15	Горшково	564	
16	Имиш	537	

17	Тевриз	508	
18	Поново	517	
19	Калачинск	544	
20	Ирыш	587	

В таблице 3.5.2 среднее значение нормы испаряемости составило 579 мм. Максимальное значение испаряемости составило 710 мм на станции Зайсанская (Ферма), а минимальное значение равняется 505 мм в пункте Серов.

Таблица 3.5.3 – Значение испаряемости по методике-2 (кафедры гидрофизики и гидропрогнозов) в бассейне Нижняя Обь.

№	Пункт/Станция	$E_0$	$E_{0\text{ср}}$
Нижняя Обь			
1	Казым	402	390
2	Полуй	331	
3	Саранпауль	395	
4	Ларьяк	439	
5	Надым	345	
6	Ермаково	424	
7	Няксимволь	431	
8	Сосновый	439	
9	Уренгой	338	
10	Мужи	352	
11	Нумто	374	
12	Холе-Савой	374	
13	Хонгокут	424	

В бассейне реки Нижняя Обь находится тринадцать метеостанций. В данной таблице мы рассчитывали испаряемость на тринадцати станциях, а затем рассчитали среднее значение испаряемости. Испаряемость выражается в миллиметрах слоя испарившейся воды. Среднее значение нормы испаряемости составило 390 мм, что является наименьшим значением из трех бассейнов. В бассейне Обь – Прохоркино среднее значение испаряемости составляет 476 мм, а в бассейне реки Иртыш – Тобольск 579 мм.

Максимальное значение испаряемости составило 439 мм на станции Ларьяк, а минимальное значение равняется 331 мм в пункте Полуи.

Таблица 3.6.1 –Значение испарения по методики М.И. Будыко бассейне реки Обь – Прохоркино.

№	Пункт/Станция	<i>E</i>	<i>E</i> <sub>ср</sub>
Обь – Прохоркино			
1	Турочак	485	414
2	Артыбаш	428	
3	Яйлю	496	
4	Усть-Улаган	270	
5	Усть-Кокса	366	
6	Кара-Тюрек	226	
7	Катанда	349	
8	Кызыл-Озек	435	
9	Усть-Озерное	402	
10	Каргасок	414	
11	Колпашево	400	
12	Томск	419	
13	Кемерово	368	
14	Новокузнецк	425	
15	Тайга	402	
16	Барнаул	478	
17	Новосибирск	387	
18	Батурино	416	
19	Мыски	439	
20	Мунзыбаш	451	

В таблице 3.6.1 представлены результаты расчетов по методики-1 (Будыко М. И.) годовые нормы испарения. Основная задача данной работы сводилась к нахождению испарению, поскольку норы осадков нам известны.

В бассейне реки Обь – Прохоркино находится 20 метеостанций. Максимальное значение составило 496 мм на станции Яйлю, следом по максимальному значению испарения располагается станция Барнаул, её значение составило 478 мм. Минимальное значение в пункте Кара-Тюрек

равнивается 226 мм, а в створе Усть-Улаган испарение составило 270 мм. На станции Батурино значение превысило среднюю нормы годового испарения.

Таблица 3.6.2 –Значение испарения по *методики-1* бассейна реки Иртыш – г. Тобольск.

№	Пункт/Станция	<i>E</i>	<i>E</i> <sub>ср</sub>
Иртыш – Тобольск			
1	Семиярка	272	363
2	Усть-Каменогорск	435	
3	Орловский	300	
4	Зайсанская(Ферма)	262	
5	Кокпекты	328	
6	Павлодар	318	
7	Зерносовхоз	298	
8	Аксуат	247	
9	Тюмень	394	
10	Якуторовск	353	
11	Серов	396	
12	Свердловск	414	
13	Нижний Тагил	406	
14	Тобольск	391	
15	Горшково	401	
16	Имиш	362	
17	Тевриз	394	
18	Поново	368	
19	Калачинск	352	
20	Иртыш	327	

В таблице 3.6.2 представлены значения испарения по методики Будыко М. И. В данном бассейне представлены 20 метеостанций. Среднее значение норм годового испарения составило 363 мм. Норму годового испарения превышают 10 станций (Усть-Каменогорск, Тюмень, Серов, Свердловск, Нижний Тагил, Тобольск, Горшково, Тевриз, Поново). Максимальное значение на станции Усть-Каменгорск составляет 435 миллиметра, а минимальное на станции Аксуат – 247 мм.

Таблица 3.6.3 –Значение испарения по методики Будыко бассейна реки Нижняя Обь.

