



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

Кафедра Инженерной Гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Оценка изменений составляющих уравнения
Водного баланса под влиянием меняющегося
климата

Исполнитель Салтыков Владислав Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат технический наук., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Девятов Владимир Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат технических наук., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«5» июня 2023 г.



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

Кафедра Инженерной Гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Оценка изменений составляющих уравнения
водного баланса под влиянием меняющегося
климата**

Исполнитель Салтыков Владислав Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

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

Девятков Владимир Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)
кандидат технических наук., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

	Стр.
Введение	3
1 Физико-географическое описание	4
2 Научно обоснованный взгляд на проблему изменения климата.	7
2.1 Межправительственная группа экспертов по изменению климата	7
2.2 Наблюдаемые изменения в климатической системе	8
2.3 Факторы изменения климата в прошлом и настоящем	11
2.4 Установление причин изменения климата и воздействий	14
2.5 Экстремальные явления	19
3 Методы оценки климатических изменений	21
3.1 Нормативные методы	21
3.2 Методы прогноза стока в условиях неустойчивого климата	22
4 Формирование базы данных	31
4.1 Гидрологическая информация	31
4.2 Метеорологическая информация	34
4.3 Расчёты коэффициента корреляции	41
4.4 Испарение	45
4.5 Сценарии количества осадков	50
4.6 Расчёты	53
5 Выводы	60
Список использованных источников	63

ВВЕДЕНИЕ

Сток воды (водный сток) – это одновременно и процесс стекания воды в речных системах и характеристика количества стекающей воды. Сток воды – один из важнейших физико-географических и геологических факторов; изучение стока воды – главная задача гидрологии суши.

$$X = E + Q \quad (1)$$

где X – атмосферные осадки;

E – испарение;

Q – сток.

Целью работы является посчитать изменение стока под влиянием изменения осадков и испарения за 2025-2055гг. Для этого будут взяты данные по атмосферным осадкам с сайта метео.ру, взяты данные по гидрологическим постам с сайта АИС ГМВО, данные по расходам воды за последние годы.

Для этого нужно взять 3–5 объектов (систем водосборов), которые должны подходить под условия поиска: площадь водосбора 1500 км² – 50000 км²; нахождение метеорологической станции и гидрологического поста в пределах одного водосбора. Были выбраны река Пёза, река Пякупур, река Воронеж и река Большая Уссурка.

Данные по испарению берутся с сайта МГЭИК и дальше математическим путем считается сток.

Главной целью работы является подсчет изменения стока на ближайшие годы, который основывается на изменении последних лет.

1 Физико-географическое описание

1.1 Географическое положение и общее описание

Пёза – река в Мезенском районе Архангельской области, правый приток реки Мезень (рисунок 1.1).

Длина реки – 966 км, площадь водосборного бассейна – 78 000 км²



Рисунок 1.1 – Река Пёза.

Пякупур – река в России, протекает по территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа (рисунок 1.2), левая составляющая реки Пур . Длина реки – 542 км (с рекой Янкъягун – 635 км), площадь бассейна – 31400 км². Берёт своё начало слиянием рек Янкъягун и Нючавотыяха на возвышенности Сибирские Увалы, течёт на северо-восток, по заболоченной и лесистой низменности.



Рисунок 1.2 – река Пякупур.

Большая Уссурка – река на Дальнем Востоке России, в Приморском крае (рисунок 1.3). Один из наиболее крупных притоков реки Уссури.

До 1972 года – река Иман. Переименована после вооружённого конфликта за остров Даманский.

Длина – 440 км, площадь бассейна – 29600 км². Берёт начало в Дальнегорском городском округе на западных склонах Центрального Сихотэ-Алиня и у города Дальнереченск впадает в реку Уссури на расстоянии 357 км от её устья.



Рисунок 1.3 – Река Большая Уссурка.

Воронеж – река в России, левый приток Дона. Протекает по территории Тамбовской, Липецкой и Воронежской областей. Длина – 342 км (от истока Польного Воронежа – 520 км). Площадь водосборного бассейна – 21600 км². Среднегодовой расход воды – 70,8 м³/с.

Типичная равнинная река. Образуется при слиянии Польного Воронежа и Лесного Воронежа.



Рисунок 1.4 – Река Воронеж.

2 Научно обоснованный взгляд на проблему изменения климата

2.1 Межправительственная группа экспертов по изменению климата

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) была сформирована в 1988 году и находится она в главной Штаб-квартире в Женеве (Швейцария). Главный председатель – Хосунг Ли, Южно-корейский экономист. В МГЭИК входит 195 государств-членов, которые ею и управляют. Государства-члены избирают бюро ученых для прохождения цикла оценки. Цикл обычно составляет шесть-семь лет. Бюро отбирает экспертов для подготовки докладов МГЭИК. В нее входят эксперты, выдвинутые правительствами и организациями-наблюдателями. МГЭИК имеет три рабочие группы и целевую группу, которые выполняют ее научную работу. МГЭИК информирует правительства о состоянии знаний об изменении климата.

В последнее время климат земли очень сильно стал меняться, где-то происходит аномальная жара, которой никогда не было из-за чего возникают определенные последствия – такие, как лесные пожары. Все помнят 2010 г., смог от пожаров в Москве и Московской области, лесные пожары в тайге и в других регионах России. Тогда в воздухе повысились нормы предельно допустимой концентрации: угарный газ – в 7 раз, взвешенные вещества – в 16 раз, диоксид азота – в 2 раза. Критическое значение температуры было зафиксировано на метеостанции Утта(Калмыкия) и составляло оно – 45.4 С. Другие страны страдают от холода и морозов в непривычных для этого мест, как например Италия в 2017 г., где выпал снег.

2.2 Наблюдаемые изменения в климатической системе

Ни для кого ни секрет, что в последние годы происходит глобальное потепление и многие наблюдаемые изменения, произошедшие с 1950-х являются полномасштабными по сравнению с предыдущими тысячелетиями. Произошло потепление атмосферы и океана, запасы снега и льда сократились, а уровень моря повысился. Начали таять огромными объемами ледники в Арктике и Антарктиде

Атмосфера

Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось. Глобально усредненные совокупные данные о температуре поверхности суши и океана, рассчитанные на основе линейного тренда, свидетельствуют о потеплении на $0,85^{\circ}\text{C}$ за период с 1880 по 2012 гг., для которого имеются многочисленные независимые массивы данных. Общее увеличение среднего значения для периода 2003-2012 гг. по сравнению с периодом 1850–1900 гг. составляет $0,78^{\circ}\text{C}$, как следует из одного, самого длинного из имеющихся рядов данных.



Рисунок 2.1 – Динамика минимума и максимума температуры.

Океан

Потепление океана является главным фактором, способствующим увеличению энергии, содержащейся в климатической системе; на его долю приходится более 90 % энергии, аккумулированной с 1971 по 2010 гг., тогда как в атмосфере накоплен только 1 % энергии. В глобальном масштабе потепление океана было наиболее значительным вблизи поверхности, а температура в верхних 75 м повысилась в период 1971–2010 гг. на $0,11^{\circ}\text{C}$ за десятилетие. Практически определено, что температура верхнего слоя океана (0–700 м) повысилась в период с 1971 по 2010 гг., и, вероятно, повышалась с 1870-х годов по 1971 г. Вероятно, что океан нагревался в слое 700 – 2 000 м с 1957 по 2009 гг. и от 3 000 м до дна в период 1992–2005 гг.

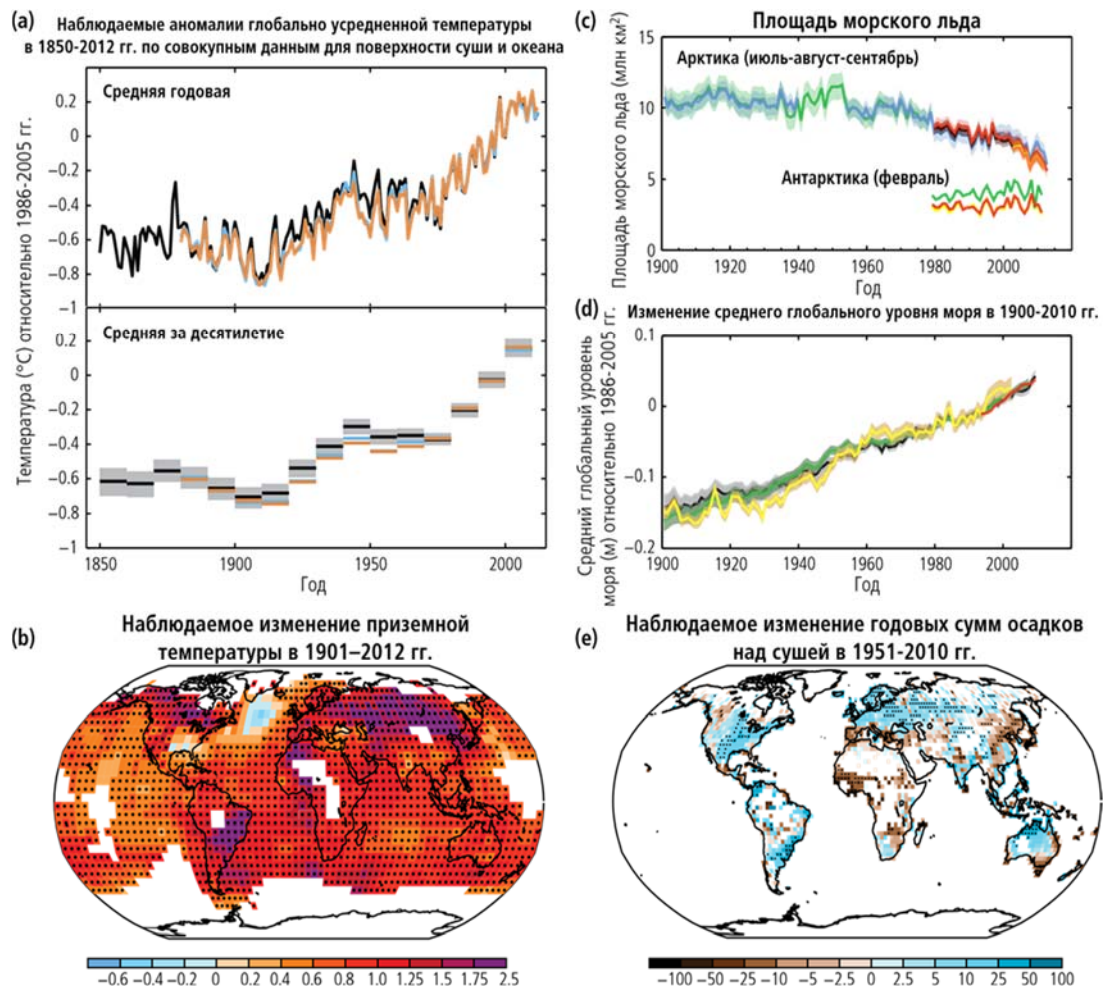


Рисунок 2.2 – Изменения за последние годы.

Криосфера

За последние два десятилетия Гренландский и Антарктический ледниковые щиты теряли массу. Ледники продолжали сокращаться практически во всем мире. Площадь снежного покрова в весенний период в Северном полушарии продолжала сокращаться. Существует высокая степень достоверности значительных региональных различий тренда площади морского льда в Антарктике, причем весьма вероятно, что общая площадь увеличивается. Ледники теряли массу и это вносило вклад в повышение уровня моря в течение XX века. Весьма вероятно, что темп потери массы Гренландским ледниковым щитом увеличился в период с 1992 г. по 2011 г., что привело к более значительным темпам потери массы в 2002–2011 гг., чем с 1992 г. по 2011 г. Также вероятно, что темпы потери массы Антарктическим ледовым щитом главным образом в северной части Антарктического полуострова и в секторе моря Амундсена в Западной Антарктике, увеличились в период с 2002 г. по 2011 г.

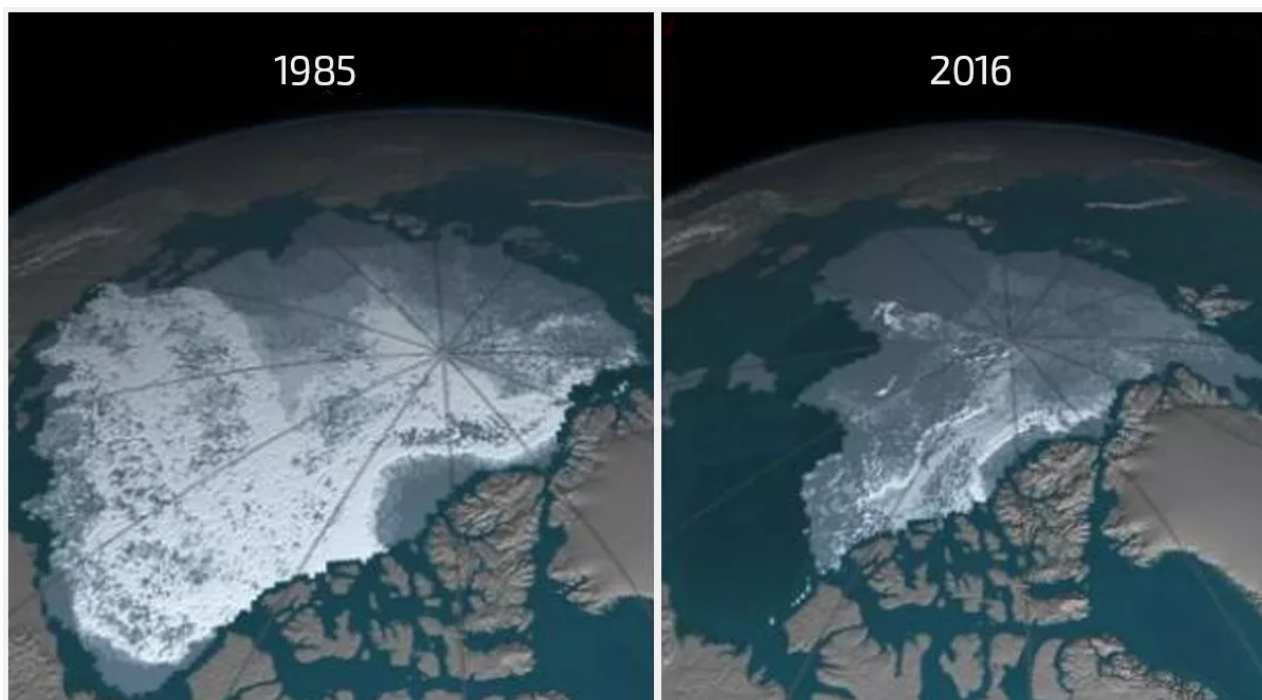


Рисунок 2.3 – Таяние ледников Арктики.

