



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

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Гидрологический режим
нижнего течения реки Енисей

Исполнитель Наговская Дарья Игоревна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель д.г.н., профессор
(ученая степень, ученое звание)

Соколова Александра Александровна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«02» июня 2025г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Физико-географическая характеристика бассейна реки Енисей	5
1.1. Общая характеристика бассейна	5
1.2. Геологическое строение и рельеф бассейна реки Енисей	7
1.3. Гидрографическая характеристика реки Енисей.....	9
1.4. Климатические условия бассейна реки Енисей.	14
1.5. Почвенно-растительный покров и ландшафты бассейна р. Енисей. ..	32
1.6 Выводы по 1 главе.	34
Глава 2. Особенности гидрологического режима реки Енисей в нижнем течении.....	36
2.1 Водный режим	36
2.2 Ледовый режим	45
2.3 Режим твердого стока.....	59
Заключение	62
Список использованной литературы	64
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	67
Приложение 1	67
Приложение 2	76
Приложение 3	77

Введение

Актуальность исследования

Изучение гидрологического режима нижнего течения реки Енисей приобретает особую значимость в условиях изменения климата и антропогенного воздействия на водные экосистемы. Нижнее течение Енисея — один из крупнейших участков водной системы Сибири, оказывающий существенное влияние на формирование водных ресурсов Арктической зоны и состояние водных объектов Красноярского края и Таймырского округа.

С момента строительства Саяно-Шушенской ГЭС и Красноярской в середине двадцатого века, водный режим реки перенёс существенные трансформации: изменились характеристики стока, сроки ледообразования и вскрытия, уровень паводочной активности. Кроме того, наблюдается смещение гидрологических явлений, таких как межень и половодье, а также нарастание трендов, связанных с потеплением климата в северных широтах.

Учитывая высокое значение Енисея для транспортной инфраструктуры, энергетики, и экологии детальный анализ его современного гидрологического режима и выявление тенденций его изменения являются необходимыми для устойчивого водохозяйственного планирования и принятия управленческих решений. Особенно важным становится прогнозирование изменений в условиях продолжающегося влияния глобальных климатических процессов и локальной зарегулированности стока.

Таким образом, исследование гидрологического режима нижнего течения реки Енисей представляет собой актуальную научную и практическую задачу, направленную на оценку текущего состояния водных ресурсов региона и выявление факторов, определяющих их трансформацию.

Целью настоящей работы является анализ изменений гидрологического режима нижнего течения реки Енисей в условиях климатических и антропогенных воздействий.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- охарактеризовать физико-географические условия бассейна реки Енисей;
- проанализировать особенности водного режима нижнего течения реки Енисей (сезонное распределение стока, межгодовую изменчивость и влияние регулирования стока);
- проанализировать динамику ледового режима на нижнем участке реки Енисей (включая сроки ледообразования, вскрытия и продолжительность ледоставов, а также выявить тренды их изменений во времени);
- охарактеризовать особенности твердого стока (мутность, взвешенные наносы)

Объектом исследования является нижнее течение реки Енисей – участок реки от слияния с рекой Ангарой до устья реки Енисей.

Предметом исследования являются особенности гидрологического режима нижнего течения реки Енисей, включающие водный режим, ледовый режим и режим твёрдого стока. Особое внимание уделяется анализу их многолетней изменчивости, сезонной динамике и влиянию климатических и антропогенных факторов на формирование и трансформацию этих характеристик в период с 1950-2024 гг.

Глава 1. Физико-географическая характеристика бассейна реки Енисей

1.1. Общая характеристика бассейна

Енисей – одна из крупнейших рек России. Его длина от места слияния рек Бий-Хем (Большой Енисей) и Каа-Хем (Малый Енисей) у г. Кызыл до устья составляет 3487 км, от истока р. Бий-Хем – 4092 км. Енисей течет в западном направлении до устья Хемчика, далее на север вплоть до впадения в Карское море. За устье реки принято считать створ мыса Сопочная Карга.

Бассейн р. Енисей расположен в центре Азиатского материка на территории России и Монголии и является одним из крупнейших по площади в России. Общая площадь водосборного бассейна – 2580 тыс. км², из них 328,4 тыс. км² (часть водосбора озера Байкал и истоки Малого Енисея) находятся в пределах Монголии. В границах российской части бассейн р. Енисей, без бассейна р. Ангара – 1564,9 тыс. км² [Глава 1] (рис. 1.)

Устьевая область Енисея относится к территории Российской Арктики, которая более уязвима к процессам климатических изменений. Основным источником питания Енисея служат талые снеговые и дождевые воды, грунтовые воды в питании реки имеют второстепенное значение. В связи с этим водный режим Енисея характеризуется высоким и продолжительным весенне-летним половодьем, устойчивой осенней и низкой зимней меженью [Глава 1.2].

Реку Енисей принято делить на три части (рис. 1):

1. Верхний Енисей – от слияния Большого и Малого Енисея у г. Кызыла до устья р. Тубы (длина 1238 км);
2. Средний Енисей – от устья р. Тубы до устья р. Ангары (длина 717 км);
3. Нижний Енисей – от устья р. Ангары до устья Енисея (длина 2137 км).

Основное внимание в работе уделено нижнему Енисею и устьевой области реки (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема деления реки Енисей на участки

Сравнение средних расходов воды в верхней и нижней частях бассейна р. Енисей в XXI в. показывает проявление синхронных колебаний с интервалом 4–5 лет (рис. 2). Увеличение расхода в нижнем течении очевидно. Река здесь – широкий мощный поток со значительными глубинами. Большой расход воды говорит о более высокой динамике водных и водно-эрозионных процессов, ведущих к возникновению опасных гидрологических ситуаций, изучение которых чрезвычайно актуально в условиях климатического тренда и активного освоения Арктической зоны РФ.

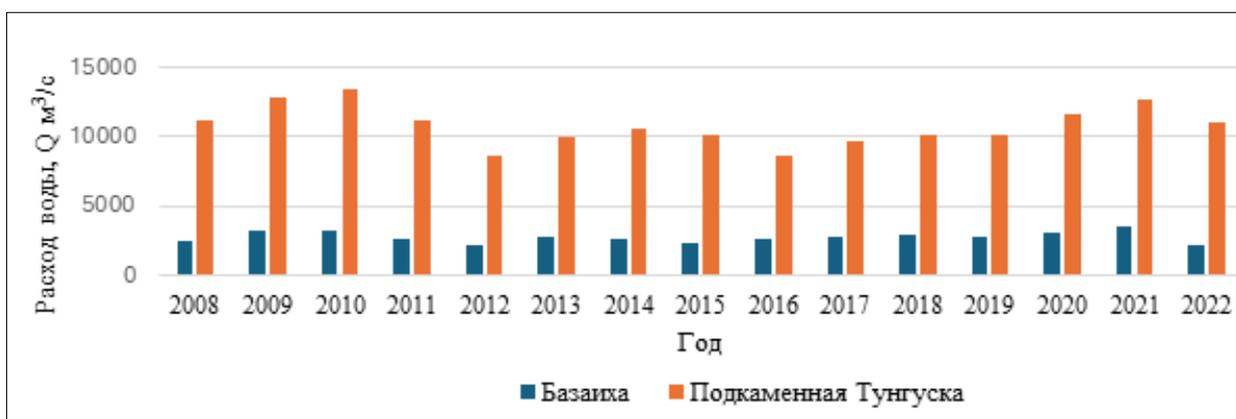


Рисунок 2 – Средние расходы воды верхнего Енисея (гидрологический пост Базайха) и нижнего Енисея (гидрологический пост Подкаменная Тунгуска)
Источник: АИС ГМВО.

1.2. Геологическое строение и рельеф бассейна реки Енисей

Верховья Енисея с бассейнами Большого и Малого Енисея соответствуют областям палеозойской каледонской и герцинской складчатости (Алтае-Саянское нагорье и прилегающие складчатые горные массивы), претерпевшим ряд тектоно-магматических активизаций. Рельеф Алтае-Саянского нагорья сформировался в основном на неотектоническом этапе, а современный облик приобрел в эпоху последнего плейстоценового оледенения [Приложение 1, рис. 2]. Территория сложена метаморфическими породами докембрия и интрузивными породами разного возраста и состава, в котловинах развиты осадочные отложения девона и карбона, в том числе угленосные толщи [Приложение 1, рис. 3].

Долина Енисея в средней части и в начале устьевой области заложена вдоль тектонического уступа, разделяющего докембрийскую Сибирскую платформу (Среднесибирское плоскогорье) и палеозойскую Западно-Сибирскую плиту (Западно-Сибирской равнину). Преобладают отметки высот 500-800 м. На юго-западе возвышается Енисейский кряж, сложенный интрузивными и метаморфическими породами докембрия. Наиболее высокой частью плоскогорья – трапповое плато Путорана с отдельными вершинами высотой до 1400-1700 м. Поверхность плато сильно расчленена долинами рек.

Происхождение многих водотоков Среднесибирского плоскогорья связано с тектоническими движениями. Долины рек, подвергшихся последнему оледенению, слабо разработаны в отличие от рек, где не было ледника, например, на Подкаменной Тунгуске прослеживается около десяти надпойменных террас. На западе массива в долинах рек располагаются глубокие озера (до 100-200 м) – Хантайское, Лама, Кета.

Западно-Сибирская равнина вытянута по левобережью Енисея в виде сравнительно узкой полосы (100-250 км) от северо-западных отрогов Восточного Саяна до берегов Карского моря. На этой территории развиты отложения меловой и неогеновых систем.

В нижней части устьевой области Енисей пересекает эпигерцинскую Хатангскую впадину, соответствующую в рельефе Северо-Сибирской низменности. Она относится к молодым платформам (плитам) и рассматривается как продолжение Западно-Сибирской плиты. Территория сложена преимущественно осадочными отложениями кайнозоя (неогеновая системы и квартал или четвертичная система). Рельеф холмисто-рядовый и холмисто-увалистый с обширными аллювиальными депрессиями и плоскими аккумулятивными равнинами сформирован четвертичными оледенениями и морскими трансгрессиями. Вся низменность пересечена субширотной системой моренных гряд с абсолютными высотами 150-250 м.

1.3. Гидрографическая характеристика реки Енисей

Гидрографическая сеть бассейна Енисея в пределах России включает 198 620 рек общей длиной 884 754 км, 126 364 озера общей площадью 51 835 км². Густота речной сети бассейна Енисея 0,45 км/км².

Основные притоки Енисея в верхнем течении – Туба, Сисим, Дербина, Мана (правые), Хемчик, Абакан (левые). На протяжении первых 188 км Енисей протекает по Тувинской котловине под названием, ниже пересекает Западный Саян. На этом отрезке русло широкопойменное с разветвлениями и песчано-галечными перекатами. Около Красноярска река пересекает отроги Восточного Саяна, и долина приобретает antecedentный характер и имеет облик каньона шириной 1,2–3 км со скальными обрывами - «Красноярскими столбами».

В среднем течении Енисей течёт в спрямленном скальном русле, заложенном вдоль глубинного разлома, разделяющего Сибирскую платформу и Западно-Сибирскую плиту. На этом участке многочисленны шиверы и пороги, в том числе труднопроходимый, Казачинский. Между Атамановским Камнем и устьем реки Ангара в русло вдаются скальные мысы – «быки». Пересекая отроги Енисейского кряжа, река течет в скалистом ущелье шириной около 750 м и глубиной до 60 м. Ниже впадения Подкаменной Тунгуски водность увеличивается; ширина русла достигает 20 км. Русло разделяется на многочисленные протоки, наблюдается пойменная многорукавность, которая затем сменяется многокилометровыми сужениями русла (до 0,7 км), проложенному по ущелью со скальными обрывами («щёками») высотой 30–40 м и глубинами до 35 м. Основные притоки Енисея в среднем течении: Кан, Ангара, Большой Пит, Подкаменная Тунгуска, Нижняя Тунгуска (правые); Дубчес, Елогуй, Турухан (левые). Около посёлка Курейка Енисей пересекает Северный полярный круг.