№	Пункт/Станция	<i>E</i>	<i>E</i> <sub>ср</sub>
Нижняя Обь			
1	Казым	344	349
2	Полуй	315	
3	Саранпауль	339	
4	Ларьяк	384	
5	Надым	322	
6	Ермаково	388	
7	Няксимволь	363	
8	Сосновый	372	
9	Уренгой	315	
10	Мужи	329	
11	Нумто	339	
12	Холе-Савой	357	
13	Хонгокут	348	

В таблице 3.6.3 представлены значения испарения по методики Будыко М. И.. В данном створе представлены 13 метеостанций. Среднее значение норм годового испарения составило 349 мм. Норму годового испарения превышают 5 станций. Максимальное значение на станции Ларьяк(384 мм), а минимальное на станциях Полуй и Уренгой (315 мм).

Таблица 3.7.1 – Значение испарения по методики-2(кафедры гидропрогнозов и гидрофизики) в бассейне р.Обь – Прохоркино.

№	Пункт/Станция	<i>E</i>	<i>E</i> <sub>ср</sub>
Обь – Прохоркино			
1	Турочак	494	
2	Артыбаш	445	
3	Яйлю	500	
4	Усть-Улаган	278	
5	Усть-Кокса	381	

№	Пункт/Станция	<i>E</i>	<i>E</i> <sub>ср</sub>
6	Кара-Тюрек	201	
7	Катанда	363	
8	КЫЗЫЛ-Озек	455	
9	Усть-Озерное	415	
№	Пункт/Станция	<i>E</i>	
<b>Обь – Прохоркино</b>			
10	Каргасок	427	429
11	Колпашево	416	
12	Томск	437	
13	Кемерово	383	
14	Новокузнецк	445	
15	Тайга	418	
16	Барнаул	501	
17	Новосибирск	404	
18	Батурино	433	
19	Мыски	441	
20	Мунзыбаш	447	

Таблица 3.7.2 – Значение испарения по методики Постникова А. Н. в бассейне р. Иртыш – Тобольск.

№	Пункт/Станция	<i>E</i>	<i>E</i> <sub>ср</sub>
<b>Иртыш – Тобольск</b>			
1	Семярка	273	375
2	Усть-Каменогорск	454	
3	Орловский	310	
4	Зайсанская(Ферма)	263	
5	Кокпекты	334	
6	Павлодар	324	
7	Зерносовхоз	302	
8	Аксуат	247	
9	Тюмень	411	
10	Якуторовск	366	
11	Серов	414	
12	Свердловск	433	
13	Нижний Тагил	424	
14	Тобольск	409	
15	Горшково	419	
16	Имиш	376	
17	Тевриз	411	
18	Поново	383	

19	Калачинск	365	
20	Иртыш	336	

В таблице 3.7.2 представлены результаты расчетов по методике-2 годовые нормы испарения. В бассейне Иртыш – Тобольск находится 20 метеостанций, из них 10 превышают среднюю норму годового испарения. Максимальное значение составило 454 мм на станции Усть-Каменогорск, следом по максимальному значению испарения располагается станция Свердловск, её значение составило 433 мм. Минимальное значение в пункте Аксуат равняется 247 мм, а в створе зерносовхоз испарение составило 302 мм. Среднее значение норм годового испарения составляет 375 мм, что на 54 мм меньше бассейна р. Обь – Прохоркино.

Таблица 3.7.3 – Значение испарения по методике-2 в бассейне реки Нижняя Обь.

№	Пункт/Станция	<i>E</i>	<i>E</i> <sub>ср</sub>
Нижняя Обь			
1	Казым	354	357
2	Полуй	316	
3	Саранпауль	349	
4	Ларьяк	396	
5	Надым	325	
6	Ермаково	396	
7	Няксимволь	375	
8	Сосновый	385	
9	Уренгой	318	
10	Мужи	333	
11	Нумто	346	
12	Холе-Савой	359	
13	Хонгокут	361	

В таблице 3.7.3 представлены значения испарения по методике-2 ( А. Н. Постников) в бассейне р.Нижняя Обь. Если сравнивать среднее значение норм годового испарения с другими бассейнами (Обь – Прохоркино и Иртыш – Тобольск) , то данное значение наименьшее 357 мм. К примеру, в бассейне

Обь – Прохоркину  $E_{cp}$  получилось 429 мм, что на 72 мм больше створа под названием Нижняя Обь. В створе 13 метеостанций и максимальное значение составило 396 мм в пункте Ларьяк. Минимальное значение проходит на станцию Полуй и составляет 316 мм.