Уровень моря

В период 1901–2010 гг. средний глобальный уровень моря повысился на 0,19м. Темпы повышения уровня моря с середины XIX века превысили средние темпы за предыдущие два тысячелетия. Сокращение массы ледников и тепловое расширение океана в результате потепления, вместе взятые, почти на 75 % объясняют наблюдаемое повышение среднего глобального уровня моря с начала 1970-х годов. Повышение среднего глобального уровня моря на протяжении 1993-2010 гг. с высокой степенью достоверности согласуется с совокупным влиянием теплового расширения океана за счет потепления и изменений характеристик ледников, ледникового щита в Гренландии, ледникового щита в Антарктике и водных ресурсов суши.

2.3 Факторы изменения климата в прошлом и настоящем

Антропогенные выбросы парниковых газов увеличились с доиндустриальной эпохи, что было вызвано по большей части ростом экономики и населения. В период с 2000 г. по 2010 г. выбросы были самыми большими в истории. Выбросы в прошлом создали в атмосфере беспрецедентно высокие, по крайней мере в последние 800 000 лет, уровни концентраций диоксида углерода, метана и закиси азота, что привело к поглощению энергии климатической системой. Физическими факторами, влияющими на изменение климата, являются природные и антропогенные вещества и процессы, которые изменяют энергетический баланс Земли. Радиационное воздействие количественно описывает энергетическое возмущение в системе Земли, вызванное этими факторами. Положительное радиационное воздействие приводит к приземному потеплению, а отрицательное радиационное воздействие – к похолоданию.

Естественные и антропогенные радиационные воздействия

Концентрации ПГ в атмосфере находятся на уровнях, которые являются беспрецедентными за, по крайней мере, 800 000 лет. Концентрации диоксида углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) продемонстрировали большие увеличения, начиная с 1750 г. (40 %, 150 % и 20 %, соответственно). В 2002–2011 гг. концентрации CO_2 увеличиваются наиболее быстрыми темпами из числа зарегистрированных темпов изменения за десятилетие ($2,0 \pm 0,1$ млн-1/год). После стабилизации концентраций CH_4 в течение почти десятилетия с конца 1990-х годов, измерения в атмосфере показали возобновление их роста с 2007 г. Концентрации N_2O устойчиво увеличиваются со скоростью $0,73 \pm 0,03$ млрд-1/год в течение трех последних десятилетий.

Антропогенная деятельность, затрагивающая факторы выбросов

Примерно половина всех совокупных антропогенных выбросов за период 1750-2011 гг. произошли в течении последних 40 лет. Между 1750 г. и 2011г. в атмосферу примерно попало 2040 ± 310 Гт CO_2 в виде совокупных антропогенных выбросов. Примерно с 1970 г. выбросы CO_2 от сжигания ископаемого топлива, производства цемента и сжигания попутного газа в факелах увеличились втрое, а совокупные выбросы за счет лесного хозяйства и других видов землепользования увеличились примерно на 40 %. В 2011 г. совокупные выбросы от сжигания ископаемого топлива, производства цемента и сжигания попутного газа в факелах составили $34,8 \pm 2,9$ Гт CO_2 /год. В 2002 – 2011 гг. средние ежегодные выбросы составили $3,3 \pm 2,9$ Гт CO_2 /год. Около 40 % этих антропогенных выбросов CO_2

осталось в атмосфере (880 ± 35 Гт CO_2) после 1750 г. Остальное было удалено из атмосферы поглотителями и сохранено в естественных резервуарах углеродного цикла. Мировой океан впитал около 30 % выброшенного антропогенного CO_2 , что и вызвало закисление океана. Выбросы CO_2 в результате сжигания ископаемого топлива и промышленных процессов внесли около 78% в увеличение суммарных выбросов ПГ между 1970 и 2010 гг. при аналогичном процентном вкладе в период 2000–2010 гг.

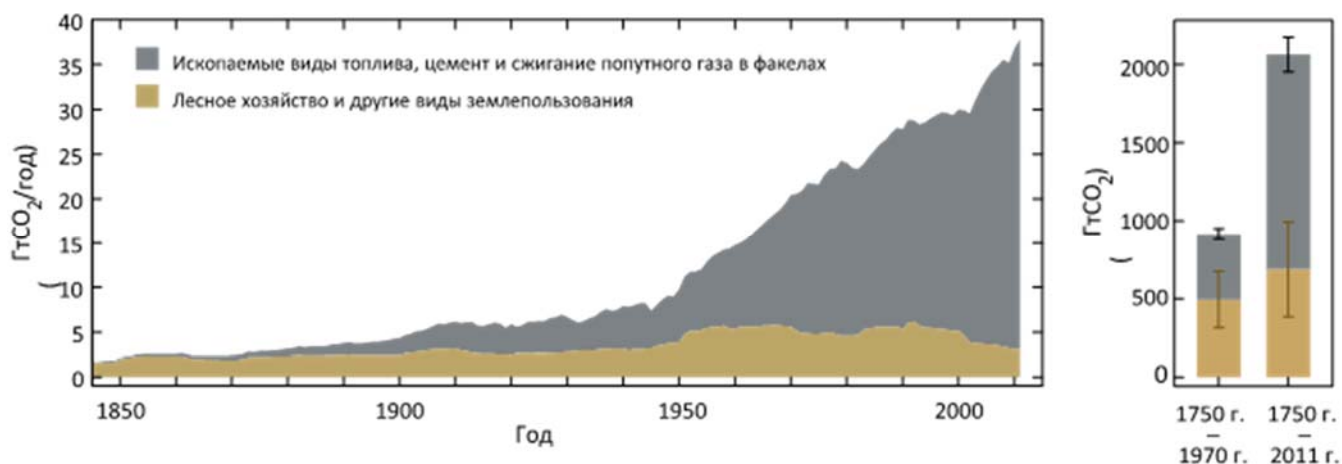


Рисунок 2.4 – Ежегодные глобальные выбросы антропогенного диоксида углерода (CO₂)

В глобальном масштабе рост экономики и населения продолжал быть наиболее важным фактором увеличения выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива. Вклад роста населения между 2000 и 2010 гг. оставался приблизительно равным таковому в предыдущие три десятилетия, в то время, как вклад экономического развития резко вырос.

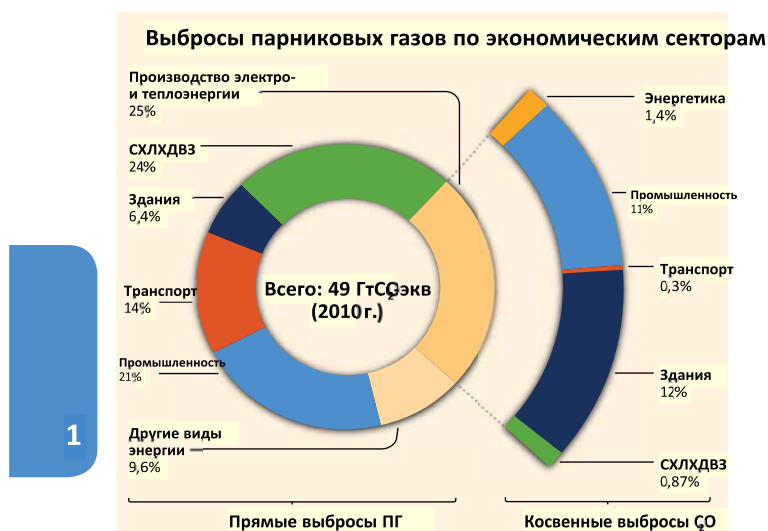


Рисунок 2.5 – Суммарные ежегодные антропогенные выбросы парниковых газов (ПГ).

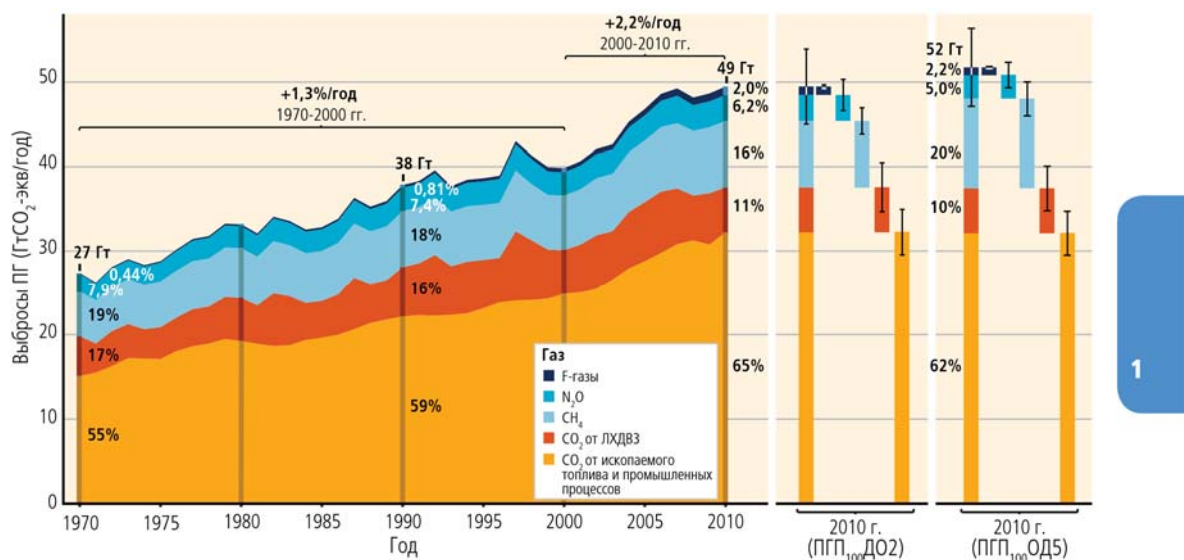


Рисунок 2.6 – выбросы ПГ.

2.4 Установление причин изменения климата и воздействий

Со времени выхода ДО4 количество доказательств антропогенного влияния на климатическую систему увеличилось. Было обнаружено антропогенное влияние на потепление атмосферы и океана, на изменение глобального гидрологического цикла, на уменьшение количества снега и льда и на повышение среднего уровня моря, и крайне вероятно, что оно является доминирующей причиной потепления, наблюдаемого с середины XX века. За последние десятилетия изменение климата оказало воздействие на природные и антропогенные системы на всех континентах и океанах. Воздействия вызваны наблюдаемым изменением климата, независимо от его причины, и указывают на чувствительность природных и антропогенных систем к изменяющемуся климату.

Причины наблюдаемых изменений в климатической системе, а также любой другой естественной и антропогенной системе, находящейся под воздействием климата, устанавливаются на основе набора сочетающихся друг с другом методов. Выявление изменения отвечает на вопрос, действительно ли климатическая или природная или антропогенная система, находящаяся под влиянием климата, изменилась в статистическом смысле, в то время как

при установлении причин оценивается относительный вклад многочисленных причинных факторов в наблюдаемое изменение или явление с определением статистической достоверности. Установление причин изменения климата количественно характеризует связи между наблюдаемым изменением климата и антропогенной деятельностью, а также другими, естественными, климатическими факторами. В противоположность этому, установление связи наблюдаемых воздействий с изменением климата рассматривает связи между наблюдаемыми изменениями природных и антропогенных систем и наблюдаемыми изменениями климата, независимо от их причин. Результаты исследований по установлению причин изменения климата представляют оценки величины потепления в результате изменения радиационного воздействия и, следовательно, поддерживают перспективные оценки будущего изменения климата.

Установление связи изменений климата с антропогенным и природным влиянием на климатическую систему

Более половины наблюдаемого повышения средней глобальной приземной температуры в 1951–2010 гг. обусловлено совместным влиянием увеличения концентраций ПГ и других антропогенных воздействий. Наилучшая оценка антропогенного вклада в потепление близка к наблюдаемому в этот период потеплению. Вклад ПГ в повышение средней глобальной приземной температуры в 1951–2010 гг., вероятно, находится в диапазоне 0,5–1,3 °C при наличии дополнительного вклада прочих антропогенных воздействий, включая охлаждающий эффект аэрозолей, естественных воздействий и естественной внутренней изменчивости.