В нижнем течении русло Енисея меандрирует, достигая ширины 1,5-5 км при глубине 5-40 м. В пределах Северо-Сибирской низменности (ниже

г. Дудинка) наблюдается пойменная многорукавность, острова достигают длины 20 км.

Устье Курейки является началом устьевой области Енисея – самой протяжённой (732 км) в Евразии, до него в периоды низкого стока могут распространяться нагонные колебания уровня (рис. 2). Ниже посёлка Усть-Порт начинается дельта Енисея (площадь 7,5 тыс. км²), ширина русла составляет около 50 км. Оно разветвляется на крупные рукава (Дерябинский Енисей, Охотский Енисей, Большой Енисей, Малый Енисей, Каменный Енисей) и протоки (Лопатная, Судная, Чаяшная, Лебяжья, Турушинская, Васильевская и др.). Затем Енисей вновь собирается в единое русло и широким потоком течёт в Карское море, сужаясь до 7 км в горле Енисейской губы и расширяясь до 40 км в Енисейском заливе. Морская граница устьевой области вследствие сильного опресняющего влияния стока Енисея простирается далеко в Карское море. Основные притоки Енисея в нижнем течении: Курейка, Хантайка (правые); Малая Хета, Большая Хета, Танама (левые) [БРЭ].

Влияние ГЭС на гидрологический режим реки Енисей

1. Саяно-Шушенская гидроэлектростанция – крупнейшая по мощности ГЭС в России, которая расположена на реке Енисей в южной части Красноярского края, недалеко от города Саяногорск. Она входит в Ангаро-Енисейский каскад и является ключевым объектом в единой энергосистеме страны.

Строительство Саяно-Шушенской ГЭС началось в 1963 году [9], а уже в 1978 году был пущен первый гидроагрегат [10]. Завершение строительства и ввод станции в промышленную эксплуатацию состоялись в 1985 году [11].

На Саяно-Шушенской ГЭС сезонное регулирование стока, что позволяет накапливать значительный объем воды в Саяно-Шушенском водохранилище и перераспределять их в течении года. Благодаря этому, обеспечивается стабильность работы энергосистемы, покрытие пиковых нагрузок, кроме

этого, устойчивое водоснабжение и судоходство на нижнем течении Енисея [12].

Можно сделать вывод, что Саяно-Шушенская ГЭС выполняет энергетическую и регулирующую функцию, оказывая влияние на гидрологический режим.

2. Майнская гидроэлектростанция на реке Енисей в Республике Хакасия, ниже по течению от Саяно-Шушенской ГЭС, и является составной частью единого гидроузла, работающего в каскаде. Майнская ГЭС служит для использования энергетического потенциала сбросных расходов Саяно-Шушенской ГЭС и выравнивает её неравномерный режим работы.

Строительство Майнской ГЭС началось в 1979 году [13]. Первый гидроагрегат был введён в эксплуатацию в 1985 году [14], а окончательное открытие станции и выход на проектную мощность состоялось в 1987 году [15].

На Майнской ГЭС суточное и частично недельное регулирование, позволяющее сглаживать колебания стока, которые возникают в результате пикового режима работы Саяно-Шушенской ГЭС. Это обеспечивает более равномерный режим течения Енисея на участке ниже по течению, улучшает условия для судоходства и предотвращает резкие колебания уровней воды [16].

Можно сделать вывод, что Майнская ГЭС выполняет вспомогательную роль в работе Енисейского каскада.

3. Красноярская гидроэлектростанция является одной из крупнейших в России и играет ключевую роль в регулировании стока реки Енисей. Она была построена в районе посёлка Дивногорск, в 40 км от города Красноярск.

Строительство Красноярской ГЭС началось в 1956 году [17], а в 1961 году был введён в эксплуатацию первый гидроагрегат [18]. Дальше строительство продолжалось, и к 1972 году станция была полностью готова и официально введена в эксплуатацию [19].

На Красноярской ГЭС многолетний тип регулирования стока, что позволяет аккумулировать значительные объёмы воды в Красноярском водохранилище. Такой тип регулирования обеспечивает межгодовых и сезонных колебаний речного стока. В следствии этого, обеспечивается стабильная подача воды в нижнее течение Енисея в засушливые периоды, улучшенные условия для водоснабжения и судоходства, а также эффективное покрытие энергетических пиков в течении года [20].

Можно сделать вывод, что Красноярская ГЭС – важный энергетический объект и мощный гидротехнический узел, которые оказывает большое влияние на гидрологический режим нижнего течения Енисея.

4. Хантайская гидроэлектростанция расположена на реке Хантайка в Таймырском Долгано-Ненецком районе Красноярского края и является одной из самых северных ГЭС России. Её строительство осуществлялось в суровых условиях Арктики для энергообеспечения Норильского промышленного района.

Строительство Хантайской ГЭС началось в 1963 году [21]. Первый гидроагрегат был введён в эксплуатацию в 1966 году [22], а полное открытие состоялось в 1970 году [23].

На Хантайской ГЭС сезонное регулирование, которое позволяет использовать ресурсы летнего половодья для покрытия энергетических нужд в осенне-зимний период.

Можно сделать вывод, что Хантайская ГЭС имеет стратегическое значение для развития Арктической зоны и промышленной инфраструктуры северо-восточной части Красноярского края.

5. Курейская гидроэлектростанция расположена на реке Курейка, на левом притоке Енисея. Она является первой крупной ГЭС, построенной в условиях вечной мерзлоты и удалённой северной территории.

Строительство Курейской ГЭС началось в 1975 году [24]. Реализация проекта продвигалась медленно. Первый гидроагрегат был введён в

эксплуатацию в 2002 году [25], а завершение строительства и ввод последнего агрегата состоялось в 2007 году [26].

На Курейской ГЭС сезонное регулирование, которое позволяет аккумулировать весенне-летний сток и использовать его в осенне-зимний период. Такой режим важен для обеспечения стабильного энергоснабжения изолированных северных территорий [27].

Можно сделать вывод, что Курейская ГЭС выполняет функции генерации электроэнергии и стратегически важную роль в энергообеспечении труднодоступных районов Сибири.

6. Богучанская гидроэлектростанция – одна из крупнейших ГЭС России, расположенная на реке Ангара в Красноярском крае, выше по течению от города Кодинск.

Фактическое строительство Богучанской ГЭС началось в 1980 году [28]. Однако из-за экономических трудностей в 1990-х годах работы были приостановлены и возобновлены в 2006 году [29]. Первый гидроагрегат был запущен в 2012 году [30], а официальное завершение строительства и ввод в эксплуатацию был в 2015 году, когда была достигнута полная мощность. [31]

На Богучанской ГЭС сезонное регулирование, которое позволяет перераспределять водные ресурсы в течении года, обеспечивая стабильную работу энергосистемы в пиковые периоды потребления. Регулирующее воздействие распространяется на нижние участки Ангары, что способствует увеличению производительности других ГЭС каскада [32].

Можно сделать вывод, что Богучанская ГЭС – важное звено в энергосистеме Восточной Сибири. Она выполняет функции регулирования стока в пределах ангарского узла и обеспечивает значительные объёмы выработки электроэнергии.

1.4. Климатические условия бассейна реки Енисей.

На схеме климатического районирования [Приложение 1, рис. 5] бассейн Енисея отчетливо делится на три климатические области [Приложение 1, рис. 4]:

1. Область умеренного климата: а) Западный и Восточный Саян в пределах Алтае-Саянской области с выраженной высотной поясностью – верхний Енисей; б) континентальная Восточно-Сибирская область – среднее течение Енисея.

2. Область субарктического климата: Сибирская область – часть устьевой области от Полярного круга (около устья Курейки) и до вершины дельты.

3. Область арктического климата: Атлантическая область – дельта Енисея, находящая под ослабевающим влиянием западного переноса.

Для верхнего течения Енисея характерен восточносибирский тип умеренного климата с продолжительной и суровой зимой, значительной годовой амплитудой температур, отчетливо выраженными зимними температурными инверсиями, градиент которых иногда достигает 2-3°C на 100 м. Средние температуры июля в межгорных понижениях составляют 17-21°C, на высоте 1000-1200 м – 14-16°C, в высокогорной зоне – 6-8°C, с заморозками и летними снегопадами. Характерны также большие различия в режиме увлажнения. Максимальное количество осадков получают северные склоны хребтов Западного Саяна и западные хребты Восточного Саяна, подверженные воздействию западных циклонов [Гвоздецкий, Михайлов, 1978]. На высоте 1000-2000 м выпадает в среднем 700-800 мм/год осадков, местами до 1000-1200 мм. Засушливые межгорные котловины (Минусинская, Усинская, Мондинская, Убсу-Нурская) расположены в «дождевой тени» и получают 250-300 мм осадков в год при сравнительно высоких летних температурах.

Климат остальной части территории речного бассейна формируется в условиях преобладания холодных и сухих континентальных воздушных масс. Это области субарктического и арктического умеренно- т резко-

континентального климата, некоторое смягчение которого прослеживается только в северной части на побережье Карского моря. Зимой большая часть территории находится под влиянием отрога Азиатского антициклона. Годовая температура воздуха составляет на севере Таймыра от -11 до -15°C , а в нижнем течении Енисея (Дудинка) от -10 до -12°C [Приложение 1, рис. 5]. Январь на $6-14^{\circ}\text{C}$ холоднее, чем в среднем на соответствующих широтах. Положительные значения годовой температуры около 1°C характерны только для крайних южных районов: (Красноярск) и Минусинской котловины.

Погода с сильными морозами, обилием безветренных дней и небольшим количеством осадков способствует значительному промерзанию грунтов, образованию многолетней мерзлоты значительной мощности.

Летом преобладает пониженное атмосферное давление, температуры воздуха достигают наибольших величин для этих широт: даже севернее 70° с.ш. местами средняя температура июля $11-12^{\circ}\text{C}$. Верхние горизонты многолетнемерзлых пород при этом оттаивают на глубину от нескольких сантиметров на крайнем севере до нескольких метров вблизи южного предела распространения многолетней мерзлоты.

В северной части бассейна продолжительность теплого периода очень короткая - всего 3-4 месяца, весна и осень – холодные и, только в июле, среднемесячная температура воздуха при максимальной продолжительности светлого времени суток повышается до $12-16^{\circ}\text{C}$. В среднем и верхнем течении Енисея, в центральных и южных районах территории теплый период продолжается с середины апреля до середины октября, но переходные сезоны – весна и осень – по-прежнему короткие и холодные, только в июле в межгорных степных котловинах температура воздуха в среднем составляет $17-19^{\circ}\text{C}$.

Максимум осадков, на большей части территории речного бассейна, приходится на июль. В нижнем и среднем течении Енисея и в долине Ангары максимум наблюдается в августе. В месяцы максимума осадков (июль-август)

их количество колеблется по территории в широких пределах, достигая в горных районах 140-180 мм.

Даты выпадения первого снега, как правило, близки к осенней дате перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C. Через 1-2 недели, местами только через 20-25 дней, формируется устойчивый снежный покров: в середине-конце сентября на побережьях морей, во второй-третьей декаде октября – в таежной и лесостепной зонах, в первой половине ноября – в Минусинской котловине, в первой декаде ноября – в Тувинской котловине. В горах на каждые 100 м высоты начало формирования устойчивого снежного покрова смещается на 4-5 суток ранее нижележащих участков.