Анализ данных таблицы 3.8 показывает, что предлагаемые формулы дают весьма удовлетворительные результаты на всей территории бассейна реки Обь.

Таблица 3.8 – Исходные данные и результаты расчёта.

Речной бассейн			
	Обь – Прохоркино	Иртыш – Тобольск	Нижняя Обь
$t_{п}$	5,2	6,6	4,0
X	655	439	561
$E_1$	414	363	348
$E_2$	429	375	356
$y_1$	241	76	213
$y_2$	226	63	205
$U_{факт}$	232	69	219
$\Delta_1$	9	7	-6
$\Delta_2$	-6	-6	-14
$\delta_1 \%$	4	10	3
$\delta_2 \%$	3	9	6

Подводя итоги, можно констатировать следующее. Методика расчёта норм годового испарения, основанная на применении формул (19) и (24), даёт удовлетворительные результаты для территории бассейна реки Обь–г.Салехард, также расчёт норм радиационного баланса увлажненной территории даёт хорошие результаты на рассматриваемой территории.

Можно сказать, что обе методики позволяют рассчитать нормы стока с весьма удовлетворительной точностью. Так, например, в бассейне реки Нижняя Обь норма стока по «методике-1» 213 мм, а во втором случае норма стока составила 205 мм. По первой методике относительная погрешность составила 3%, что составляет 6 мм, а во втором 6 % – 14 мм, что является

допустимой. В бассейне реки Обь – Прохоркино по методике М. И. Будыко норма стока составила 241 мм, а относительная погрешность получилась 4%, что составило 9 мм от нормы стока. По методики кафедры гидрофизики и гидропрогнозов норма стока составила 226 мм, а относительная погрешность – 3%. Следовательно, 6 мм от нормы стока. В бассейне реки Иртыш – Тобольск погрешности составляют 10% и 9% соответственно. Данные погрешности допустимы и им можно доверять. Норма годового стока близка к фактическому значению. Можно с уверенности сказать, что данные методики подходят для нашей территории и обе вызывают доверие.

Таблица 3.9.1 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-1») в бассейне Обь – Прохоркино.

Y(сток), мм			
Обь – Прохоркино			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	227	251	277
$t^{\circ}\text{C}$	217	241	265
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	207	230	254
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	219	242	267
$t^{\circ}\text{C}$	209	232	255
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	199	221	245
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	94	104	115
$t^{\circ}\text{C}$	90	100	110
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	86	96	106

В бассейне р. Обь – Прохоркино средняя многолетняя температура воздуха за каждый месяц тёплого периода изменится на 0,3 градуса в ту или иную сторону. Фактическое значение нормы стока для створа реки Обь –

Проходкино составило 232 мм, а по «методике-1» рассчитанное значение стока составило 241 мм, что является хорошим результатом. Отклонение вычислено следующим образом:  $\sigma = Y_{\text{факт}}/Y_{\text{расч}} = \frac{232}{241} = 0,963$ . Данное отклонение перемножаем на значения нормы стока, для того чтобы увидеть, как изменится сток в процентах.

Максимальное значение нормы стока составило при минимальной температуре воздуха  $t - 0,5^{\circ}\text{C}$  и максимальных осадков  $\bar{X} + 0,05\bar{X}$ . Минимально значение строго пропорциональна. Минимальное значение осадков  $\bar{X} - 0,05\bar{X}$  и максимальное изменение температуры воздуха.

Таблица 3.9.2 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-1») в бассейне р. Иртыш – Тобольск.

Y(сток), мм			
Иртыш – Тобольск			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	71	81	91
$t^{\circ}\text{C}$	66	76	86
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	63	72	82
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	64	74	83
$t^{\circ}\text{C}$	60	69	78
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	57	65	74
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	93	106	120
$t^{\circ}\text{C}$	87	100	113
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	82	95	107

В бассейне р.Иртыш – Тобольск средняя многолетняя температура воздуха за каждый месяц тёплого периода изменится на 0,3 градуса в ту или

иную сторону. Фактическое значение нормы стока для створа реки Иртыш – Тобольск составило 69 мм, а по данной методики рассчитанное значение стока составило 76 мм, что на 7 мм меньше фактического. Но данное изменение незначительное. Отклонение вычислено следующим образом:  
 $\sigma = Y_{\text{факт}}/Y_{\text{расч}} = \frac{69}{76} = 0,908$ , что является хорошим результатом. Данное отклонение перемножаем на значения нормы стока, для того чтобы увидеть, как изменится сток. Ниже указано значение нормы стока в процентах. Самое большое значение нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха составило 83 мм, при температурном значении  $t - 0,5$  °С и значении осадков  $\bar{X} + 0,05\bar{X}$ .