В каждом континентальном регионе, за исключением Антарктики, антропогенные воздействия внесли, вероятно, существенный вклад в повышение приземных температур с середины XX века. В отношении Антарктики значительные неопределенности, связанные с данными наблюдений, приводят к низкой степени достоверности того, что

антропогенные воздействия внесли вклад в наблюдаемое потепление, показатели которого были усреднены по имеющимся станциям. В противовес этому, вероятно, что с середины XX века деятельность человека способствовала весьма значительному потеплению в Арктике. Вероятно, что антропогенное влияние внесло вклад в увеличение температуры во многих субконтинентальных регионах. Антропогенные воздействия внесли вклад в уменьшение площади морского льда в Арктике с 1979 г.

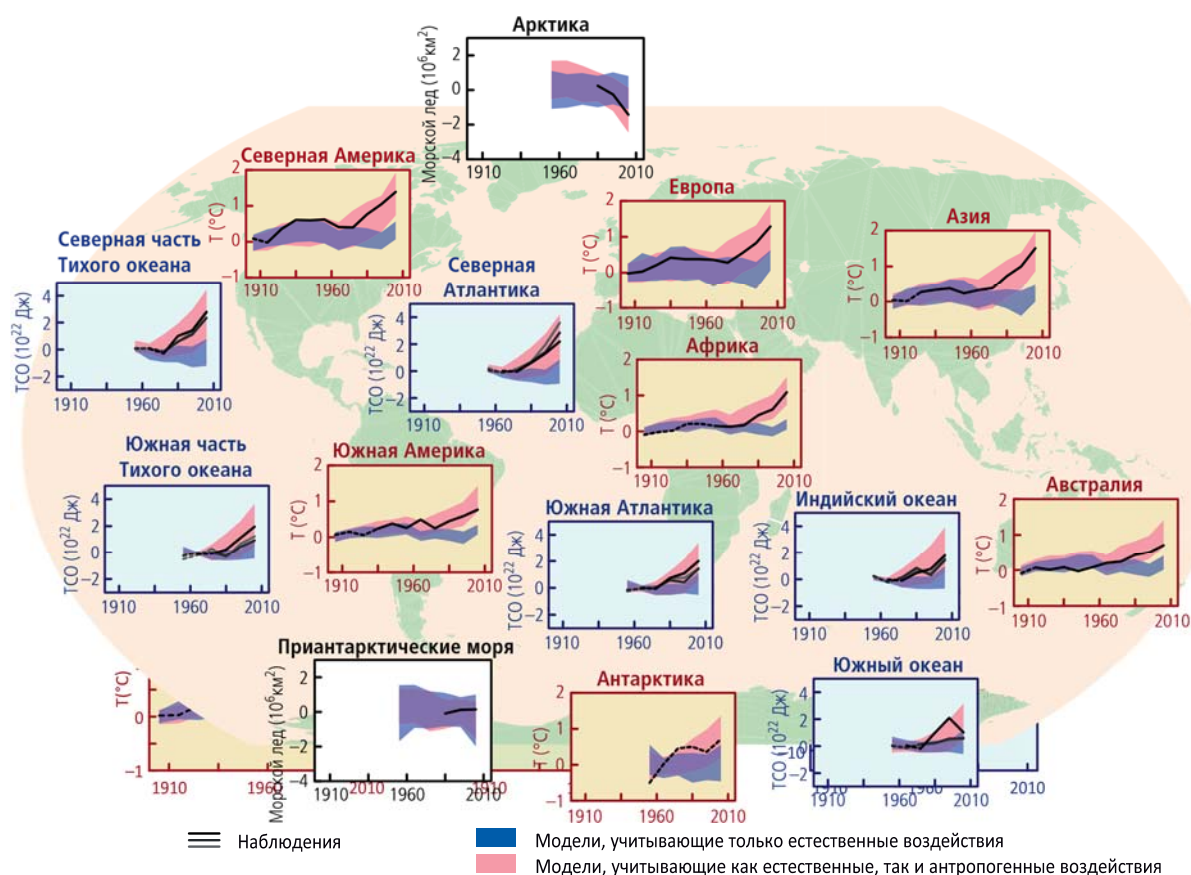


Рисунок 2.7 – Сравнение наблюдаемого и расчетного изменения приземных температур на континентах.

Антропогенные воздействия внесли существенный вклад в повышение теплосодержания верхнего слоя Мирового океана.

Имеются доказательства антропогенного влияния в отдельных океанических бассейнах. Весьма вероятно, что антропогенные воздействия внесли значительный вклад в повышение глобального среднего уровня моря начиная с 1970 г. Этот вывод основан на высокой степени достоверности

роли антропогенного влияния на два самых значительных фактора повышения уровня моря, а именно: тепловое расширение и потеря массы ледников. Поглощение антропогенного CO₂ океаном имело результатом постепенное закисления поверхностных вод океана.

Наблюдаемые воздействия, объясняемые изменением климата

В последние десятилетия изменения климата стали причиной воздействий на естественные и антропогенные системы на всех континентах и в океанах. Воздействия вызваны наблюдаемым изменением климата, независимо от его причины, что указывает на чувствительность природных и антропогенных систем к изменяющемуся климату. Доказательства воздействий наблюдаемого изменения климата наиболее существенны и всесторонни для природных систем. Некоторые воздействия на антропогенные системы также объяснялись изменением климата, при этом вклад изменения климата, отделенный от других влияний, мог быть основным или же незначительным. (рисунок 1.11). Воздействия на антропогенные системы часто географически неоднородны, поскольку они зависят не только от изменений климатических переменных, но и от социальных и экономических факторов. Следовательно, изменения проще проследить на локальных уровнях, в то время как установление их причин может оставаться затруднительным.

Во многих регионах изменяющееся количество осадков или тающий снег и лед вызывают изменения в гидрологических системах, затрагивая водные ресурсы в плане их количества и качества. Ледники продолжают сокращаться практически во всем мире вследствие изменения климата, что отрицательно сказывается на стоке и водных ресурсах в нижнем течении водотоков. Изменение климата вызывает повышение температуры и таяние многолетней мерзлоты в регионах высоких широт и в возвышенных регионах.

Вследствие происходящих изменений климата многие наземные, пресноводные и морские виды изменили свои географические ареалы,

сезонную активность, характер миграции, численность и взаимодействие с другими видами. Хотя до настоящего времени изменением климата объяснялось недавнее исчезновение всего нескольких видов, естественное глобальное изменение климата темпами, более медленными по сравнению с текущим антропогенным изменением климата, стало причиной существенных экосистемных сдвигов и исчезновения видов за последние миллионы лет. Более частая гибель деревьев, наблюдаемая во многих местах во всем мире, объяснялась изменением климата в некоторых регионах. Повышение частоты или интенсивности возмущений в экосистемах, таких как засухи, штормовой ветер, пожары и нашествия вредителей, были выявлены во многих частях мира и в некоторых случаях их причины объяснялись изменением климата. Многочисленные наблюдения в течение последних десятилетий во всех океанах показали изменение численности, смещение ареалов распространения к полюсу и/или, в случае морских рыб, беспозвоночных и планктона, - в более глубокие, более холодные воды, и изменение состава экосистем в соответствии с климатическими трендами. Некоторые тепловодные кораллы или их рифы отреагировали на потепление замещением видов, обесцвечиванием и уменьшением кораллового покрытия, что стало причиной утраты среды обитания.

Оценка многих исследований, охватывающих большой диапазон регионов и сельскохозяйственных культур, показывает, что негативные воздействия на урожайность, вызванные изменением климата, происходят чаще, чем положительные. Меньшее число исследований, указывающих на положительные воздействия, связывает их, преимущественно, с регионами в высоких широтах, хотя до сих пор непонятно, был ли баланс воздействий в этих регионах отрицательным или положительным. Изменение климата негативно сказалось на урожайности пшеницы и кукурузы во многих регионах и на обобщенном глобальном показателе. Воздействия на урожайность риса и соевых бобов были менее значительными в основных производственных регионах и в глобальном масштабе при медианном нулевом изменении по всем

имеющимся данным, при этом количество данных по соевым бобам меньше по сравнению с данными по другим культурам. Наблюдаемые воздействия касаются главным образом производственных аспектов продовольственной безопасности, а не вопросов доступа или других компонентов продовольственной безопасности. Имевшие место после выхода ОД4 несколько периодов быстрого роста цен на продовольствие и зерновые после экстремальных климатических явлений в ключевых производственных регионах свидетельствуют о чувствительности современных рынков к экстремальным климатическим явлениям, входящим в число других факторов.

2.5 Экстремальные явления

Изменения во многих экстремальных метеорологических и климатических явлениях наблюдались примерно с 1950 г. Некоторые из этих изменений были связаны с влиянием человека, включая уменьшение экстремальных холодных температур, повышение экстремальных теплых температур, повышение экстремальных высоких уровней моря и увеличение количества явлений интенсивных осадков в ряде регионов.

Число холодных дней и ночей снизилось, а количество теплых дней и ночей увеличилось в глобальном масштабе. Вероятно, что повторяемость волн тепла возросла на значительной части территории Европы, Азии и Австралии. в некоторых регионах наблюдаемое потепление увеличило смертность людей, связанную с жаркой погодой, и уменьшило смертность, связанную с холодной погодой. Большое число регионов суши, где число случаев выпадения сильных осадков увеличилось, чем регионов, где количество таких случаев уменьшилось. Антропогенное изменение климата повлияло на повторяемость и интенсивность селевых потоков в глобальном масштабе. Экстремальные уровни моря (например, в случае штормовых нагонов) повысились с 1970 г., что по большей части является результатом повышения среднего уровня моря. Вследствие небольшого числа исследований и трудности выявления таких

воздействий на фоне других изменений в береговых системах, имеется ограниченное количество доказательств воздействия повышения уровня моря.

Воздействия недавних связанных с климатом экстремальных явлений, таких как волны тепла, засухи, паводки, циклоны и стихийные пожары, выявляют значительную уязвимость и подверженность некоторых экосистем и многих антропогенных систем текущей изменчивости климата.

3 Методы оценки климатических изменений

3.1 Нормативные методы

Такая наука, как инженерная гидрология получила свой огромный толчок в развитии примерно в начале XX века, когда Д. И. Кочерин представил к использованию карту среднего многолетнего стока на Европейской территории СССР и поднял вопрос о вероятных его колебаниях. Данная карта гидрологически обосновывала гидротехнические проекты и являлась связующим звеном между гидротехникой и гидрологией. Идеи, предложенные Кочериным, гарантировали самодостаточность статистически обработанных рядов гидрологических наблюдений для принятия проектных решений в области гидротехнического строительства, поэтому впоследствии легли в основу таких нормативных документов, как СНиП и СП. Также большой научный вклад внес Д.Л. Соколовский, введя в практику уравнение К. Пирсона и биномиальную асимметричную кривую как одно из решений этого уравнения, а С.Н. Крицкий и М.Ф. Менкель усовершенствовали ее, зафиксировав левое граничное условие нулевым значением расхода. Накопленные сведения о методах обработки данных в гидрологии в 1957 г. было предложено кодифицировать, после чего появились первые локальные нормативные документы:

- СН 356 – 66 – максимальный сток талых вод
- СН 346 – 66 – минимальный сток
- СН 371 – 67 – годовой сток и его внутригодовое распределение
- СН 397 – 69 – наивысшие уровни воды рек и озер

В настоящее время расчет основных гидрологических характеристик ведется по методикам, разработанным в Государственном гидрологическом институте, Проектном и научно-исследовательском институте по инженерным изысканиям в строительстве с участием Российского государственного гидрометеорологического университета и Института водных проблем,

которые подробно изложены в СП 33-101-2003. В них говорится: на основе гидрологических рядов данных определяют обеспеченные количественные значения следующих характеристик:

- средний годовой
- максимальный расход воды и объем стока весеннего половодья и дождевых паводков
- отметки наивысших уровней воды рек и озер
- гидрографы и внутригодовое распределение стока
- минимальные расходы воды

3.2 Методы прогноза стока в условиях неустойчивого климата

- Метод Государственного гидрологического института (Метод ГГИ)
- Метод института географии Российской академии наук
- Метод Российского государственного гидрометеорологического университета

Метод Государственного гидрологического института

Климатические условия очень сильно влияют на состояние водных объектов. Например, повышение концентрации углерода ведет к росту температуры на планете, как в целом, так и в отдельных ее областях, а следствием этих природных преобразований является изменение водных ресурсов и гидрологического режима рек. В экономики почти всех стран, вода является одним из важнейших ресурсов многофункционального использования, поэтому большое внимание уделяется исследованиям таким моментам как: особенности реакции на изменяющийся климат элементов гидрологического цикла, главным образом стока рек, и оценка современных тенденций этих изменений, а также прогностическая оценка влияния антропогенных изменений климата на водные ресурсы. Одним из таких

учреждений занимающихся данными вопросами является Государственный гидрологический институт. Понимание того, что режим рек наиболее чувствителен к изменению климата, дало основание для разработки методики расчета стока рек в условиях климатических изменений. Следует отметить, что наибольшие изменения претерпевает внутригодовое распределение стока (рост водности в маловодные периоды и сглаживание пиков весенних половодий), а также многолетнее колебание стока. Для выяснения таких причин изменений были использованы данные с водобалансовых станций (ВБС). В результате наблюдений стало ясно, что изменения внутригодового распределения стока играет положительную роль для сельского хозяйства, так как выравнивание стока происходит без помощи водохранилищ. Но существуют и проблемные моменты: поднятие уровня грунтовых вод, вызывает заболачивание земельных угодий, что отрицательно сказывается на экономике регионов или стран. Для расчета характеристик стока ГГИ предлагает водобалансовую модель, позволяющую по декадным данным температуры и влажности воздуха, осадков, а также по основным воднофизическим характеристикам почвогрунтов рассчитывать непрерывные ряды составляющих гидрологического цикла: влажности почвы, испарения, поверхностного и подземного стока, изменения запасов подземных вод, накопления снега и его таяния. При прогнозировании стоковых характеристик, в качестве исходных метеорологических данных, используются данные температуры воздуха и осадки полученные из климатического сценария, разработанного в ГГИ на основе палеоклиматических реконструкций для трех наиболее близких к настоящему времени теплых эпох, отвечающих уровням глобального потепления на 1 – 2 и 3 – 4 °С.