Разрушение устойчивого снежного покрова протекает в более сжатые сроки, чем его образование: в третьей декаде марта на степных участках Минусинской котловины, в нижнем течении Енисея – в первой-второй декаде мая, на побережьях морей – в конце июня. Обычно через неделю-две отмечается окончательный сход снега. Сжатые сроки разрушения снежного покрова определяют значительный поверхностный сток по промерзшей поверхности почвогрунтов.

Для рассматриваемого нижнего течения реки Енисей был построен хронологический график изменения температуры воздуха за период с 1950 по 2024 гг. по четырём метеостанциям: Дудинка, Игарка, Верхнеимбатск, Енисейск.

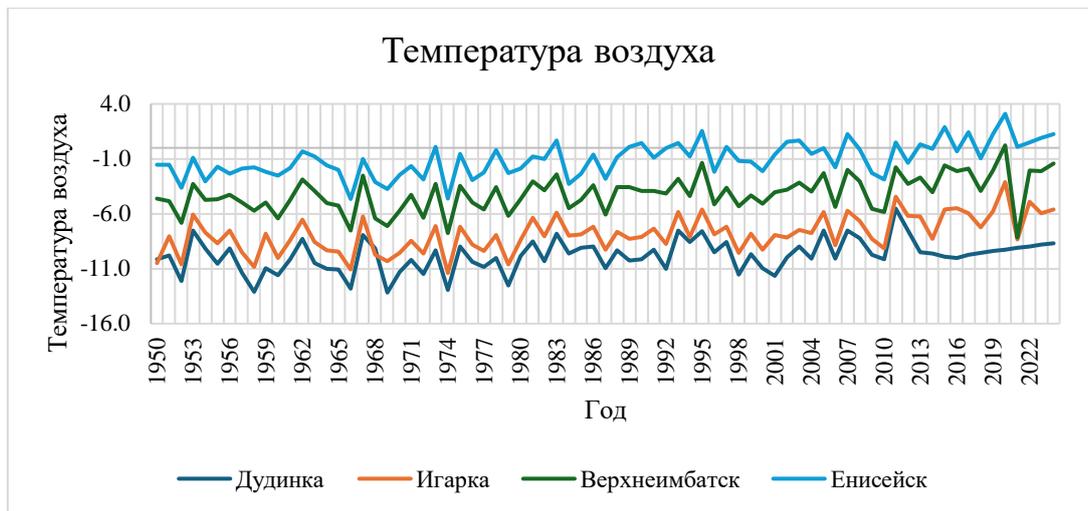


Рисунок 3 – Хронологический график температуры воздуха р. Енисей –п. Дудинка, Игарка, Верхнеимбатск, Подкаменная Тунгуска

На рисунке 3 видно, что характер колебаний температуры воздуха по всему нижнему течению реки Енисей примерно одинаковый. Но, с начала 90-х годов климат пошел на потепление.

Температура воздуха по месяцам — это важный фактор в ледовом режиме, поэтому ниже будут представлены графики среднемноголетних месячных температур воздуха.

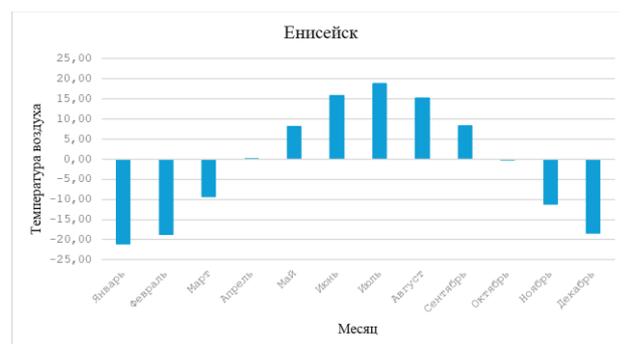
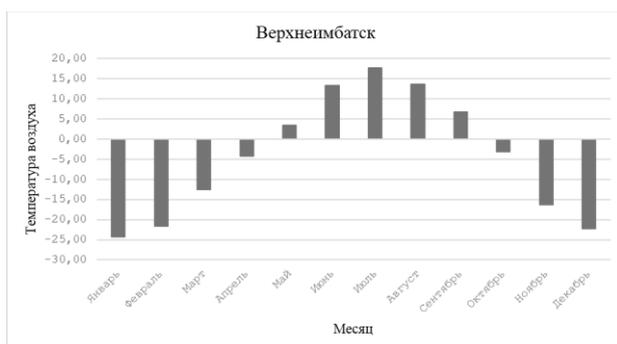
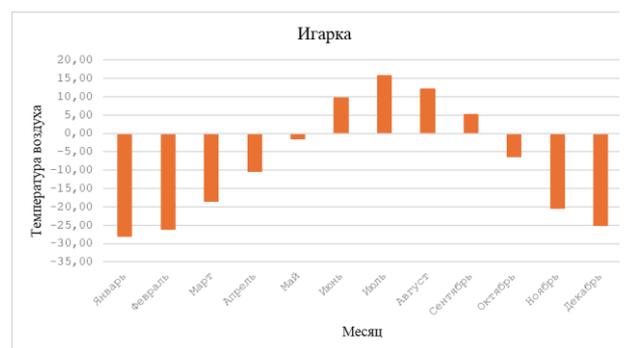
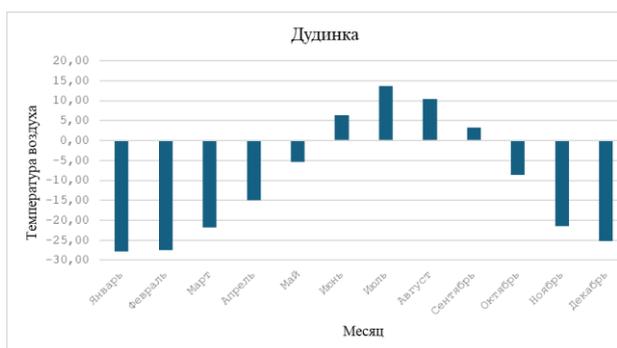


Рисунок 4 – Среднемноголетняя месячная температура воздуха на метеостанциях: Дудинка, Игарка, Верхнеимбатск, Енисейск

На метеостанции Дудинка положительная температура воздуха была – с июня по сентябрь, а отрицательная – с октября по май.

На метеостанции Игарка положительная температура воздуха была – с июня по сентябрь, а отрицательная – с октября по май.

На метеостанции Верхнеимбатск положительная температура воздуха была – с мая по сентябрь, а отрицательная – с октября по апрель.

На метеостанции Енисейск положительная температура воздуха была – с апреля по сентябрь, а отрицательная – с октября по март.

Для оценки значимости линейного тренда и проверки ряда на однородность с помощью критериев Стьюдента и Фишера были построены хронологические графики среднегодовой температуры воздуха за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг., а также совмещенные графики за период с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2024 гг. для выявления характерной точки перелома температуры воздуха. Хронологические графики были построены по четырём метеостанциям: Дудинка, Игарка, Верхнеимбатск и Енисейск.

Для оценки значимости линейного тренда применялись классические статистические формулы.

Тренд считается значимым, если выполняется условие:

$$R/\sigma_R > t_{2\alpha}$$

$t_{2\alpha}$ – стандартное значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$ и числе степеней свободы $(n-2)$;

R – коэффициент корреляции;

σ_R – стандартная ошибка, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{(1 - R^2)/(n - 2)}$$

Проверка рядов на однородность по критериям Стьюдента и Фишера проводилась с использованием анализа данных.

Ряд по критерию Стьюдента считается однородным, если выполняется условие:

$$t_{\text{крит}} > |t|$$

По Фишеру:

$$F_{\text{крит}} > F$$

В таблице 1 представлены результаты проверок.

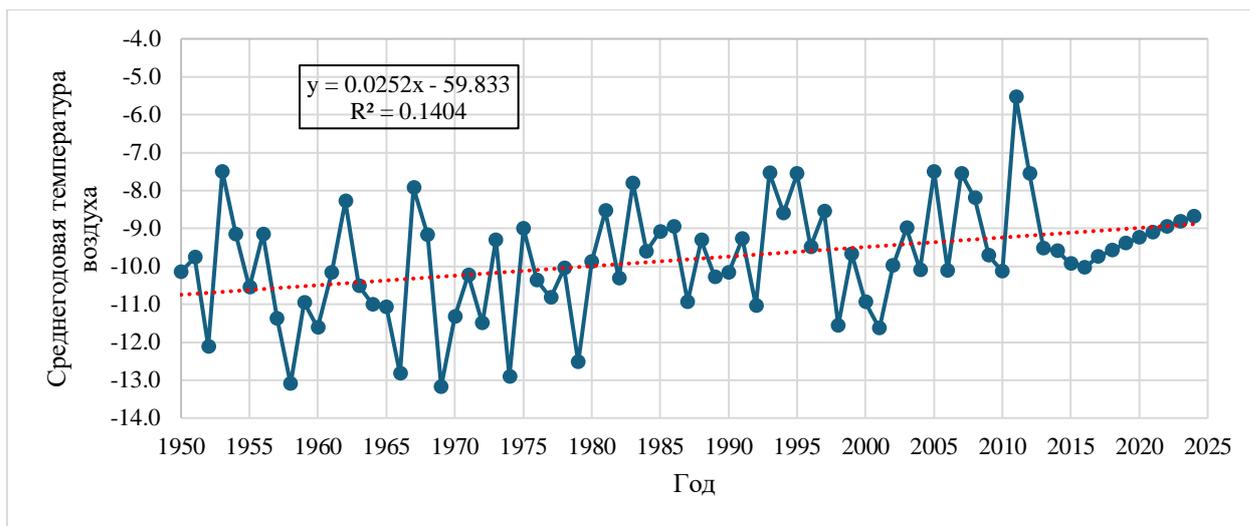


Рисунок 5 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Дудинка

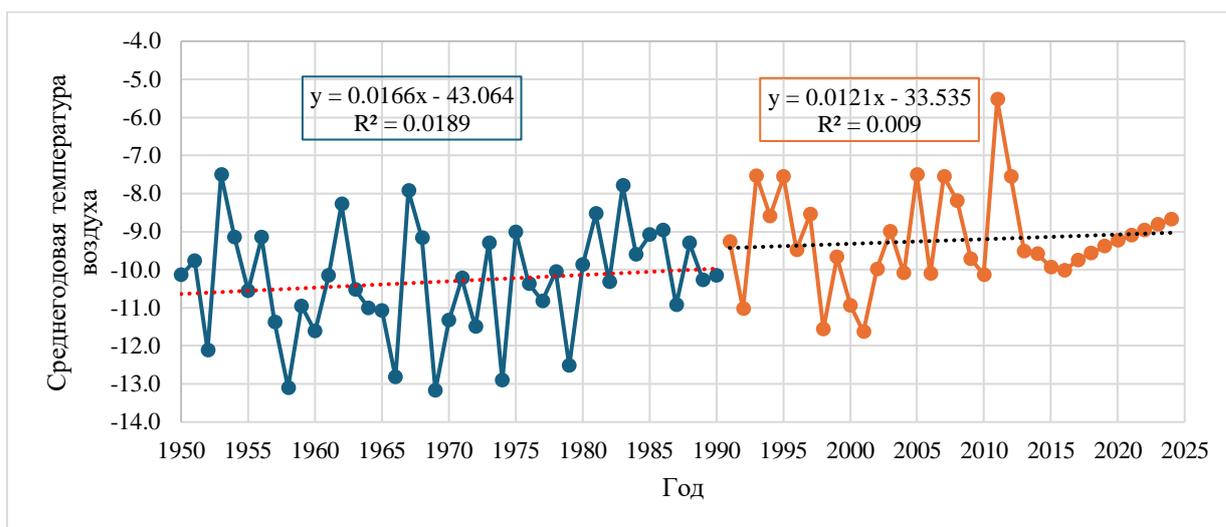


Рисунок 6 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха за период наблюдений с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2024 гг. на метеостанции Дудинка.