Таблица 3.9.3 – Значения стока при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-1») в бассейне реки Нижняя Обь.

Y(сток), мм			
Нижняя Обь			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^\circ\text{C}$	199	220	242
$t^\circ\text{C}$	192	213	235
$t + 0,5^\circ\text{C}$	185	206	227
Значение нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины (мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^\circ\text{C}$	205	226	249
$t^\circ\text{C}$	197	219	242
$t + 0,5^\circ\text{C}$	190	212	233
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^\circ\text{C}$	93	103	114
$t^\circ\text{C}$	90	100	110
$t + 0,5^\circ\text{C}$	87	97	107

В бассейне р. Нижняя Обь число месяцев тёплого периода составила – пять. Умножаем 5(число месяцев тёплого периода) на изменение величины  $t$ (на 0,5 градусов) и затем делим на 12(число месяцев), то получаем 0,2.

Следовательно, средняя многолетняя температура воздуха за каждый месяц тёплого периода изменится на 0,2 градуса в ту или иную сторону. Фактическое значение нормы стока для створа реки Нижняя Обь составило 219 мм, а по данной методики рассчитанное значение стока составило 213 мм. Отклонение вычислено следующим образом:  $\sigma = Y_{\text{факт}}/Y_{\text{расч}} = \frac{219}{213} = 1,03$ . Данное отклонение перемножаем на значения нормы стока, для того чтобы увидеть, как изменится сток. Ниже указано значение нормы стока в процентах. Самое минимальное значение нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха составило 190 мм, при температурном значении  $t + 0,5^\circ\text{C}$  и значении осадков  $\bar{X} - 0,05\bar{X}$ . Самое максимальное значение нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха составило 190 мм, при температурном значении  $t - 0,5^\circ\text{C}$  и значении осадков  $\bar{X} + 0,05\bar{X}$ .

Таблица 3.10.1 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-1») в бассейне реки Обь – Прохоркино.

Y(сток), мм			
Обь – Прохоркино			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^\circ\text{C}$	234	259	285
$t^\circ\text{C}$	217	241	265
$t + 1^\circ\text{C}$	201	224	248
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^\circ\text{C}$	225	249	274
$t^\circ\text{C}$	209	232	255
$t + 1^\circ\text{C}$	193	216	239
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^\circ\text{C}$	97	108	118
$t^\circ\text{C}$	90	100	110
$t + 1^\circ\text{C}$	84	93	103

В таблице 3.10.1 средняя многолетняя температура воздуха за каждый месяц тёплого периода изменится на 0,5 градуса в ту или иную сторону. число месяцев тёплого периода составила шесть месяцев. Умножаем 6(число месяцев тёплого периода) на изменение величины t(на 1 градус) и затем делим на 12(число месяцев), то получаем 0,5. Средняя многолетняя температура воздуха за каждый месяц тёплого периода изменится на 0,5 градуса. Фактическое значение нормы стока для створа реки Обь – Прохоркино составило 232 мм, а по «методике-2» рассчитанное значение стока составило 241 мм, что является хорошим результатом. Отклонение вычислено следующим образом:  $\sigma = Y_{\text{факт}}/Y_{\text{расч}} = \frac{232}{241} = 0,963$ . Данное отклонение перемножаем на значения нормы стока, для того чтобы увидеть, как изменится сток в процентах. Максимальное значение нормы стока составило при минимальной температуре воздуха  $t - 1^{\circ}\text{C}$  и максимальных осадков  $\bar{X} + 0,05\bar{X}$ . Минимальное значение строго пропорциональна. Минимальное значение осадков  $\bar{X} - 0,05\bar{X}$  и максимальное изменение температуры воздуха. Если сравнивать значения , где среднемесячная температура воздуха за тёплый период изменилась на 0,3 градуса, то мы видим следующее: максимальное значение нормы стока в первом случае на створе Обь – Прохоркино составляет 277 мм, а при изменении величины t на  $1^{\circ}\text{C}$  равняется 285 мм, что на 8 мм больше.

Таблица 3.10.2 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-1») в бассейне р. Иртыш – Тобольск.

Y(сток), мм			
Иртыш – Тобольск			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	75	85	96

$t^{\circ}\text{C}$	66	76	86
$t + 1^{\circ}\text{C}$	59	68	77
Y(сток), мм			
Иртыш – Тобольск			
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	68	77	87
$t^{\circ}\text{C}$	60	69	78
$t + 1^{\circ}\text{C}$	54	62	70
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	98	112	127
$t^{\circ}\text{C}$	87	100	113
$t + 1^{\circ}\text{C}$	78	89	102

В таблице 3.10.2 представлены рассчитанные значения нормы стока, фактические значение прогноза нормы стока и процентное соотношение.