Для данной гидрологической модели актуальна следующая концепция водного баланса трехслойной среды – деятельного слоя почвогрунтов и емкостей подземных вод верхнего и глубокого уровня залегания:

$$\frac{dW_s}{dt} = P - E - R_s - I_m + S \quad (3.1)$$

$$\frac{dW_m}{dt} = I_m - R_m - I_d \quad (3.2)$$

$$\frac{dW_d}{dt} = I_d - R_d \quad (3.3)$$

где W_s ; W_m ; W_d – соответственно влагозапасы в зоне деятельного слоя почвогрунтов и на водоносных горизонтах верхнего и глубокого уровней

R_s ; R_m ; R_d – поверхностный и подземный сток верхнего и глубокого уровней

P – Осадки

S – интенсивность снеготаяния

L_m ; L_d – фильтрация к зеркалу подводных вод верхнего и глубокого горизонтов соответственно.

Численное решение системы с декадным интервалом времени включает расчет E , I_d , I_m , R_m , S , R_d ; R_s определяется как остаточный член водного баланса деятельного слоя почвогрунтов.

Испарение и влажность почвы рассчитывается тепловоднобалансовым методом. В основе расчета испарения лежит следующая зависимость:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\beta W}{W_{ms}} \quad (3.4)$$

где E_0 – испаряемость

β – параметр, характеризующий влияние растительности

W – средние продуктивные влагозапасы деятельного слоя почвы за расчетный период времени

W_{ms} – продуктивные влагозапасы деятельного слоя почвы при наименьшей влагоемкости.

Испарение со снежного покрова рассчитывается по формуле П.П. Кузьмина, а интенсивность снеготаяния – по методу температурных коэффициентов. При образовании избыточной влаги (Н) распределение

водоотдачи на поверхностную составляющую (R_s) и пополнение грунтовых вод верхнего горизонта (I_m) следует производить расчет в виде:

$$R_s = H - I_m \quad (3.5)$$

$$L_m = \min (H, F_{max}) \quad (3.6)$$

где F_{max} – максимально возможная фильтрация из зоны аэрации.

В нижележащие горизонты, зависящая от типа почвогрунтов, а в начале снеготаяния и от глубины промерзания верхнего слоя почвы. Профильтрованная влага l_m поступает к зеркалу грунтовых вод верхнего горизонта, формируя сток R_s и напорную фильтрацию в глубокие водоносные горизонты l_d ; режим стока обоих горизонтов соответствует модели линейного резервуара:

$$R_m = A_m W_m \quad (3.7)$$

$$R_d = A_d W_d \quad (3.8)$$

$$I_d = B W_m \quad (3.9)$$

где R_m, R_d – подземные притоки верхнего и глубокого уровней залегания в русловую сеть

W_m, W_d – запасы воды верхнего и глубокого подземных горизонтов

A_m, A_d, B – коэффициенты сработки грунтовых вод подземных горизонтов, определяемые по кривым спада меженного стока и характеристикам типового внутригодового распределения стока.

Промерзание верхнего слоя почвы рассчитывается по формуле:

$$L = a\sqrt{\sum t} - bS \quad (3.10)$$

Где L – Глубина промерзания

a, b – эмпирические коэффициенты

$\sum t$ – сумма отрицательных температур на начало таяния.

S – начало таяния

Фильтрацию в мерзлую почву рассчитывается по эмпирической зависимости:

$$\begin{aligned} F_{ms} &= F_{max} \quad \text{при } L < L_{min} \\ F_{ms} &= \frac{F_{max} (L - L_{min})}{(L_{max} - L_{min})} \quad \text{при } L_{max} > L > L_{min} \\ F_{ms} &= 0 \quad \text{при } L < L_{max} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$F_{ms} F_{max}$ – максимально возможные за расчетный интервал времени значения фильтрации в мерзлую и талую почву

$L_{max} L_{min}$ – критические значения глубины промерзания, при которых формируется запирающий слой

L – реальная глубина промерзания.

При выборе метеорологических данных за многолетний период для использования этой водобалансовой модели следует придерживаться некоторых правил, например то, что стоковые характеристики должны близкие по значению к норме, также в выбранном периоде не должны присутствовать тренды в изменениях элементов гидрологического, а запасы в бассейне на начало и конец периода должны быть примерно одинаковыми.

Оценка оптимальности и адекватности разработанной в ГГИ гидрологической модели и ее блоков производилась по данным водобалансовых станций, результаты которых показали хороший результат.

Следует отметить такой факт, что при непрерывном прогнозировании в течение многолетнего периода не происходит нарастание ошибок в расчетах, что подтверждает обоснованность выбора основополагающих балансовых соотношений.

Отсутствие систематических погрешностей модельных расчетов стока и их высокая корреляция с наблюдаемыми значениями позволяют сделать вывод о применимости данной модели для оценки изменения водного режима рек при условиях климата, существенно отличающихся от современных. Данное обстоятельство является достоинством метода, предложенного ГГИ, а трудоемкость расчетов и различия между полученными по гидрологической модели данными, при использовании различных климатических сценариев – его существенным недостатком.

Метод института географии Российской академии наук

В Российской академии наук был разработан метод для определения определенных характеристик изменения речного стока, а также других составляющих водного баланса при потеплении климата, который сильно замечен в последнее время. Этот метод привели в работу А.Г. Георгиади и И. П. Милюкова.

Удобно, что все среднемноголетние данные для расчётов о среднемесячных значениях температуры воздуха и атмосферных осадков, полученные из различных климатических моделей, таких как GFDL, UKMO, ECHAM-4, HADCM, являются исходными данными для гидрологической модели, которая рассчитывает значения речного стока и другие значения составляющих уравнения водного баланса.

Эта версия модели позволяет рассчитать изменение стока, который формируется на поверхности и в подповерхностном слое почвы. Самой отличительной чертой этого метода является то, что величина базисного стока здесь принимается равной минимальному меженному слою стока без учета его динамики.

Общий вид уравнения водного баланса для речного бассейна:

$$\frac{dW}{dt} = P_{(t)} - Q_{(t)} - E_{(t)} - I_{(t)} \quad (3.12)$$

где W – запас влаги в верхнем (деятельном) слое почвы на момент времени t , мм

P – атмосферные осадки, мм

Q – речной сток (за вычетом базисного стока или сумма поверхностного и подповерхностного стока), мм

E – испарение, мм

I – фильтрация влаги в нижележащие слои почвогрунтов, формирующая базисный сток, мм.

Здесь рассматривается динамика составляющих водного баланса из уравнения за период, равный одному году.

Для расчета испарения с поверхности бассейна в n – е сутки были взяты уравнения, которые впоследствии претерпели изменения и стали использоваться в следующем виде:

$$\begin{aligned} E_n &= \beta_1 (E_{0n} - P_n - M_n) \left(\frac{W_n}{W_{fc}} \right) \text{ при } P_n + M_n < E_{0n} \\ E_n &= E_{0n} \text{ при } P_n + M_n \geq E_{0n} \\ \beta_1 &= \beta \left(\frac{E_n - 1 - P_n - M_n}{E_n - 1 - P_n - M_n} \right) / \left(\frac{W_n}{W_{fc}} \right) \end{aligned} \quad (3.13)$$

где P_n – атмосферные осадки в n – е сутки

M_n – водоподача на поверхность бассейна в результате снеготаяния в n -е сутки

W_n – запас влаги в метровом слое почвы в n – е сутки

W_{fc} – наименьшая влагоемкость почвы

β – параметр

Испаряемость в n – е сутки (E_{0n} , мм/сут.) рассчитывается из соотношений:

$$E_{0n} = 0 \text{ при } T \leq 0^\circ\text{C}$$

$$E_{0n} = \alpha T_n^\alpha \left(\frac{n_1}{30}\right) \left(\frac{h_{15}}{12}\right) \text{ при } 0^\circ\text{C} < T \leq 26,5^\circ\text{C} \quad (3.14)$$

$$E_{0n} = (-415,85 + 32,2T_n - 0,43T_n^2) \left(\frac{n_1}{30}\right) \left(\frac{h_{15}}{12}\right) \text{ при } T \geq 26,5^\circ\text{C}$$

Где T – температура воздуха в n – е сутки

n_1 – число дней в месяце

h_{15} – продолжительность светового дня в часах на 15 – е число каждого месяца

α и α_1 – параметры

Запас воды в снежном покрове оценивается как

$$S_n = (S_{n-1} + P_n - M_n) \quad (3.15)$$

Где S_n – запас воды в снежном покрове в n – е сутки

M_n – снеготаяние в течение n – х суток

P_n – сумма осадков в жидком эквиваленте за n – е сутки

Суточное снеготаяние определяется по формуле (1.16)

$$M_n = kT_n \text{ при } T_n \geq -1^\circ\text{C} \quad (3.16)$$

Где k – параметр

$$M_n = 0 \text{ при } T_n < -1^\circ\text{C} \quad (3.17)$$

Запасы влаги в метровом слое почвы (мм слоя) рассчитываются по формуле (3.18)

$$W_n = W_{n-1} \text{ при } T_n < -1^\circ\text{C}$$

$$W_n = W_{n-1} + P_n + M_n - E_n \text{ при } T_n \geq -1^\circ\text{C}$$

$$Q_n = W_n - W_{fc}, W_n = W_{fc}, \Delta W = W_{fc} - W_{n-1} \text{ при } W_c > W_{fc}$$

$$Q_n = 0, \Delta W = W_n - W_{n-1} \text{ при } W_c \leq W_{fc} \quad (3.18)$$

Фильтрация в слое почвогрунтов, лежащие ниже 1м, является константой и определяются величиной базисного стока.

Затем из уравнения (3.12) с учетом всех вышеприведенных расчетных зависимостей определяется сток в n – е сутки.

$$Q_n + I_n = P_n - E_n + M_n - \Delta W_n \text{ при } P_n + M_n \geq E_n + \Delta W_n \quad (3.19)$$

Где I_n – это константа, равная величине базисного стока.

$$Q_n + I_n = I_n \text{ при } P_n + M_n < E_n + \Delta W_n \quad (3.20)$$

Чтобы оптимизировать параметры модели α , αI , β и k используется процедура оптимизации Х. Розенброка, представляющая собой метод покоординатного спуска с попеременной заменой осей.

Все расчеты должны производиться с суточным шагом по времени, а результаты – суммироваться по месяцам.

Положительной чертой методики РАН является возможность ее дальнейшего развития, а именно: разработка способа учета возможного смещения природных зон, вызванного глобальными изменениями климата, методов оценки базисного стока и диапазона отклонений по характеристикам речного стока, полученных по данным различных климатических моделей и сценариев.

4 Формирование базы данных

4.1 Гидрологическая информация

Гидрологический пост – р. Пёза – д. Сафоново

Регион России – Архангельская область

Координаты – 65.671689 С.Ш., 47.688872 В.Д.

Код поста – 70399

Код водного Объекта – 03030000212103000048975 / 103004897

Принадлежность поста – Северное УГМС

Наименование водного объекта – р. Мезень

Водохозяйственный участок – Мезень от в/п д. Малонисогорская до устья

Бассейновый округ – Двинско-Печорский бассейновый округ

Площадь водосбора – 4520.00 км²

Расстояние от устья – 300.00

Отметка нуля поста – 48.58 (высота, м)

Таблица 4.1 – Средний расход воды р. Пёза – деревня Сафоново

Год	Средний расход воды м ³
2008	83,7
2009	53,7
2010	53,9
2011	49,2
2012	59,4
2013	46,3
2014	63,0
2015	62,3
2016	45,6
2017	73,1
2018	49,3
2019	74,3
2020	73,0

Гидрологический пост - р. Пяку-Пур - пгт Тарко-Сале
 Регион России - Ямало-Ненецкий автономный округ
 Координаты - 64.930122 С.Ш., 77.768436 В.Д.
 Код поста - 11574
 Код водного Объекта - 15040000112115300054854 / 115305485
 Принадлежность поста - Обь-Иртышское УГМС
 Наименование водного объекта – р. Пякупур
 Водохозяйственный участок – р. Пур
 Бассейновый округ – Нижнеобский бассейновый округ
 Площадь водосбора – 31400,00 км²
 Расстояние от устья – 3,40 км
 Отметка нуля поста - 15.31 (высота, м)

Таблица 4.2 – Средний расход воды р. Пяку-Пур - пгт Тарко-Сале

Год	средний расход воды м ³
2008	332,0
2009	291,0
2010	342,0
2011	338,0
2012	252,0
2013	349,0
2014	575,0
2015	580,0
2016	370,0
2017	400,0
2018	399,0
2019	-
2020	-

Гидрологический пост - р.Большая Уссурка - пос.Вагунтон
 Регион России – Приморский Край
 Координаты - 45.944761 С.Ш., 133.827474 В.Д.
 Код поста - 05254

Код водного Объекта – 20030700312118100055803 / 118105580

Принадлежность поста – Приморское УГМС

Наименование водного объекта – р Большая Уссурка

Водохозяйственный участок – р. Большая Уссурка

Бассейновый округ – Амурский бассейновый округ

Площадь водосбора – 23000,00 км²

Расстояние от устья – 20.00 км

Отметка нуля поста – 55.18 (высота, м)

Таблица 4.3 – средний расход воды р.Большая Уссурка – пос.Вагутон

год	Средний расход воды м ³
2008	183,0
2009	352,0
2010	303,0
2011	242,0
2012	309,0
2013	398,0
2014	261,0
2015	433,0
2016	452,0
2017	225,0
2018	339,0
2019	281,0
2020	404,0

Гидрологический пост – Р. Воронеж - С. Чертовицкое

Регион России – Воронежская Область

Координаты – 45.944761 С.Ш., 133.827474 В.Д.