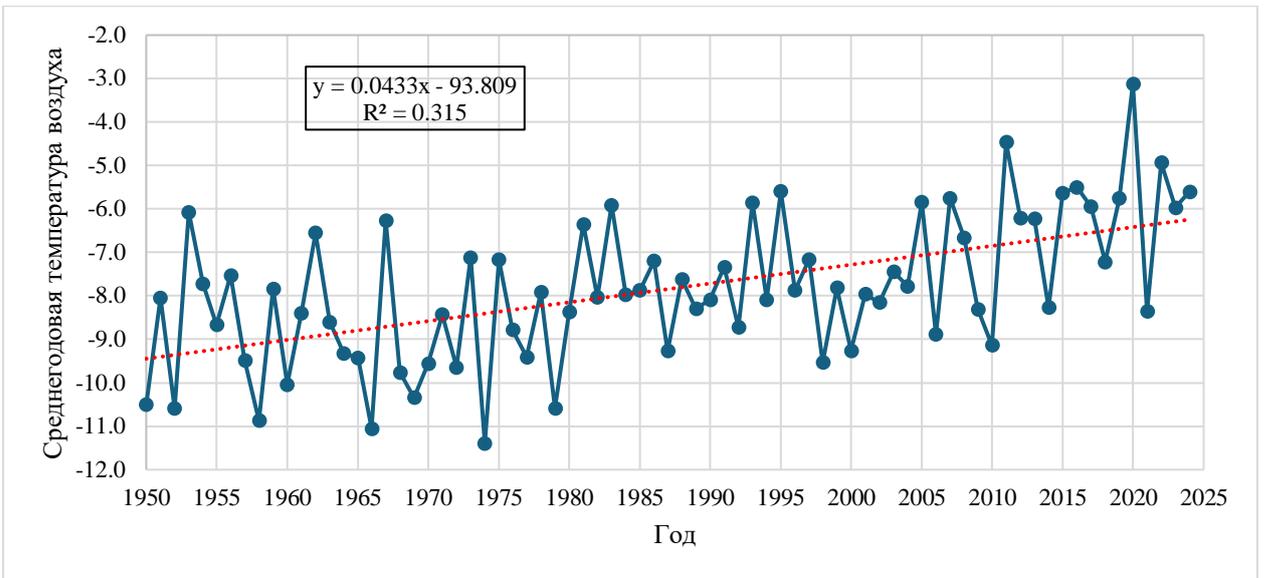


Рисунок 7 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Игарка

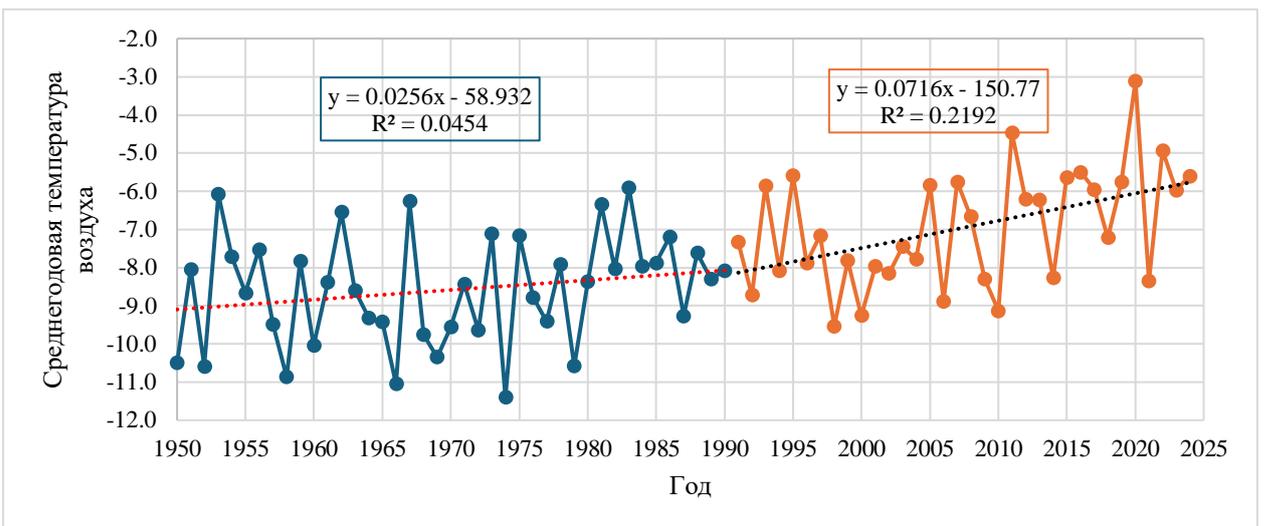


Рисунок 8 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха за период наблюдений с 1950 по 1990 гг и с 1991 по 2024 гг на метеостанции Игарка

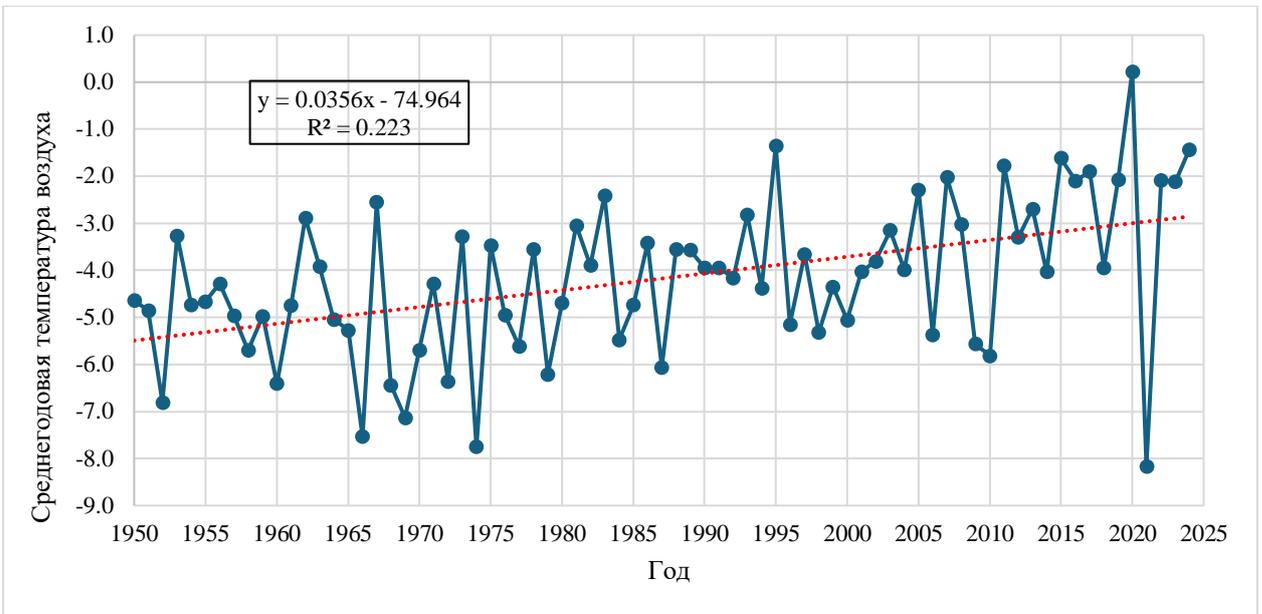


Рисунок 9 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Верхнеимбатск

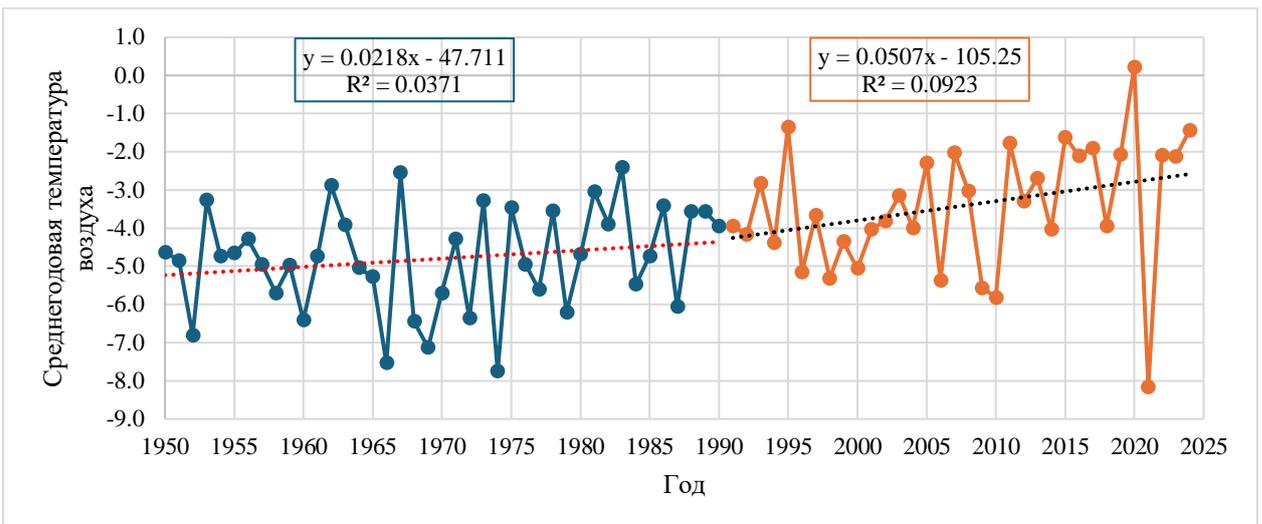


Рисунок 10 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха за период наблюдений с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2024 гг. на метеостанции Верхнеимбатск