Таблица 3.10.3 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-1») в бассейне р. Нижняя Обь.

Y(сток), мм			
Иртыш – Тобольск			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	206	228	251
$t^{\circ}\text{C}$	192	213	235
$t + 1^{\circ}\text{C}$	179	199	220
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	212	234	258
$t^{\circ}\text{C}$	197	219	242
$t + 1^{\circ}\text{C}$	184	205	226
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	97	107	118
$t^{\circ}\text{C}$	90	100	110
$t + 1^{\circ}\text{C}$	84	93	103

В таблице 3.10.3 мы рассчитали норму стока, фактическое значение нормы стока и отклонения величин стока (%) от современных норм.

Таблица 3.11.1 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-2») в бассейне р. Обь – Прохоркино.

Y(сток), мм			
Обь – Прохоркино			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	214	240	266
$t^{\circ}\text{C}$	202	226	252
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	190	214	238
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	220	246	273
$t^{\circ}\text{C}$	207	232	259
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	195	220	244
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	95	106	118
$t^{\circ}\text{C}$	89	100	111
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	84	94	105

Таблица 3.11.2 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-2») в бассейне р. Иртыш – Тобольск.

Y(сток), мм			
Иртыш – Тобольск			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	59	68	77
$t^{\circ}\text{C}$	55	63	72
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	52	59	68
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$

$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	65	74	84
$t^{\circ}\text{C}$	60	69	79
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	57	65	74
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	93	107	121
$t^{\circ}\text{C}$	87	100	114
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	82	94	107

Рассчитанные значение нормы стока и фактические значения. Отклонения величин стока (%) от современных норм.

Таблица 3.11.3 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-2») в бассейне р.Нижняя Обь.

Y(сток), мм			
Нижняя Обь			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	192	214	238
$t^{\circ}\text{C}$	183	205	228
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	175	196	219
Значение нормы стока при изменение осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины (мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	205	229	254
$t^{\circ}\text{C}$	195	219	244
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	187	209	234
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^{\circ}\text{C}$	94	105	116
$t^{\circ}\text{C}$	89	100	111
$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	85	96	107

Выше представлены 9 комбинаций климата и отклонения величин стока (%) от современных норм.

Таблица 3.12.1 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-2») в бассейне р. Обь – Прохоркино.

Y(сток), мм			
Обь – Прохоркино			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	223	249	276
$t^{\circ}\text{C}$	202	226	252
$t + 1^{\circ}\text{C}$	183	206	230
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	229	256	283
$t^{\circ}\text{C}$	207	232	259
$t + 1^{\circ}\text{C}$	188	211	236
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	98	110	122
$t^{\circ}\text{C}$	89	100	111
$t + 1^{\circ}\text{C}$	81	91	102

Таблица 3.12.2 – Значения стока по областям при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-2») в бассейне р. Иртыш – Тобольск.

Y(сток), мм			
Иртыш – Тобольск			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	63	72	82
$t^{\circ}\text{C}$	55	63	72
$t + 1^{\circ}\text{C}$	49	56	63
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	69	79	90

$t^{\circ}\text{C}$	60	69	79
$t + 1^{\circ}\text{C}$	54	61	69
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	100	114	130
$t^{\circ}\text{C}$	87	100	114
$t + 1^{\circ}\text{C}$	77	88	100

Таблица 3.12.3 – Значения стока при заданных изменениях осадков и температуры воздуха («методика-2») в бассейне реки Нижняя Обь.

Y(сток), мм			
Иртыш – Тобольск			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	201	224	248
$t^{\circ}\text{C}$	183	205	228
$t + 1^{\circ}\text{C}$	167	188	210
Значения нормы стока при изменении осадков и температуры воздуха на вышеуказанные величины(мм).			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	215	239	265
$t^{\circ}\text{C}$	195	219	244
$t + 1^{\circ}\text{C}$	178	201	224
Y(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	98	109	121
$t^{\circ}\text{C}$	89	100	111
$t + 1^{\circ}\text{C}$	82	92	102

В таблице 3.12.3 мы рассчитали норму стока, фактическое значение нормы стока и отклонения величин стока (%) от современных норм.

Во вспомогательных таблицах 3.13, 3.14 представлены изменение стока в бассейне реки Обь – г. Салехард при  $\Delta t = \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta t = \pm 1^{\circ}\text{C}$  и  $\bar{X} \pm \bar{X} * 5\%$  по различным методикам.