Код поста – 78087

Код водного Объекта – 05010100612107000002368 / 107000236

Принадлежность поста – Центрально-Черноземное УГМС

Наименование водного объекта – р Воронеж

Водохозяйственный участок – р. Воронеж от г. Липецк до Воронежского г/у

Бассейновый округ – Донской бассейновый округ

Площадь водосбора – 21000.00 км²

Расстояние от устья – 41.00 км

Отметка нуля поста – 90.10 (высота, м)

Таблица 4.4 средний расход воды Р. Воронеж – С. Чертовицкое

Год	Средний расход воды м ³
2008	58,7
2009	39,6
2010	41,3
2011	34,1
2012	69,0
2013	73,9
2014	34,8
2015	29,5
2016	68,8
2017	49,8
2018	76,8
2019	32,7
2020	27,5

Все данные по среднему расходу воды были взяты с сайта АИС ГМВО.

4.2 Метеорологическая информация

Наименование станции – Мезень

Индекс ВМО - 22471

Координаты станции - 65°52 С.Ш. 44°13 В.Д.

Высота метеоплощадки – 14 м

Начало наблюдений на метеостанции – 1961 г.

Регион России – Архангельская область

Климатический пояс – Субарктический пояс; Область субарктического климата

Таблица 4.5 годовые суммы осадков на метеостанции Мезень

код поста	год	Сумма X
22471	2008	622,2
22471	2009	517,6
22471	2010	591,2
22471	2011	493,5
22471	2012	706,9
22471	2013	548,5
22471	2014	506,0
22471	2015	642,0
22471	2016	524,2
22471	2017	592,6
22471	2018	591,5
22471	2019	710,7
22471	2020	691,4

Наименование станции – Тарко-Сале

Индекс ВМО – 23552

Координаты станции – 64°55 С.Ш. 77°49 В.Д.

Высота метеоплощадки – 26 м

Начало наблюдений на метеостанции – 1843 г.

Регион России – Ямало-Ненецкий автономный округ

Климатический пояс – Субарктический пояс; Область субарктического климата

Таблица 4.6 годовые суммы осадков на метеостанции Тарко-Сале

код поста	год	Сумма X
23552	2008	516,5
23552	2009	406,9
23552	2010	658,3
23552	2011	529,5
23552	2012	515,1
23552	2013	463,2
23552	2014	759,9
23552	2015	638,4
23552	2016	509,2
23552	2017	610,7
23552	2018	588,0
23552	2019	629,9
23552	2020	651,0

Наименование станции – Дальнереченск

Индекс ВМО – 31873

Координаты станции – 45°52 С.Ш. 133°44 В.Д.

Высота метеоплощадки – 97 м

Начало наблюдений на метеостанции – 1909 г.

Регион России – Приморский Край

Климатический пояс – Умеренный пояс; Область климата тайги и смешанных лесов Дальнего Востока

Таблица 4.7 годовые суммы осадков на метеостанции Дальнереченск

Код поста	Год	Сумма X
31873	2008	660,9
31873	2009	679,7
31873	2010	702,9
31873	2011	428,1
31873	2012	640,1
31873	2013	794,1
31873	2014	755,7
31873	2015	757,4
31873	2016	823,1
31873	2017	583,4
31873	2018	579,4
31873	2019	829,1
31873	2020	953,6

Наименование станции – Воронеж

Индекс ВМО - 34123

Координаты станции - 51°42 С.Ш. 39°13 В.Д.

Высота метеоплощадки – 147 м

Начало наблюдений на метеостанции – 1918 г.

Регион России – Воронежская область

Климатический пояс – Умеренный пояс; Область умеренно-континентального климата

Таблица 4.8 годовые суммы осадков на метеостанции Воронеж

Код поста	Год	Сумма X
34123	2008	485,5
34123	2009	447,9
34123	2010	606,8
34123	2011	460,8
34123	2012	829,3
34123	2013	590,7
34123	2014	419,4
34123	2015	527,0
34123	2016	766,0
34123	2017	636,7
34123	2018	618,7
34123	2019	519,2
34123	2020	437,5

Данные по количеству осадков были взяты с сайта метео.ру

Таблица 4.9 – Месячные осадки на метеостанции Мезень

код поста	год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
22471	2008	23,2	29,6	19,7	30,0	62,1	61,0	135,6	68,1	56,9	50,7	50,2	35,1
22471	2009	27,6	32,3	35,7	11,1	26,9	28,3	106,7	100,9	46,8	58,6	17,2	25,5
22471	2010	16,1	25,6	35,8	37,1	36,7	65,7	62,7	56,9	116,0	46,6	70,7	21,3
22471	2011	38,4	12,0	10,0	23,9	31,0	53,3	39,8	56,5	61,3	42,9	89,1	35,3

22471	2012	27,9	9,3	17,5	43,0	66,0	38,5	114,9	163,1	61,7	74,6	74,5	15,9
22471	2013	45,2	26,6	9,6	21,3	10,2	39,6	82,0	106,7	21,1	87,6	39,3	59,3
22471	2014	20,3	27,5	42,1	24,7	32,5	44,1	59,8	83,5	56,7	29,7	47,3	37,8
22471	2015	44,0	34,4	9,9	22,3	19,0	142,6	32,5	112,3	60,2	68,2	53,5	43,1
22471	2016	21,0	26,0	12,9	15,0	42,0	74,3	45,1	81,1	59,2	52,1	31,9	63,6
22471	2017	39,3	42,1	28,2	31,9	30,6	63,4	79,0	81,3	49,0	50,3	47,1	50,4
22471	2018	35,4	11,5	17,4	43,9	21,4	86,8	36,5	94,3	84,3	88,9	55,1	16,0
22471	2019	41,2	66,1	28,2	16,4	40,3	78,3	50,5	71,1	90,2	110,4	49,4	68,6
22471	2020	43,7	32,7	31,0	24,9	62,3	62,6	61,0	131,2	91,7	45,0	72,7	32,6

Таблица 4.10 – Месячные осадки на метеостанции Тарко-Сале

код поста	год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
23552	2008	18,9	37,0	45,2	10,7	26,5	58,3	26,2	70,8	56,9	79,5	43,5	43,0
23552	2009	25,0	16,2	19,6	38,0	25,6	37,8	74,8	35,4	32,2	31,9	38,0	32,4
23552	2010	12,6	11,3	34,2	21,2	52,0	52,8	101,1	140,6	76,4	68,4	68,7	19,0
23552	2011	23,4	16,5	16,6	57,6	28,5	29,3	70,8	119,3	24,5	60,0	43,6	39,4
23552	2012	18,3	19,7	13,7	42,6	47,0	15,7	65,9	72,6	96,2	69,6	26,7	27,1
23552	2013	22,3	27,1	25,1	18,5	35,2	25,4	28,7	24,3	28,4	123,5	45,7	59,0
23552	2014	29,0	6,6	43,0	50,9	86,3	70,6	93,7	117,8	102,0	50,6	63,8	45,6
23552	2015	44,6	49,9	41,6	33,1	17,1	86,9	114,0	52,9	67,3	46,9	49,3	34,8
23552	2016	14,6	29,2	45,2	33,3	62,8	68,2	46,2	107,6	21,0	26,7	24,0	30,4
23552	2017	23,2	44,6	45,2	36,6	67,2	69,4	9,1	109,7	59,6	50,3	57,1	38,7
23552	2018	28,7	17,9	40,4	56,3	29,4	76,5	43,6	84,9	55,0	52,1	61,8	41,4
23552	2019	42,1	19,3	40,4	35,9	31,1	99,6	80,4	58,2	79,2	55,8	38,6	49,3
23552	2020	35,6	35,2	43,6	42,9	62,9	134,0	83,8	58,3	28,8	56,7	39,4	29,8

Таблица 4.11 – Месячные осадки на метеостанции Дальнереченск

код поста	год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
3187 3	200 8	0,9	4,5	43, 4	21, 7	148, 0	56,0	167, 4	93,6	49,3	34, 9	23, 6	17, 6
3187 3	200 9	23, 5	26, 1	44, 7	25, 7	26,0	121, 0	151, 0	100, 5	67,1	38, 4	15, 2	40, 5
3187 3	201 0	12, 0	33, 0	30, 2	48, 9	80,0	17,0	161, 1	127, 6	27,4	46, 7	63, 7	55, 3
3187 3	201 1	11, 0	2,3	1,5	35, 4	32,5	57,3	93,4	40,0	87,0	22, 8	34, 2	10, 7
3187 3	201 2	2,4	3,1	28, 3	58, 4	62,9	38,1	93,9	50,9	134, 3	91, 7	41, 9	34, 2
3187 3	201 3	9,5	14, 1	27, 2	43, 9	55,6	37,6	313, 8	144, 5	56,0	55, 3	31, 1	5,5
3187 3	201 4	3,7	9,0	8,9	10, 4	90,4	77,2	222, 1	69,4	124, 4	33, 0	46, 1	61, 1
3187 3	201 5	14, 0	10, 2	60, 0	55, 7	84,9	132, 6	168, 4	101, 1	14,9	65, 0	11, 5	39, 1
3187 3	201 6	11, 1	9,0	21, 0	86, 1	164, 1	65,7	81,3	192, 1	90,9	52, 6	32, 8	16, 4
3187 3	201 7	14, 0	4,5	19, 0	43, 2	44,1	107, 7	86,1	92,1	72,9	39, 9	35, 3	24, 6
3187 3	201 8	26, 1	5,3	26, 2	40, 3	69,2	37,1	128, 4	91,5	82,2	33, 3	24, 8	15
3187 3	201 9	4,1	0,5	29, 4	12, 6	119, 0	127, 3	79,5	306, 8	22,5	59, 0	45, 6	22, 8
3187 3	202 0	0,6	23, 4	21, 5	64, 7	83,9	189, 8	60,4	311, 4	74,0	48, 5	75	0,4

Таблица 4.12 – Месячные осадки на метеостанции Воронеж

код поста	год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
34123	2008	36,7	12,8	50,2	78,3	67,2	24,4	47,3	30,3	64,6	18,2	35,0	20,5
34123	2009	41,1	44,1	45,0	7,0	45,0	43,5	41,2	49,5	7,2	29,2	36,6	58,5
34123	2010	56,7	35,5	36,4	38,7	54,9	36,1	33,0	29,1	41,4	65,1	65,3	114,6
34123	2011	43,5	24,4	14,0	26,1	25,5	64,8	46,8	97,3	16,5	18,9	20,9	62,1
34123	2012	45,3	45,1	47,1	71,5	21,1	116,7	63,7	185,5	37,5	139,3	25,5	31,0
34123	2013	30,9	13,8	72,2	12,1	63,5	18,3	77,5	87,3	129,5	46,0	25,7	13,9
34123	2014	60,8	27,4	23,0	32,8	31,1	99,8	2,0	46,9	5,0	17,8	6,0	66,8
34123	2015	24,5	61,9	4,2	62,3	22,2	72,2	50,3	30,2	15,5	19,7	96,6	67,4
34123	2016	88,3	42,7	64,2	163,6	74,7	44,8	37,8	63,8	33,4	25,2	78,7	48,8

34123	2017	51,6	28,9	32,9	45,5	25,6	62,3	61,7	45,6	46,7	58,1	85,5	92,3
34123	2018	70,2	41,1	84,5	71,1	51,0	35,4	79,0	18,8	44,7	37,3	3,8	81,8
34123	2019	46,1	18,8	45,8	31,8	91,9	12,2	99,9	24,8	13,9	69,5	38,9	25,6
34123	2020	31,2	77,6	20,2	17,1	75,0	62,6	28,9	6,6	2,0	35,2	50,8	30,3

4.3 Расчёты коэффициента корреляции

При выборе водосбора учитывалась площадь водосбора, где располагался гидрологический пост. Площадь должна быть не менее 1500 км² и не более 50000 км², так как такие площади очень хорошо отражают зональные факторы формирования стока.

Также главным условием являлось, то, что Гидрологический пост и Метеорологическая станция наблюдения должны находиться в пределах одного водосбора. Эти условия созданы для получения более точной информации с объектов наблюдения.



Рисунок 4.1 – Расположение Гидрологического поста и Метеорологической станции на водосборе р. Мезень.



Рисунок 4.2 – Расположение Гидрологического поста и Метеорологической станции на водосборе р. Пяку-Пур.