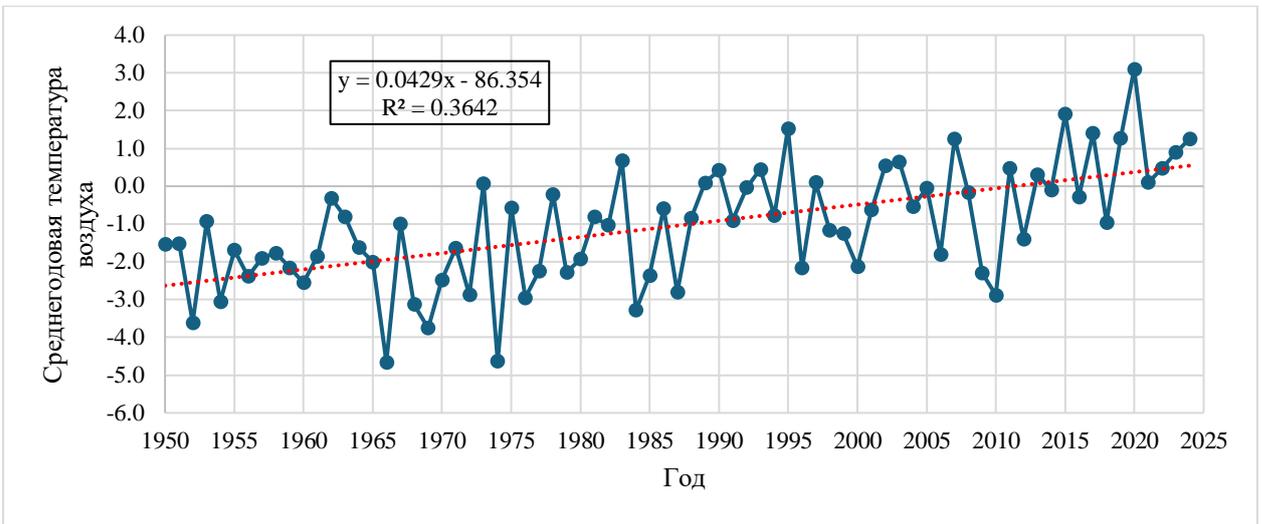


Рисунок 11 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Енисейск

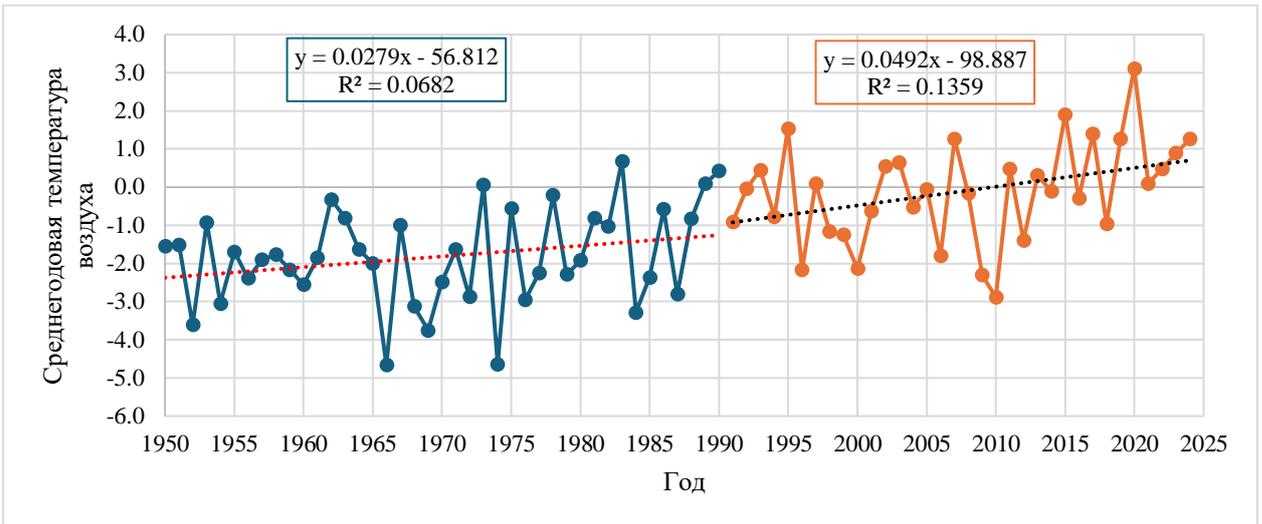


Рисунок 12 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха за период наблюдений с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2024 гг. на метеостанции Енисейск

Таблица 1. Сводная таблица оценки значимости линейного тренда и проверки рядов на однородность

№	Метеостанция	Весь период			До перелома			После перелома			Средняя температура		Δ
		t2a	St	F	t2a	St	F	t2a	St	F	До перелома	После перелома	
1	Игарка	значим	+	-	не значим	-	-	значим	+	-	-8,6	-7,0	1,6
2	Дудинка	значим	+	-	не значим	-	-	не значим	-	-	-10,3	-9,2	1,1
3	Енисейск	значим	+	-	не значим	-	-	значим	-	-	-1,8	-0,1	1,7
4	Верхнеимбатск	значим	+	-	не значим	-	-	не значим	-	+	-4,8	-3,4	1,4

Условные обозначения: "-" однородный ; "+" неоднородный

После оценки значимости линейного тренда за весь период наблюдений, можно сделать вывод, что на всех четырёх метеостанциях присутствует значимый тренд на повышение. Соответственно, была построена интегральная кривая для каждой метеостанции.

Для выявления даты нарушения стационарности рядов строились суммарные кривые $S = f(t)$. S_i для каждого ряда определялась по формуле:

$$S_i = \frac{\sum(T_i - T_{\min})}{\sigma_T}$$

T_{\min} - минимальное значение температуры воздуха;

σ_T - стандартная ошибка температуры воздуха.

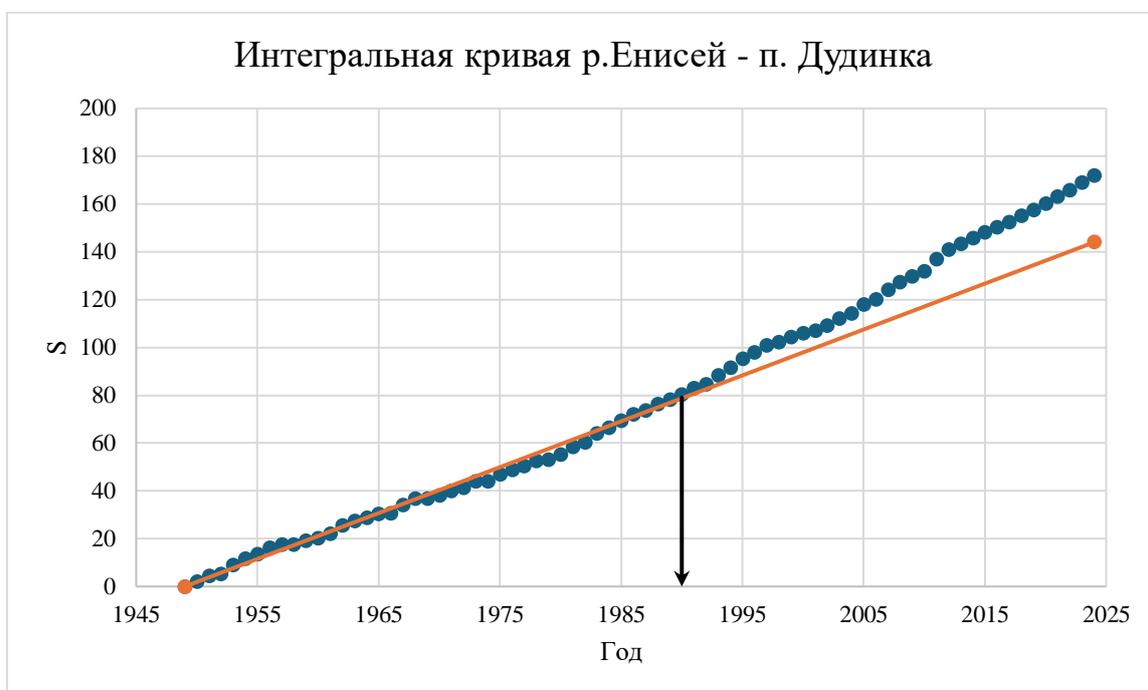


Рисунок 13 – Интегральная кривая за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Дудинка

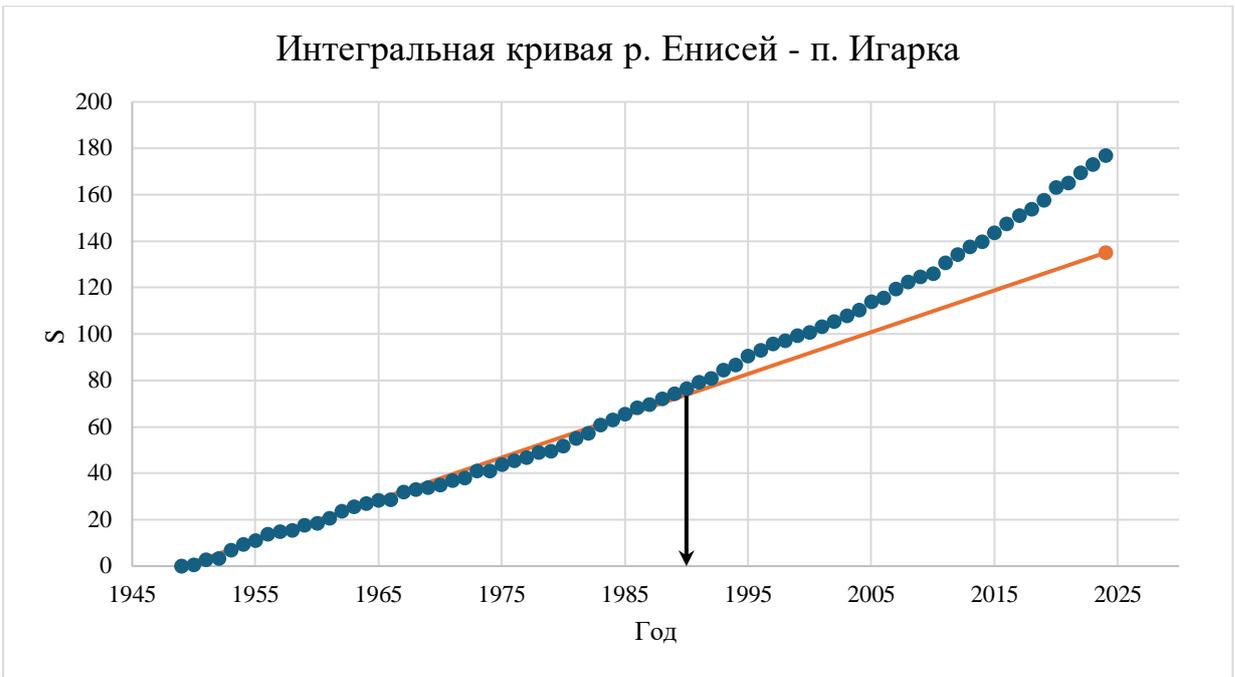


Рисунок 14 – Интегральная кривая за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Игарка

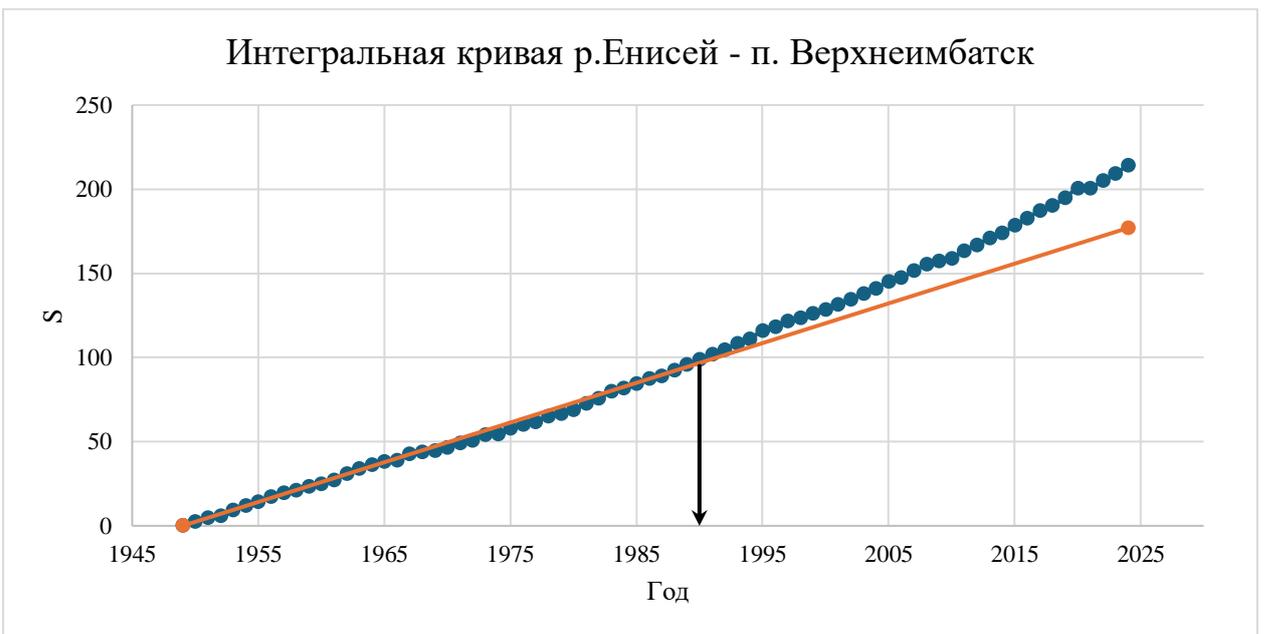


Рисунок 15 – Интегральная кривая за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Верхнеимбатск