Таблица 3.13.1 – Изменение стока в бассейне р. Обь – г. Салехард при изменении величины  $t$  на  $\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$  и  $\Delta X = \pm 5\%$  (методика-1).

у(сток), мм			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^\circ\text{C}$	153	170	188
$t^\circ\text{C}$	146	163	181
$t + 0,5^\circ\text{C}$	140	156	173
у(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^\circ\text{C}$	94	104	115
$t^\circ\text{C}$	90	100	110
$t + 0,5^\circ\text{C}$	86	96	106

Таблица 3.13.2 – Изменение стока в бассейне р. Обь – г. Салехард при изменении величины  $t$  на  $\pm 1^\circ\text{C}$  и  $\Delta X = \pm 5\%$  (методика-1).

у(сток), мм			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^\circ\text{C}$	159	176	195
$t^\circ\text{C}$	146	163	181
$t + 1^\circ\text{C}$	135	151	168
у(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^\circ\text{C}$	97	108	119
$t^\circ\text{C}$	90	100	111
$t + 1^\circ\text{C}$	83	93	103

Таблица 3.14.1 – Изменение стока в бассейне р. Обь – г. Салехард при изменении величины  $t$  на  $\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$  и  $\Delta X = \pm 5\%$  (методика-2).

у(сток), мм			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^\circ\text{C}$	154	172	192
$t^\circ\text{C}$	145	163	183
$t + 0,5^\circ\text{C}$	138	155	173
у(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 0,5^\circ\text{C}$	94	106	118
$t^\circ\text{C}$	89	100	112

$t + 0,5^{\circ}\text{C}$	84	91	106
---------------------------	----	----	-----

Таблица 3.14.2 – Изменение стока в бассейне р. Обь – г. Салехард при изменении величины  $t$  на  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  и  $\Delta X = \pm 5\%$  (методика-).

у(сток), мм			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	161	180	201
$t^{\circ}\text{C}$	145	163	183
$t + 1^{\circ}\text{C}$	132	148	166
у(сток), %			
	$\bar{X} - 0,05\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} + 0,05\bar{X}$
$t - 1^{\circ}\text{C}$	99	111	123
$t^{\circ}\text{C}$	89	100	112
$t + 1^{\circ}\text{C}$	81	91	102

По результатам расчёта норм стока, можно сделать следующие выводы:

«Методика-1»:

При изменении среднегодовой температуры воздуха на  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ :

– при сохранении нормы температур воздуха, колебания осадков в заданных пределах изменяет норму стока как в сторону уменьшения (при уменьшения осадков) на 10%, так и сторону возрастания (при увеличения осадков) на 11%.

– при сохранении норм осадков, колебания температуры в заданных пределах изменяет нормы стока в диапазоне при уменьшении температуры сток увеличивается (на 4 %), а в случае потепления – снижаться (на 4%).

– самый большой рост нормы стока (на 15%) ожидается при уменьшении температуры воздуха иувеличения количества осадков. Наибольшее снижение нормы стока (на 14%) будет наблюдаться при потеплении и уменьшения количества осадков.

– при одновременном понижении  $t$  и  $X$  – сток снизится на 6 %, при  $\uparrow t$  и  $\uparrow X$  – сток возрастёт на 6 %.

При изменении среднегодовой температуры воздуха на  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ :

– при сохранении нормы температур воздуха, колебания осадков в заданных пределах изменяет сток как в сторону уменьшения (при уменьшения осадков) на 10 %, так и сторону возрастания (при увеличения осадков) на 11 %.

– при сохранении норм осадков, колебания температуры в заданных пределах могут вызывать изменения стока при уменьшении температуры сток увеличивается (на 8 %), а в случае потепления – снижаться (на 7 %).

– самый большой рост нормы стока (на 19%) ожидается при уменьшении температуры воздуха и увеличения количества осадков. Наибольшее снижение нормы стока (на 17%) будет наблюдаться при потеплении и уменьшения количества осадков.

– при одновременном понижении  $t$  и  $X$  – сток снизится на 3 %, при  $\uparrow t$  и  $\uparrow X$  – сток возрастёт на 3 %.

#### *«Методика-2»:*

При изменении среднегодовой температуры воздуха на  $\pm 0,5$  °С:

– при сохранении нормы температур воздуха, колебания осадков в заданных пределах изменяет норму стока как в сторону уменьшения (при уменьшения осадков) на 11%, так и сторону возрастания (при увеличения осадков) на 12%.