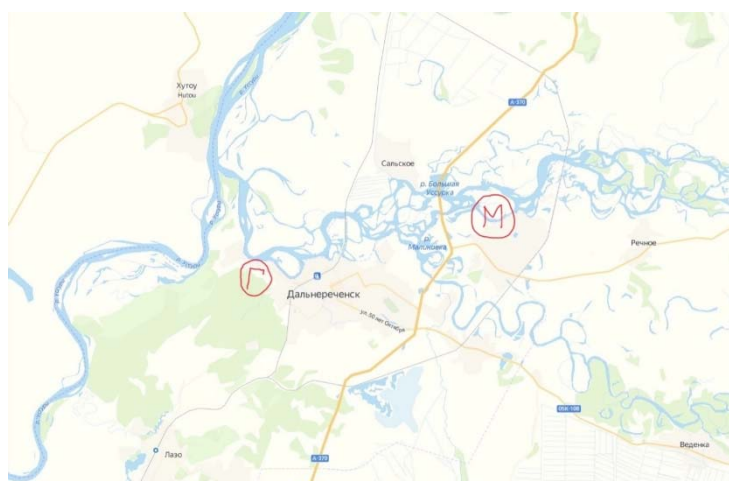


Рисунок 4.3 – Расположение Гидрологического поста и Метеорологической станции на водосборе р. Большая Уссурка.

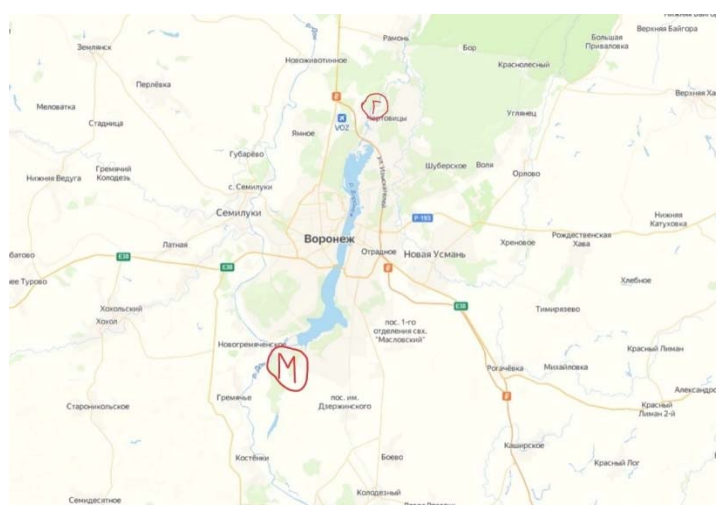


Рисунок 4.4 – Расположение Гидрологического поста и Метеорологической станции на водосборе р. Воронеж

Следующим шагом являлся поиск коэффициента корреляции, этот коэффициент должен быть равен примерно 0,6–0,7, тогда это будет означать, что объект подойдет для дальнейшего исследования.

Коэффициент корреляции мы ищем по рядам, то есть за несколько лет. Для подсчёта этого коэффициента был взят период 2008–2020 гг.

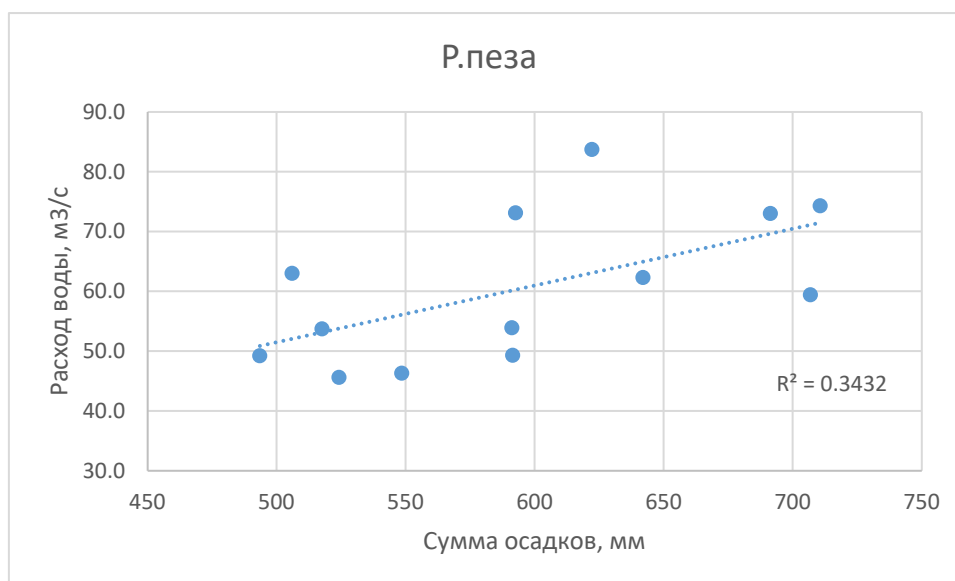


Рисунок 4.5 – Линия связи для Р. Пёза.

На рисунке (4.5) $R^2 = 0,3432$ значит $R=0,59$; следовательно объект подходит для дальнейшей обработки.

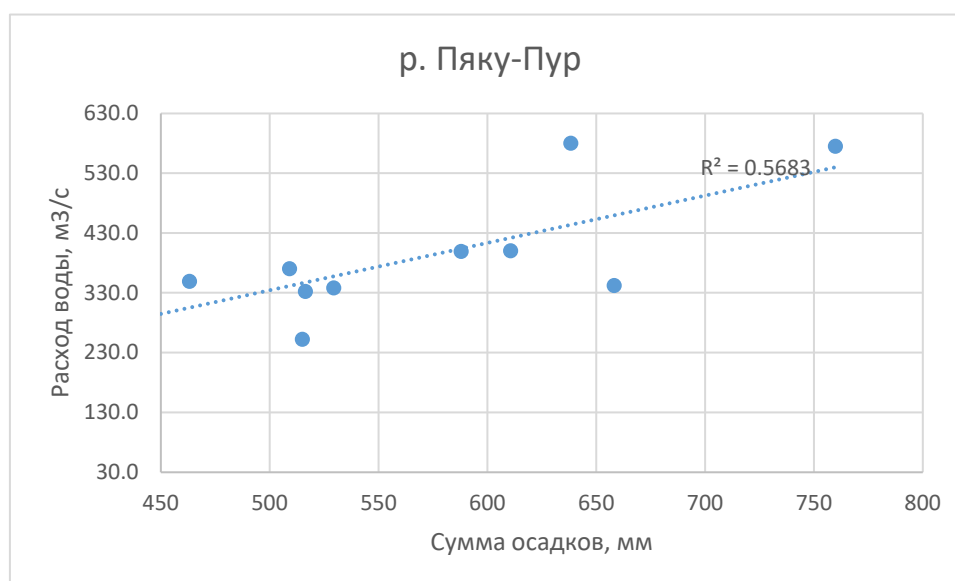


Рисунок 4.6 – Линия связи для р. Пяку-Пур.

На рисунке (4.6) $R^2 = 0,5683$ значит $R=0,75$; следовательно объект подходит для дальнейшей обработки.

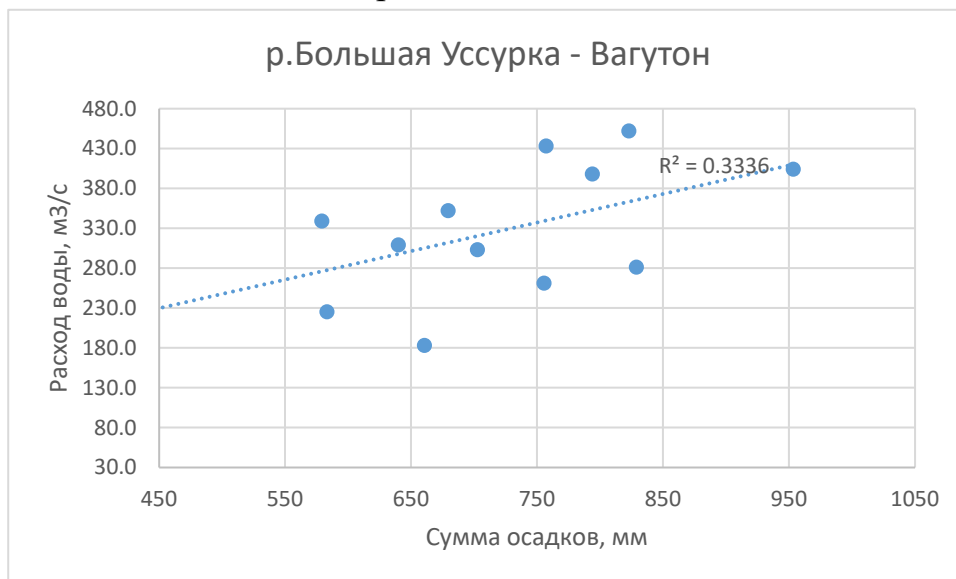


Рисунок 4.7 – Линия связи для р. Большая Уссурка

На рисунке (4.7) $R^2 = 0,3336$ значит $R=0,58$; следовательно объект подходит для дальнейшей обработки.

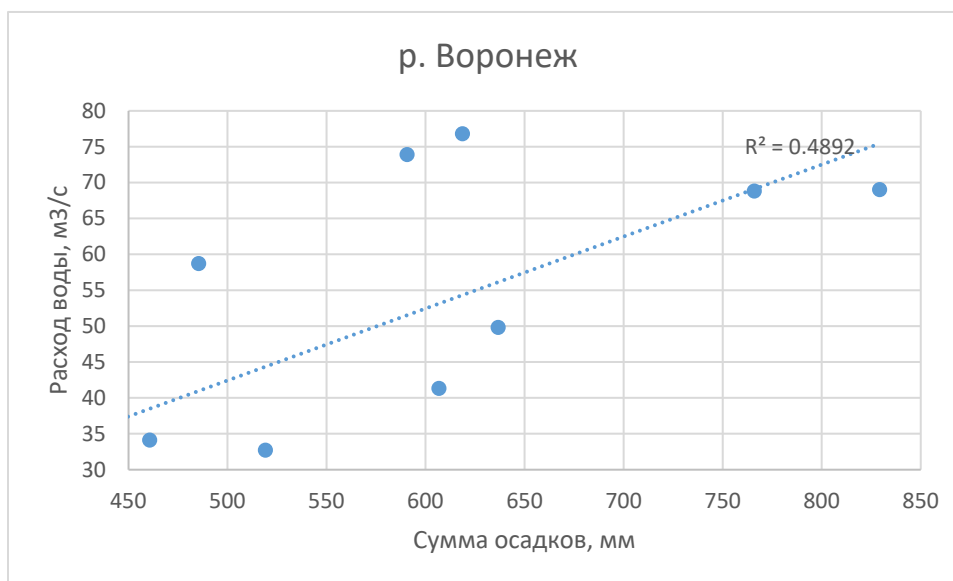


Рисунок 4.8 – Линия связи для р. Воронеж

На рисунке (4.8) $R^2 = 0,4892$ значит $R=0,7$; следовательно объект подходит для дальнейшей обработки.

4.4 Испарение

Испарение – это процесс, посредством которого вода превращается из жидкости в газ или пар.

Испарение является основным путем, по которому вода переходит из жидкого состояния обратно в круговорот воды в природе в виде атмосферного водяного пара. Исследования показали, что океаны, моря, озера и реки обеспечивают почти 90 % влаги в атмосфере за счет испарения, а остальные 10 % приходятся на транспирацию растений.

Для поиска был использован сайт МГЭИК. Запускается сайт CMIP 5, дальше в меню поиска нужно вбить evaporation (испарение), так как официальный язык сайта – Английский, весь поиск осуществляется на Английском. Далее откроется вкладка на которой слева будет меню выбора поиска (рисунок 4.9).

На этой странице	
Главная	О нас
Связаться с нами	Состояние

Проект	+	На этой странице
Продукт	+	Пожалуйста
Институт	+	Загрузка данных
Модель	+	использования
Эксперимент	+	Пожалуйста
Семейство экспериментов	+	выберите модель
Временная частота	+	приложение
Сфера	+	Пожалуйста
Таблица CMIP	+	https://esgf
Ансамбль	+	
Переменная	+	Введите
Длинное имя переменной	+	текст:
Стандартное название CF	+	
Datanode	+	

Ограничен

Рисунок 4.9 – Меню выбора опций для поиска.

Здесь мы можем выбрать критерии поиска для нужной нам статьи.

Например, для статьи про испарение мы возьмем в окошке “Стандартное название CF” – evaporation, выберем в проектах CMIP 5(5 доклад), и выберем временную частоту “mon” – что означает данные за месяц. И нам выдаст всего 6 статей, которые подходят для нашего дальнейшего поиска (Рисунок 4.10)

The screenshot displays the CMIP5 Data Search interface. On the left, a sidebar lists search criteria: Experiment Family, Time Frequency, Realm, CMIP Table, Ensemble, Variable, Variable Long Name, and CF Standard Name. Under 'CF Standard Name', 'evaporation' is selected. The main search area has a text input with 'evaporation' and a search button. Below the search bar, there are checkboxes for 'Show All Replicas', 'Show All Versions', and 'Search Local Node Only'. The search results show a total of 13824 results. The first six results are listed, each with details about the project, model, experiment, time frequency, and data node. The results are numbered 1 through 6.