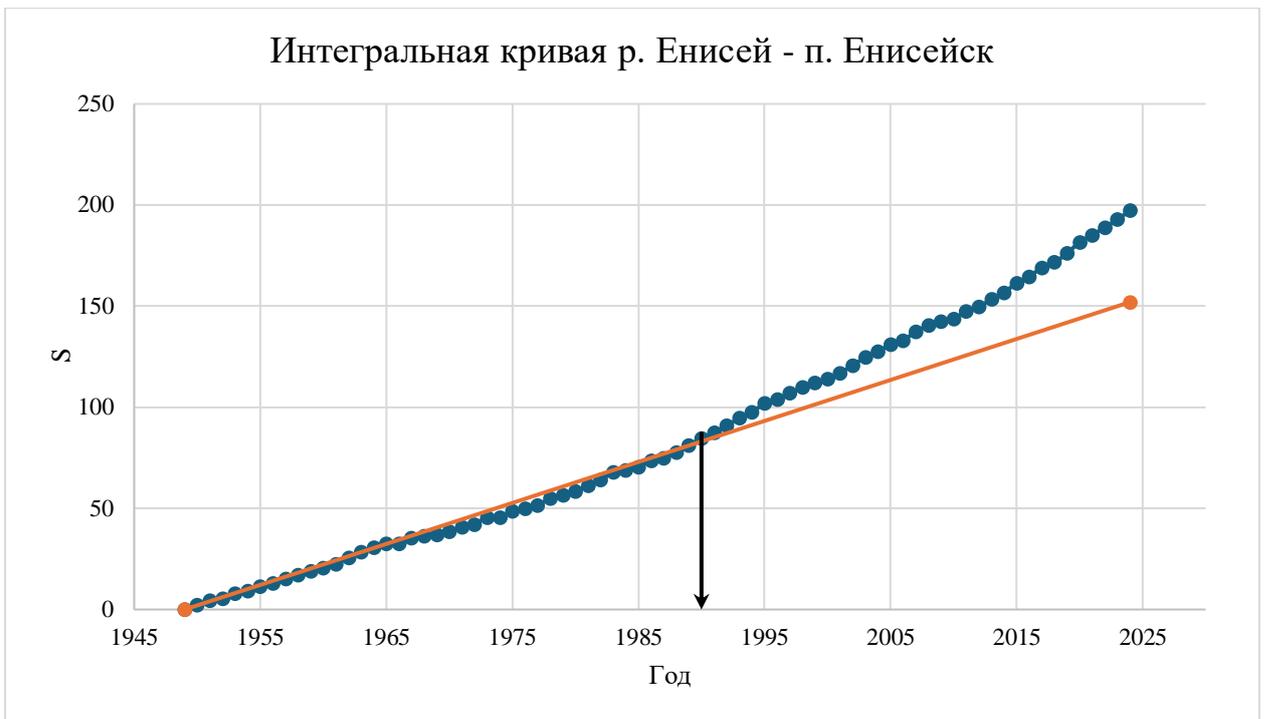


Рисунок 16 – Интегральная кривая за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Енисейск

Анализируя интегральные кривые, можно сделать вывод, что с начала 90-х годов климат пошёл на потепление.

Месячный ход осадков — это важный фактор водного режима, поэтому ниже будут представлены графики среднегодового хода осадков на четырёх метеостанциях.

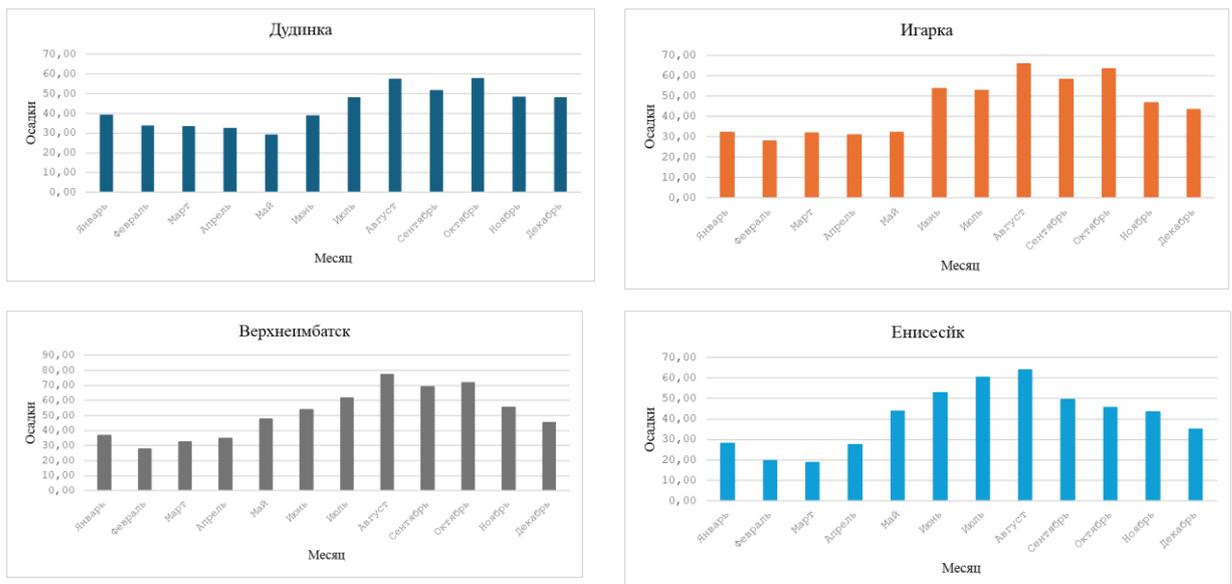


Рисунок 17 – Среднегодовой месячный ход осадков на метеостанциях: Дудинка, Игарка, Верхнеимбатск, Енисейск

На метеостанции Дудинка самое большое количество осадков приходится на август, а самое маленькое на май.

На метеостанции Игарка самое большое количество осадков приходится на август, а самое маленькое на февраль.

На метеостанции Верхнеимбатск самое большое количество осадков приходится на август, а самое маленькое на февраль.

На метеостанции Енисейск самое большое количество осадков приходится на август, а самое маленькое на март.

Для оценки значимости линейного тренда и проверки ряда на однородность с помощью критериев Стьюдента и Фишера были построены хронологические графики среднегодового количества осадков за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. (для Дудинки с 1950 по 2012 гг.), а также совмещенные графики за период с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2024 гг. (для Дудинки с 1950 по 1990 и с 1991 по 2012 гг.) для выявления характерной точки перелома. Хронологические графики были построены по трём метеостанциям: Дудинка, Игарка, Верхнеимбатск и Енисейск.

Для оценки значимости линейного тренда применялись классические статистические формулы.

Тренд считается значимым, если выполняется условие:

$$R/\sigma_R > t_{2\alpha}$$

$t_{2\alpha}$ – стандартное значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$ и числе степеней свободы $(n-2)$;

R – коэффициент корреляции;

σ_R – стандартная ошибка, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{(1 - R^2)/(n - 2)}$$

Проверка рядов на однородность по критериям Стьюдента и Фишера проводилась с использованием анализа данных.

Ряд по критерию Стьюдента считается однородным, если выполняется условие:

$$t_{\text{крит}} > |t|$$

По Фишеру:

$$F_{\text{крит}} > F$$

В таблице 2 представлены результаты проверок.

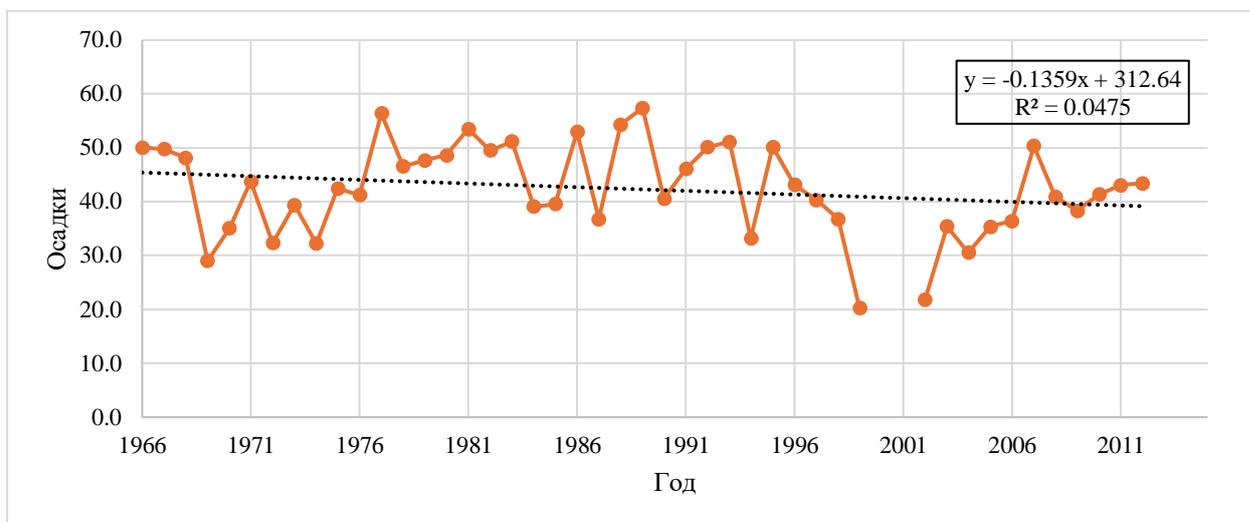


Рисунок 18 – Хронологический график среднегодовых осадков за весь период наблюдений с 1950 по 2012 гг. на метеостанции Дудинка

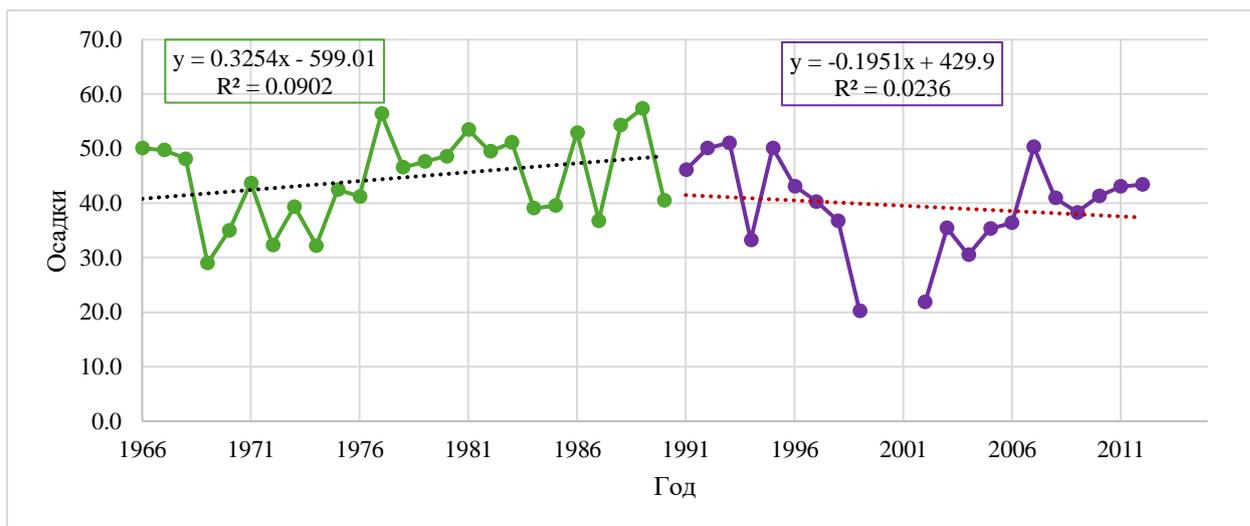


Рисунок 19 – Хронологический график среднегодовых осадков за период наблюдений с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2012 гг. на метеостанции Дудинка