– при сохранении норм осадков, колебания температуры в заданных пределах изменяет нормы стока в диапазоне при уменьшении температуры сток будет увеличивается на 6 %, а в случае потепления – снижаться на 9%.

– самый большой рост нормы стока (на 18%) ожидается при уменьшении температуры воздуха и увеличения количества осадков. Наибольшее снижение нормы стока (на 16%) будет наблюдаться при потеплении и уменьшения количества осадков.

– при одновременном увеличении (уменьшении) и  $t$ , и  $X$  вероятны следующие последствия:

при  $\uparrow X$  и  $\uparrow t$  – сток возрастёт на 6%.

при  $\downarrow X_{и}$   $\downarrow t$ – сток понизится на 6%.

При изменении среднегодовой температуры воздуха на  $\pm 1$  °С:

– при сохранении нормы температур воздуха, колебания осадков в заданных пределах изменяет сток, как в сторону уменьшения (при уменьшения осадков) на 11 %, так и сторону возрастания (при увеличения осадков) на 12 %.

– при сохранении норм осадков, колебания температуры в заданных пределах могут вызывать изменения стока при уменьшении температуры сток увеличивается (на 11 %), а в случае потепления – снижаться (на 9 %).

– самый большой рост нормы стока (на 23%) ожидается при уменьшении температуры воздуха и увеличения количества осадков. Наибольшее снижение нормы стока (на 19%) будет наблюдаться при потеплении и уменьшения количества осадков.

– при одновременном увеличении (уменьшении) и  $t$ , и  $X$  вероятны следующие последствия:

при  $\uparrow X_{и}$   $\uparrow t$ – сток возрастёт на 2%.

при  $\downarrow X_{и}$   $\downarrow t$ – сток понизится на 1%.

## Заключение

Наряду с оценкой современного состояния водных ресурсов региона, нам представляется интересным оценить их изменение в будущем, если климат по той или иной причине начнет меняться.

В последнее время проблема изучения климата на планете приобретает всё большую актуальность. Это связано с одной стороны с тем, что человек накапливает всё больше научных знаний в области всевозможных процессов, происходящих на Земле, и с другой стороны – непосредственным влиянием самого человека на эти процессы. Ни для кого не секрет, что природа непрерывно находится в состоянии эволюции, постоянного изменения. И для человечества всегда представлялось огромным интересом предугадать эти изменения.

На данный момент существует немалое количество всевозможных теорий и гипотез о характере будущего изменения климата. Однако ни одну из них нельзя назвать единственно верной, споры идут по сей день. Большинство специалистов придерживается концепции потепления климата, вызванного парниковым эффектом, создаваемым непрерывным увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере. Наряду с этим высказываются гипотезы и о похолодании, которые связываются с различными геофизическими причинами. Чья точка зрения окажется более правомерной, покажет будущее.

Можно сказать, что изменение климата, по сути, есть изменение среднесезонных значений (норм) гидрометеорологических элементов. Опираясь на связь этих элементов (осадки  $X$ , температура воздуха  $t$ , испарение  $E$ , сток  $Y$ ) в уравнении водного баланса, в работе сделана попытка определить нормы речного стока в условиях меняющегося климата. Для этих целей использовалась уравнение водного баланса (7). Для оценок испарения

использовались две методики: М. И. Будыко (первая методика) и предложенная руководителем дипломного проекта (вторая методика). В проведённых исследованиях мы задавались изменениями норм осадков и температуры воздуха с тем, чтобы оценить возникающие при этом изменения нормы речного стока. Предполагалось, что в будущем могут произойти отклонения от норм осадков и температуры как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Было решено оценить изменения норм стока, которые могут произойти, если температура воздуха за каждый месяц тёплого периода будет меняться на  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  и на  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , а осадки на 5% от их нормы ( $\bar{X} - 0,05\bar{X}$ ,  $\bar{X}$  и  $\bar{X} + 0,05\bar{X}$ ). Если принять, что возможны любые сочетания осадков и температуры воздуха, то возможны, как бы, 9 вариантов климата.

В результате проделанной работы мы пришли к следующим выводам:

*«Методика-1»:*

При изменении среднегодовой температуры воздуха на  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ :

– при сохранении нормы температур воздуха, колебания осадков в заданных пределах изменяет норму стока как в сторону уменьшения (при уменьшения осадков) на 10%, так и сторону возрастания (при увеличения осадков) на 11%.

– при сохранении норм осадков, колебания температуры в заданных пределах изменяет нормы стока в диапазоне при уменьшении температуры сток увеличивается (на 4%), а в случае потепления – снижаться (на 4%).