CMIP5 Data Search | CMIP5 | ESGF-CoG

Enter Text: Search Reset Display 10 results per page [More Search Options]

☐ Show All Replicas ☐ Show All Versions ☐ Search Local Node Only (including All Replicas)

Search Constraints: **evaporation**

Total Number of Results: 13824

Add all displayed results to Data Cart Remove all displayed results from Data Cart

Expert Users: you may display the search URL and return results as XML or return results as JSON

1. project=PMIP3, model=MRI, Meteorological Research Institute, Japan, experiment=Last Glacial Maximum, time_frequency=monClim, cmor_table=Lclim, modeling realm=land, ensemble=r11p1, version=20140428
Data Node: vegs.jpsti.upmc.fr is reported as unavailable. Any existing replica data sets can be seen by selecting 'Show All Replicas'.
Version: 20140428
Total Number of Files (for all variables): 8
Full Dataset Services: [Show Metadata] [List Files] [WGET Script] [Globus Download]
Add to Data Cart
2. project=PMIP3, model=MRI, Meteorological Research Institute, Japan, experiment=Mid-Holocene, time_frequency=monClim, cmor_table=Lclim, modeling realm=land, ensemble=r11p1, version=20140428
Data Node: vegs.jpsti.upmc.fr is reported as unavailable. Any existing replica data sets can be seen by selecting 'Show All Replicas'.
Version: 20140428
Total Number of Files (for all variables): 8
Full Dataset Services: [Show Metadata] [List Files] [WGET Script] [Globus Download]
Add to Data Cart
3. project=PMIP3, model=MRI, Meteorological Research Institute, Japan, experiment=Pre-Industrial Control, time_frequency=monClim, cmor_table=Lclim, modeling realm=land, ensemble=r11p1, version=20140428
Data Node: vegs.jpsti.upmc.fr is reported as unavailable. Any existing replica data sets can be seen by selecting 'Show All Replicas'.
Version: 20140428
Total Number of Files (for all variables): 9
Full Dataset Services: [Show Metadata] [List Files] [WGET Script] [Globus Download]
Add to Data Cart
4. project=PMIP3, model=LASG-CES, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, experiment=Mid-Holocene, time_frequency=monClim, cmor_table=Lclim, modeling realm=land, ensemble=r11p1, version=20140428
Data Node: vegs.jpsti.upmc.fr is reported as unavailable. Any existing replica data sets can be seen by selecting 'Show All Replicas'.
Version: 20140428
Total Number of Files (for all variables): 9
Full Dataset Services: [Show Metadata] [List Files] [WGET Script] [Globus Download]
Add to Data Cart
5. project=PMIP3, model=LASG-CES, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, experiment=Last Glacial Maximum, time_frequency=monClim, cmor_table=Lclim, modeling realm=land, ensemble=r11p1, version=20140428
Data Node: vegs.jpsti.upmc.fr is reported as unavailable. Any existing replica data sets can be seen by selecting 'Show All Replicas'.
Version: 20140428
Total Number of Files (for all variables): 9
Full Dataset Services: [Show Metadata] [List Files] [WGET Script] [Globus Download]
Add to Data Cart
6. project=CMIP5, model=National Institute of Meteorological Research, HadGEM2-AO, experiment=RCP6, time_frequency=mon, modeling realm=land, ensemble=r11p1, version=20130815
Description: HadGEM2-AO model output prepared for CMIP5 RCP6
Data Node: aims3.lini.gov
Version: 20130815
Total Number of Files (for all variables): 14
Full Dataset Services: [Show Metadata] [List Files] [WGET Script] [LAS] [Globus Download]

Рисунок 4.10 – Статьи, подходящие для поиска.

Рассмотрим несколько сценариев повышения CO₂ в атмосфере, на 2,6%; 4,5%; 8,5%. Берём модель Института Макса Планка (Метеорологический институт) – один из лучших, по прогнозам метеорологических элементов. Берём сценарий развития событий с 2025 по 2055гг. Далее для этих годов берём данные по испарению и осадкам по 3 различным сценариям, и смотрим как менялся сток.

Таблица 4.4.1 – Испарение про повышении CO₂ на 2,6%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	329	339	486	719
2026	354	322	505	802
2027	338	367	602	726
2028	387	465	533	715
2029	398	387	699	717
2030	371	366	649	711
2031	424	372	552	745
2032	397	431	615	613
2033	357	336	548	745
2034	413	395	658	726
2035	344	420	733	613
2036	389	301	610	778
2037	373	337	764	608
2038	343	437	639	629
2039	368	449	635	748
2040	386	389	529	635
2041	377	503	606	693
2042	342	440	578	626
2043	310	382	770	568
2044	423	354	708	705
2045	385	361	612	789
2046	366	350	630	626
2047	319	383	515	740
2048	347	303	469	715
2049	383	445	611	574
2050	401	425	511	548
2051	338	333	632	628
2052	355	427	620	665
2053	396	435	518	651
2054	373	325	574	759
2055	301	318	573	735

Таблица 4.4.2 – Испарение про повышение CO₂ на 4,5%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	387	376	616	813
2026	364	366	673	686
2027	384	340	611	745
2028	325	305	568	679
2029	402	366	591	767
2030	336	366	562	630
2031	368	421	619	703
2032	404	450	544	498
2033	379	426	707	683
2034	350	329	652	561
2035	353	409	705	743
2036	431	353	681	649
2037	392	425	657	686
2038	345	391	487	721
2039	334	396	629	749
2040	337	360	634	662
2041	381	412	682	657
2042	356	366	659	806
2043	378	382	623	700
2044	334	321	610	642
2045	391	305	472	736
2046	419	355	645	798
2047	414	416	571	847
2048	380	421	637	828
2049	363	418	555	811
2050	323	348	549	676
2051	364	353	622	688
2052	381	382	539	694
2053	363	406	608	761
2054	427	448	501	645
2055	392	367	668	739

Таблица 4.4.3 – Испарение про повышение CO₂ на 8,5%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	366	474	615	633
2026	378	417	558	679
2027	447	373	691	589
2028	366	347	685	671
2029	362	344	591	634
2030	365	320	642	662
2031	378	422	580	641
2032	445	509	555	612
2033	428	415	591	711
2034	391	412	658	738
2035	332	420	501	711
2036	334	291	587	712
2037	347	362	540	505
2038	425	436	621	794
2039	360	358	612	655
2040	340	351	707	683
2041	397	301	650	804
2042	386	389	509	709
2043	325	309	516	725
2044	433	413	542	670
2045	372	457	621	636
2046	368	484	610	618
2047	348	388	549	633
2048	362	283	702	796
2049	311	341	675	772
2050	366	419	706	809
2051	380	368	674	682
2052	344	394	759	719
2053	358	379	708	619
2054	414	408	795	753
2055	362	359	804	785

В таблицах 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 представлены данные по испарению с 4 водных объектов взятых ранее для исследования, это сценарии развития событий с 2025 по 2055 гг. Далее для подсчета стока, мы возьмем данные по осадкам из сценариев по 2025-2055 гг.

4.5 Сценарии количества осадков

Таблица 4.5.1 – Сценарий количества осадков при повышении CO₂ на 2,6%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	652	620	716	723
2026	624	551	750	1111
2027	841	718	705	907
2028	674	530	859	785
2029	691	630	972	870
2030	825	692	797	869
2031	906	502	814	817
2032	656	701	790	699
2033	670	668	852	847
2034	784	659	830	647
2035	878	773	849	666
2036	917	697	727	770
2037	606	575	928	1058
2038	591	639	927	977
2039	709	617	621	711
2040	822	601	668	674
2041	851	769	664	664
2042	606	485	873	928
2043	530	731	1041	966
2044	802	650	873	757
2045	598	477	781	840
2046	782	637	676	785
2047	822	681	610	766
2048	856	621	834	836
2049	846	676	728	903
2050	838	668	830	859
2051	733	673	735	521
2052	631	740	884	739
2053	733	693	906	677
2054	688	528	842	758
2055	429	684	802	705

Таблица 4.5.2 – Сценарий количества осадков при повышении CO₂ на 4,5%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	732	649	828	715
2026	726	693	1057	691
2027	702	625	695	828
2028	792	752	881	790
2029	798	672	820	771
2030	596	504	896	946
2031	567	525	942	992
2032	745	707	1005	958
2033	801	781	979	599
2034	809	654	909	839
2035	927	658	785	806
2036	724	673	817	1002
2037	747	678	844	701
2038	791	711	837	836
2039	786	717	990	820
2040	722	676	1021	817
2041	878	710	870	840
2042	814	724	995	785
2043	914	778	882	689
2044	682	819	939	1116
2045	672	753	873	750
2046	707	615	1065	1026
2047	848	685	758	875
2048	812	608	754	608
2049	786	632	844	817
2050	901	861	913	806
2051	846	729	782	987
2052	683	695	1098	1005
2053	793	827	673	844
2054	716	678	811	899
2055	790	740	929	771

Таблица 4.5.3 – Сценарий количества осадков при повышении CO₂ на 8,5%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	726	779	746	822
2026	765	764	916	726
2027	876	718	1037	657
2028	656	570	1323	792
2029	835	652	915	740
2030	734	747	834	859
2031	804	877	586	597
2032	922	680	808	681
2033	702	652	841	722
2034	685	725	715	814
2035	808	705	871	730
2036	550	595	752	1021
2037	765	734	805	734
2038	961	654	897	642
2039	840	708	895	714
2040	596	707	1138	914
2041	785	576	664	891
2042	830	510	730	718
2043	558	744	682	883
2044	718	795	946	788
2045	856	701	842	664
2046	736	577	730	730
2047	604	586	734	861
2048	782	677	835	679
2049	557	739	912	941
2050	667	828	715	785
2051	698	638	1092	836
2052	672	713	985	684
2053	613	641	937	841
2054	926	774	1088	855
2055	688	501	948	924

4.6 Расчеты

По формуле водного баланса $X=E+Q$ считаем Q , вычитая из количества осадков испарение.

Таблица 4.6.1 – Количество стока в сценарии повышения CO₂ на 2,6%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	323	281	231	4
2026	271	230	245	308
2027	503	351	104	181
2028	288	66	326	70
2029	293	243	273	153
2030	454	326	148	158
2031	482	130	262	72
2032	258	271	175	85
2033	312	332	304	103
2034	371	264	172	-79
2035	534	353	116	52
2036	527	396	117	-8
2037	232	238	164	451
2038	248	202	288	349
2039	341	168	-14	-37
2040	435	212	139	39
2041	474	266	58	-29
2042	265	45	295	303
2043	220	349	272	398
2044	379	296	165	52
2045	214	117	168	50
2046	416	287	46	159
2047	503	298	94	26
2048	509	318	365	122
2049	463	232	116	329
2050	437	243	319	312
2051	395	340	103	-107
2052	276	313	264	74
2053	337	258	389	26
2054	315	202	268	0
2055	128	366	229	-30

Таблица 4.6.2 – количество стока в сценарии повышения CO₂ на 4,5%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	345	272	211	-98
2026	362	327	384	5
2027	319	285	84	83
2028	467	447	313	111
2029	396	305	229	4
2030	259	138	333	316
2031	199	104	322	290
2032	341	257	461	460
2033	423	355	272	-84
2034	459	325	257	278
2035	573	249	80	64
2036	293	320	136	353
2037	355	253	187	14
2038	446	320	350	115
2039	452	321	361	71
2040	385	316	387	155
2041	497	298	188	184
2042	458	358	336	-21
2043	536	396	258	-11
2044	348	498	329	474
2045	281	447	401	13
2046	288	260	419	228
2047	433	269	186	28
2048	432	187	117	-219
2049	424	214	289	6
2050	578	513	364	130
2051	483	376	160	299
2052	302	313	559	310
2053	430	422	64	83
2054	289	230	310	254
2055	399	373	262	32

Таблица 4.6.3 – количество стока в сценарии повышения CO₂ на 8,5%

год	р. Пёза	р. Пякупур	р. Большая Уссурка	Р. Воронеж
2025	360	306	131	189
2026	388	347	358	47
2027	429	346	346	68
2028	290	223	637	121
2029	473	308	324	107
2030	369	427	192	197
2031	426	455	6	-44
2032	477	171	254	69
2033	274	237	250	11
2034	294	313	57	76
2035	476	285	370	19
2036	215	304	165	309
2037	418	371	265	230
2038	536	218	276	-152
2039	479	350	283	59
2040	256	356	431	231
2041	388	275	14	88
2042	444	121	221	9
2043	233	435	166	158
2044	286	382	403	118
2045	483	244	221	29
2046	368	93	120	112
2047	255	198	185	227
2048	420	394	133	-117
2049	247	398	236	169
2050	301	409	9	-24
2051	318	270	418	154
2052	328	320	226	-36
2053	255	263	229	222
2054	512	366	293	102
2055	326	142	144	138

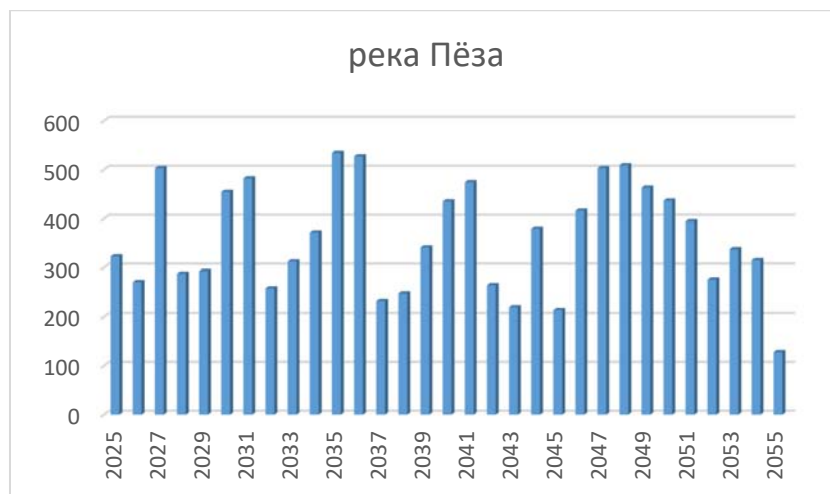


Рисунок 4.6.1 – количество стока при повышении CO₂ на 2,6%.