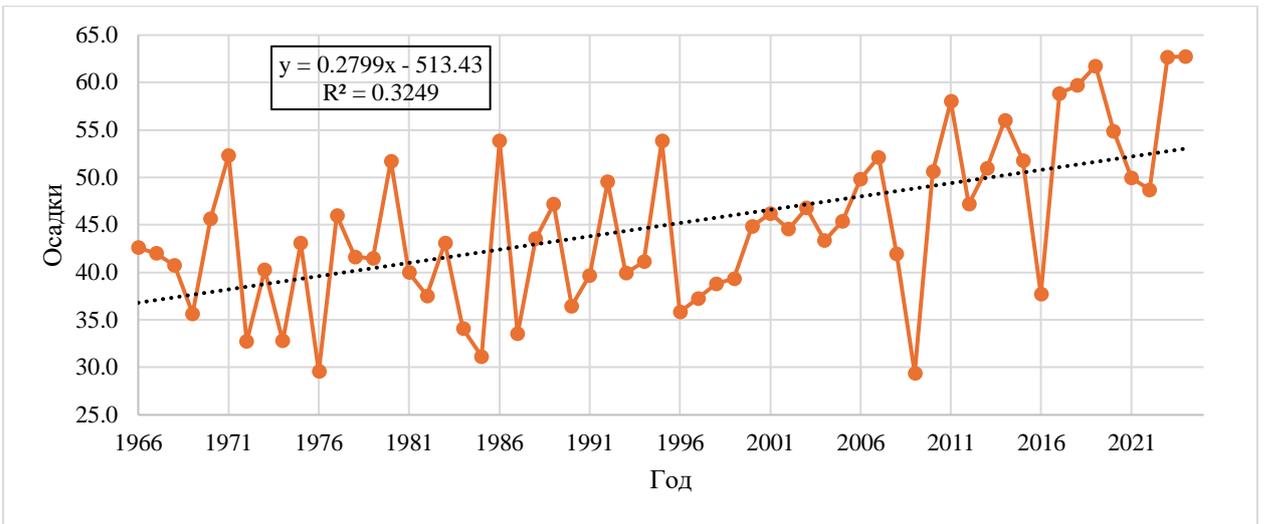


Рисунок 20 – Хронологический график среднегодовых осадков за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Игарка

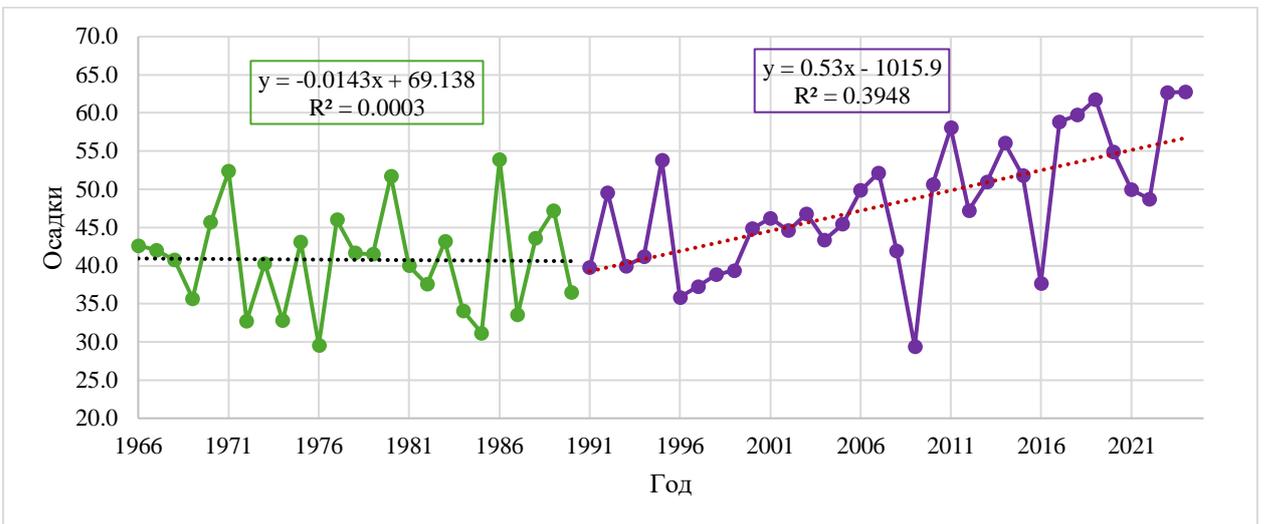


Рисунок 21 – Хронологический график среднегодовых осадков за период наблюдений с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2024 гг. на метеостанции Игарка

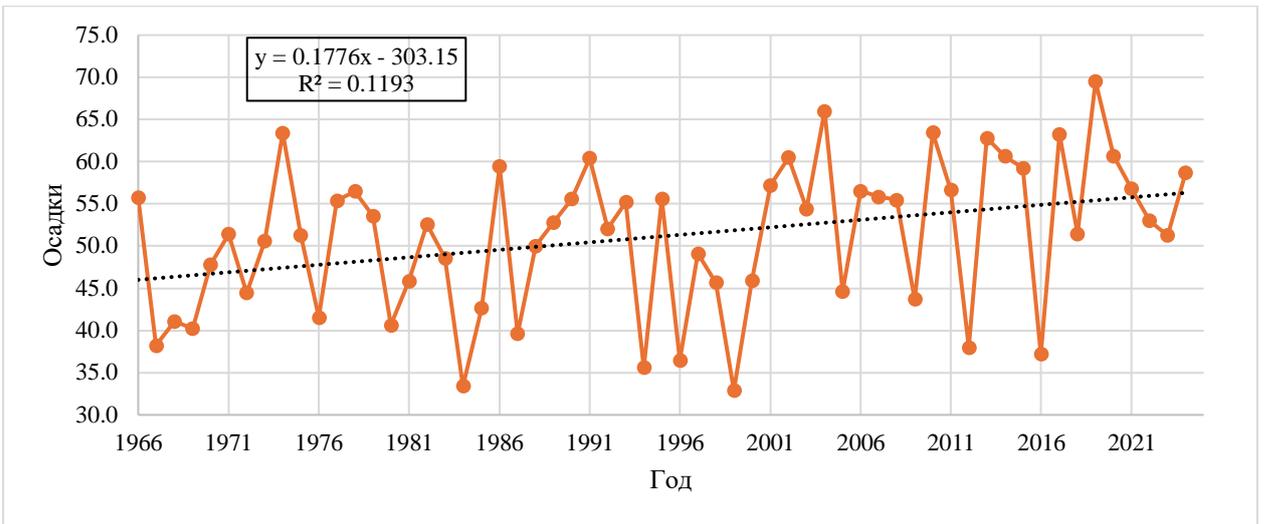


Рисунок 22 – Хронологический график среднегодовых осадков за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Верхнеимбатск

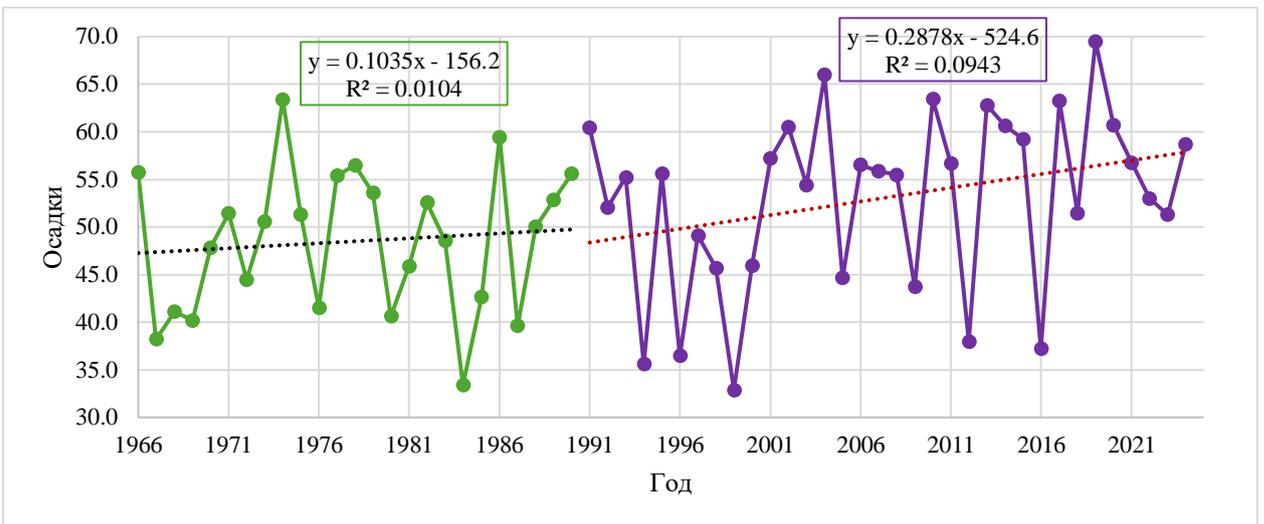


Рисунок 23 – Хронологический график среднегодовых осадков за период наблюдений с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2024 гг. на метеостанции Верхнеимбатск

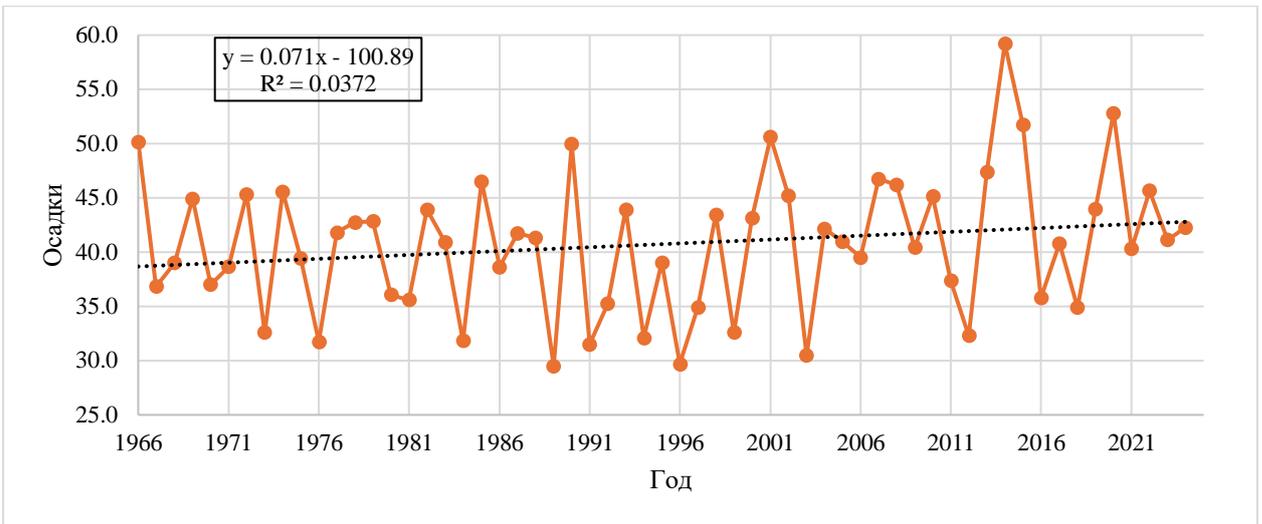


Рисунок 24 – Хронологический график среднегодовых осадков за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Енисейск