– самый большой рост нормы стока (на 15%) ожидается при уменьшении температуры воздуха и увеличения количества осадков. Наибольшее снижение нормы стока (на 14%) будет наблюдаться при потеплении и уменьшения количества осадков.

– при одновременном понижении  $t$  и  $X$  – сток снизится на 6%, при  $\uparrow t$  и  $\uparrow X$  – сток возрастёт на 6%.

При изменении среднегодовой температуры воздуха на  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ :

– при сохранении нормы температур воздуха, колебания осадков в заданных пределах изменяет сток как в сторону уменьшения (при уменьшения осадков) на 10 %, так и сторону возрастания (при увеличения осадков) на 11 %.

– при сохранении норм осадков, колебания температуры в заданных пределах могут вызывать изменения стока при уменьшении температуры сток увеличивается (на 8 %), а в случае потепления – снижаться (на 7 %).

– самый большой рост нормы стока (на 19%) ожидается при уменьшении температуры воздуха и увеличения количества осадков. Наибольшее снижение нормы стока (на 17%) будет наблюдаться при потеплении и уменьшения количества осадков.

– при одновременном понижении  $t$  и  $X$  – сток снизится на 3 %, при  $\uparrow t$  и  $\uparrow X$  – сток возрастёт на 3 %.

*«Методика-2»:*

При изменении среднегодовой температуры воздуха на  $\pm 0,5$  °С:

– при сохранении нормы температур воздуха, колебания осадков в заданных пределах изменяет норму стока как в сторону уменьшения (при уменьшения осадков) на 11%, так и сторону возрастания (при увеличения осадков) на 12%.

– при сохранении норм осадков, колебания температуры в заданных пределах изменяет нормы стока в диапазоне при уменьшении температуры сток будет увеличивается на 6 %, а в случае потепления – снижаться на 9%.

– самый большой рост нормы стока (на 18%) ожидается при уменьшении температуры воздуха и увеличения количества осадков. Наибольшее снижение нормы стока (на 16%) будет наблюдаться при потеплении и уменьшения количества осадков.

– при одновременном увеличении (уменьшении) и  $t$ , и  $X$  вероятны следующие последствия:

при  $\uparrow X$  и  $\uparrow t$  – сток возрастёт на 6%.

при  $\downarrow X$  и  $\downarrow t$  – сток понизится на 6%.

При изменении среднегодовой температуры воздуха на  $\pm 1$  °С:

– при сохранении нормы температур воздуха, колебания осадков в заданных пределах изменяет сток, как в сторону уменьшения (при уменьшения осадков) на 11 %, так и сторону возрастания (при увеличения осадков) на 12 %.

– при сохранении норм осадков, колебания температуры в заданных пределах могут вызывать изменения стока при уменьшении температуры сток увеличивается (на 11 %), а в случае потепления – снижаться (на 9 %).

– самый большой рост нормы стока (на 23%) ожидается при уменьшении температуры воздуха и увеличения количества осадков. Наибольшее снижение нормы стока (на 19%) будет наблюдаться при потеплении и уменьшения количества осадков.

– при одновременном увеличении (уменьшении) и  $t$ , и  $X$  вероятны следующие последствия:

при  $\uparrow X$  и  $\uparrow t$ – сток возрастёт на 2%

при  $\downarrow X$  и  $\downarrow t$ – сток понизится на 1%.

## Список использованных источников

1. Будыко М.И. Испарение в естественных условиях. – Л.: Гидрометеиздат, 1948. – 136 с.
2. Методы изучения и расчёта водного баланса. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 387 с.
3. Постников А.Н. Одна из форм уравнения связи элементов водного баланса // Труды ГГИ. – 1990. – Вып. 338. – с. 48 – 54.
4. Постников А.Н. К оценке среднемноголетних значений суммарного испарения с поверхности суши на основе уравнений связи // Труды РГГМУ. – СПб. – 1999. – Вып. 123. – с. 141 – 152.
5. Постников. А.Н. Анализ уравнений связи // Труды ГГИ. – 1992. – Вып. 360. – с. 34 – 41.
6. Постников. А.Н. Формулы для расчёта среднего годового испарения с поверхности суши и радиационного баланса увлажненной поверхности // Проблемы современной гидрологии. – СПб.: изд. РГГМУ, 2004 – с. 143 – 153.
7. Рекомендации по расчёту испарения с поверхности суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 96–97с.
8. Ефимова Н.А. Карты радиационного баланса увлажненной поверхности // Труды ГГО. – 1967. – Вып. 209. – с.78–93.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Вып. 1, том 15
10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Вып. 2, том 15
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Вып. 3, том 15