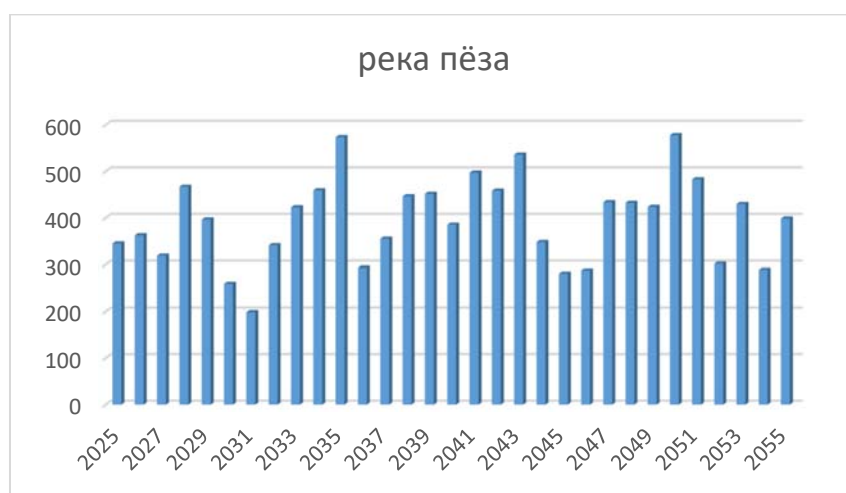


Рисунок 4.6.2 – количество стока при повышении CO₂ на 4,5%.

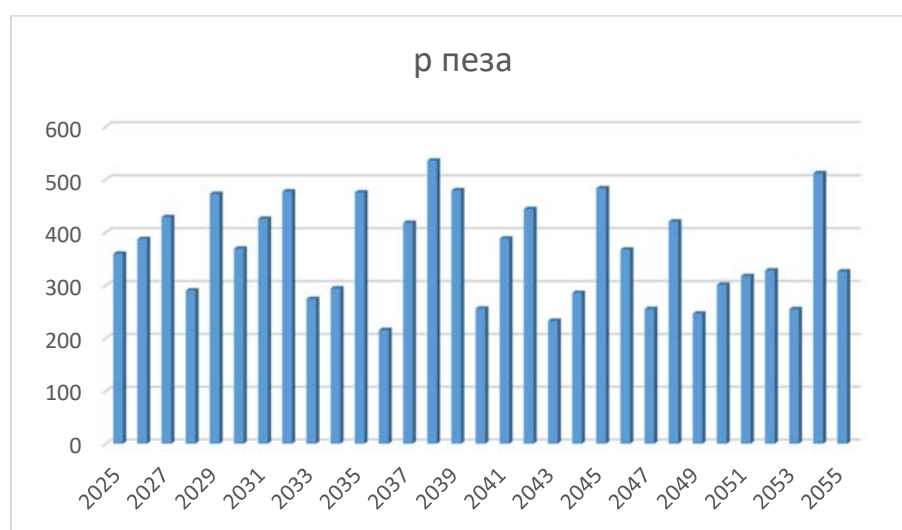


Рисунок 4.6.3 – количество стока при повышении CO₂ на 8,5%.



Рисунок 4.6.4 – количество стока при повышении CO₂ на 2,6%.



Рисунок 4.6.5 – количество стока при повышении CO₂ на 4,5%.



Рисунок 4.6.6 – количество стока при повышении CO₂ на 8,5%.



Рисунок 4.6.7 – количество стока при повышении CO₂ на 2,6%.



Рисунок 4.6.8 – количество стока при повышении CO₂ на 4,5%.



Рисунок 4.6.9 – количество стока при повышении CO₂ на 8,5%.



Рисунок 4.6.10 – количество стока при повышении CO₂ на 2,6%.



Рисунок 4.6.11 – количество стока при повышении CO₂ на 4,5%.



Рисунок 4.6.12 – количество стока при повышении CO₂ на 8,5%.

5 Выводы

На реке Пеза мы наблюдаем повышение количества стока только при повышении CO_2 на 4,5% при взятых средних значениях.

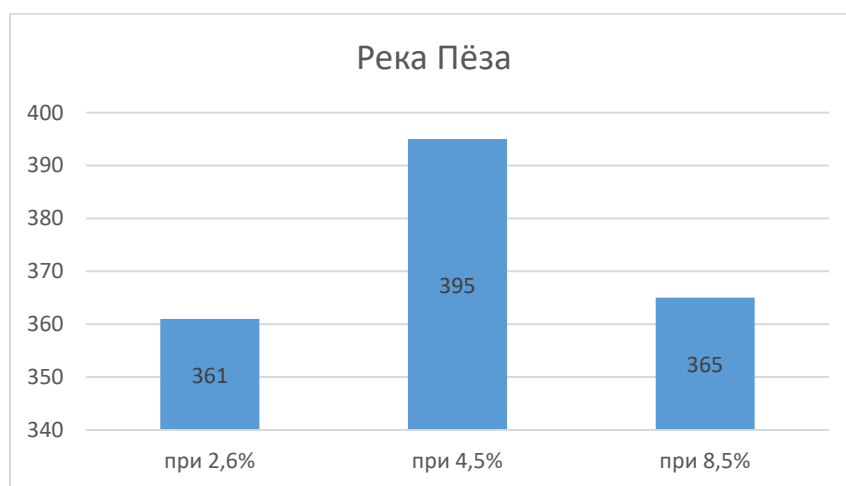


Рисунок 5.1 – средние значения стока на реке Пеза, мм.

На реке Пякупур мы наблюдаем изменения стока только после повышения CO_2 на 4,5% и 8,5% примерно на 40-50 мм.

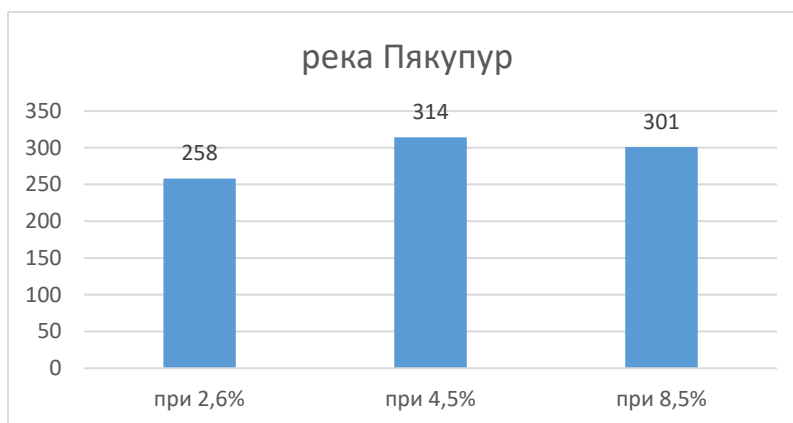


Рисунок 5.2 – средние значения стока на реке Пякупур, мм.

На реке Большая Уссурка мы видим увеличение стока на 70-80 мм. при повышении CO_2 на 4,5% в атмосфере, а затем небольшое уменьшение на 30-40 мм. при увеличении CO_2 на 8,5%.

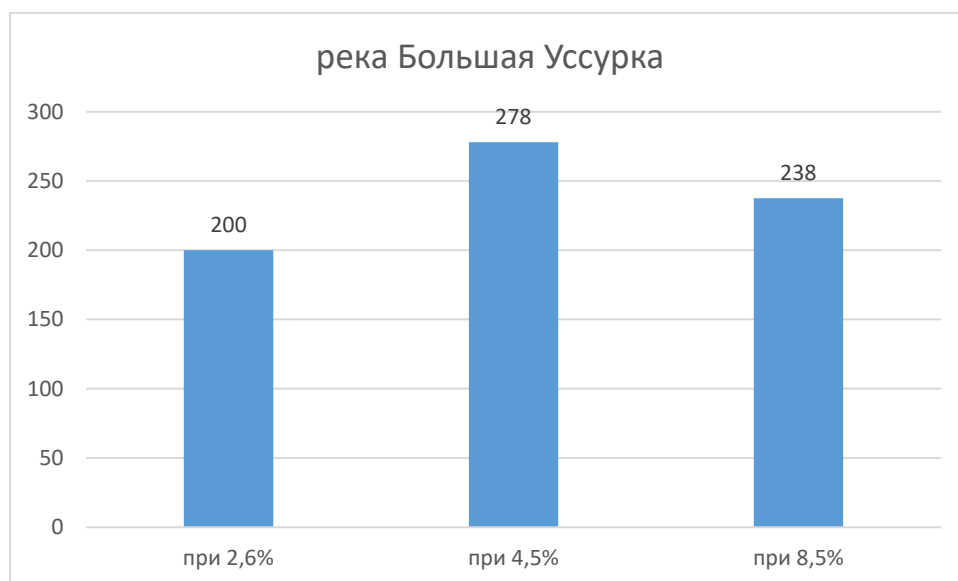


Рисунок 5.3 – средние значения стока на реке Большая Уссурка, мм.

На реке Воронеж мы наблюдаем небольшое увеличение стока на 10-20 мм. при CO_2 увеличенное на 4,5%, но при этом в сценарии при 8,5% увеличение выбросов CO_2 в атмосферу количество стока уменьшится на 20-30 мм.

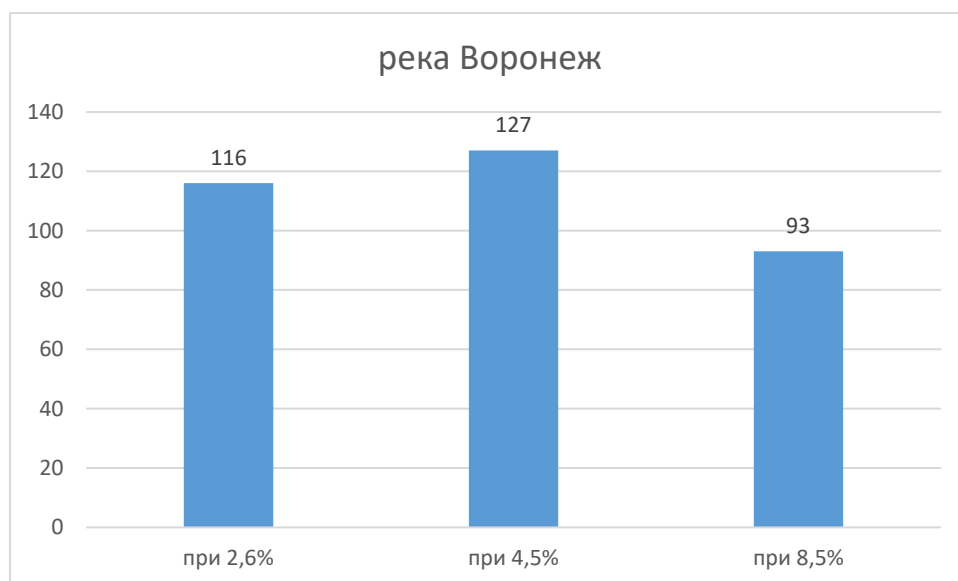


Рисунок 5.4 – средние значения стока на реке Большая Уссурка, мм.

Мы можем наблюдать на всех выбранных объектах увеличение стока при повышении выбросов CO_2 в атмосферу на 4,5%, а также и при 8,5%, но уже менее значительное, относительно стока при выбросах CO_2 в атмосферу на 2,6%. Но есть исключение, на реке Воронеж, которая находится на юге центральной России, при увеличении выбросов CO_2 в атмосферу при 8,5% количество стока уменьшиться на 20-30 мм относительно среднего значения стока при сценариях повышения CO_2 в атмосфере на 2,6% и 4,5%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Руководящий документ РД 52.08.915-2021. Обработка и обобщение данных наблюдений за стоком воды на реках и каналах при подготовке справочных изданий Водного Кадастра – Санкт-Петербург ФГБУ «ГГИ» 2022 г.

2 Река Пеза [электронный ресурс] – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пеза> (дата обращения 07.05.2023)

3 Река Пякипур [электронный ресурс] – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пякипур> (дата обращения 07.05.2023)

4 Река Большая Уссурка [электронный ресурс] – https://ru.wikipedia.org/wiki/Большая_Уссурка (дата обращения 07.05.2023)

5 Река Воронеж [электронный ресурс] – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Воронеж> (дата обращения 07.05.2023)

6 МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 стр.

7 Караушева, А. В. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод [Текст] / А. В. Караушева. – М. – 176 с.

8 Гайдукова Е. В. Гидрологические прогнозы [Текст] / Е. В. Гайдукова, Н. В. Викторова 92 стр.

9 АИС ГМВО [Электронный ресурс] – URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 01.05.2023-05.06.2023)

10 Метео Ру [Электронный ресурс] – URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения 04.05.2023-08.06.2023)

11 Яндекс.карты [Электронный ресурс] – URL:
<https://yandex.ru/maps/2/saint-petersburg/?ll=30.315635%2C59.938951&z=11>
(дата обращения (01.05.2023-07.06.2023))

12. Карасев И.Ф. Математические модели гидрометрического учета
речного стока. – Труды ГГИ, 1978, вып.256, с.124.