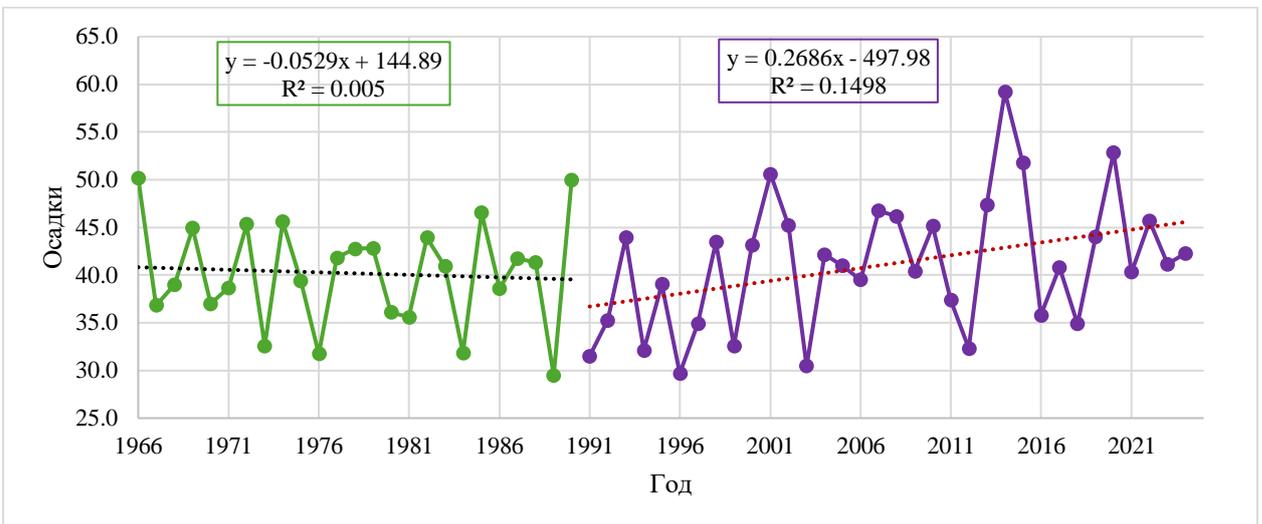


Рисунок 25 – Хронологический график среднегодовых осадков за период наблюдений с 1950 по 1990 гг. и с 1991 по 2024 гг. на метеостанции Енисейск

Таблица 2. Сводная таблица оценки значимости линейного тренда и проверки рядов на однородность

№	Метеостанция	Весь период			До перелома			После перелома		
		t2a	St	F	t2a	St	F	t2a	St	F
1	Игарка	значим	+	–	не значим	–	–	значим	+	+
2	Дудинка	не значим	+	–	не значим	–	–	не значим	–	+
3	Енисейск	не значим	–	–	не значим	–	–	значим	–	–
4	Верхнеимбатск	значим	–	–	не значим	–	–	не значим	–	–

Условные обозначения: "–" однородный ; "+" неоднородный

После оценки значимости линейного тренда за весь период наблюдений, было выявлено, что на метеостанции Игарка и Верхнеимбатск значимый тренд идет на повышение, соответственно, были построены интегральные кривые. На метеостанции Дудинка и Енисейск тренд отсутствует.

Для выявления даты нарушения стационарности рядов строились суммарные кривые $S = f(t)$. S_i для каждого ряда определялась по формуле:

$$S_i = \frac{\sum(P_i - P_{\min})}{\sigma_P}$$

P_{\min} - минимальное значение количества осадков;

σ_P - стандартная ошибка количества осадков.

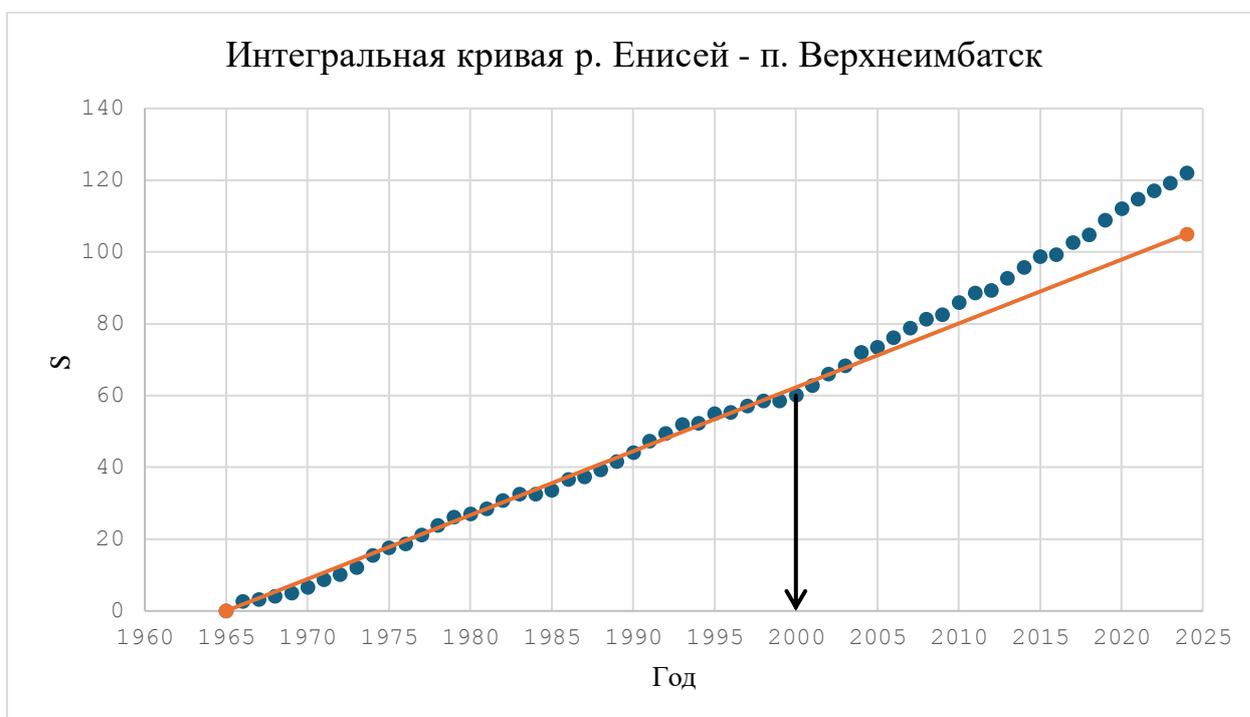


Рисунок 26 – Интегральная кривая за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Верхнеимбатск

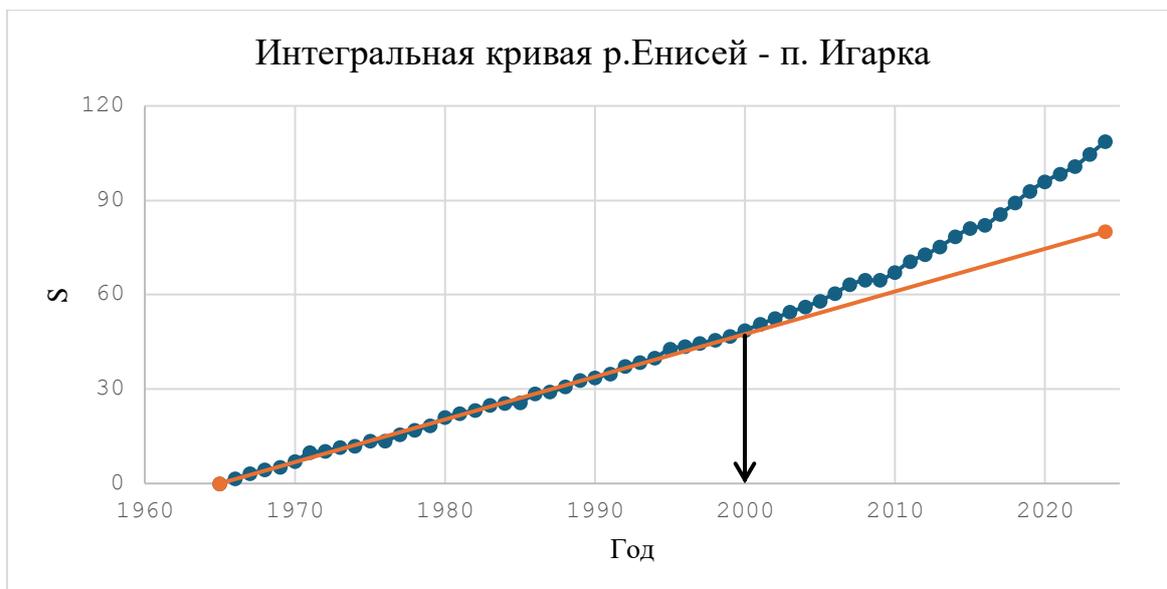


Рисунок 27 – Интегральная кривая за весь период наблюдений с 1950 по 2024 гг. на метеостанции Игарка

1.5. Почвенно-растительный покров и ландшафты бассейна р. Енисей.

Ландшафты бассейна реки Енисей разнообразны, что обусловлено значительной протяженностью территории с севера на юг. Горы и плато занимают около половины площади, на низменность приходится примерно 6%, остальная часть – холмистые равнины и межгорные котловины [Приложение 1, рис. 8, 9].

Для верхнего Енисея характерны ландшафты горной степи, горной тайги с преобладанием темнохвойных пород, горных тундр и лугов. Межгорные котловины заняты степями и лесостепями с сосновыми лесами (ленточные боры) [Приложение 1, рис. 6,7].

Среднее течение и южная часть бассейна нижнего Енисея покрыты таежными лесами. В нижнем течении растительность представлена таежными лесами с преобладанием лиственницы (62%), ели и пихты (17%), сосны (12%) и кедра (9%), низкобонитетными лиственничными лесами в зоне лесотундры, мохово-лишайниковыми и кустарниками сообществами тундр, сообществами арктических пустынь по побережью Карского моря.

Тунгусское трапповое плато, смыкающееся на севере с плато Путорана, покрыто лесами с преобладанием лиственницы. Редкостойный лес

поднимается до высот около 500 м. Приенисейская террасовая равнина и так называемая Норильская долина залесены фрагментарно (доминирует лиственница).

Важнейшим следствием сурового термического режима является почти повсеместное распространение многолетней мерзлоты. Южная граница распространения сплошной мерзлоты проходит несколько севернее долины р. Нижней Тунгуски. Южнее среди многолетнемерзлых участков встречаются пространства с таликами и распространение мерзлоты становится постепенно островным. На крайнем юге Красноярского края мощность многолетнемерзлых пород с линзами, прослоями и прожилками льда составляет всего 5-10 м.

Для побережья Карского моря, где в зимний период наблюдаются сильные морозы, обилие безветренных дней и небольшое количество осадков, характерно значительное промерзание грунтов и образование многолетней мерзлоты значительной мощности. Летом почвы оттаивают на глубину от нескольких см на крайнем севере до нескольких метров вблизи южного предела распространения многолетней мерзлоты. Мощность слоя талого грунта зависит также от гранулометрического состава и характера растительного покрова. Наименьшей она бывает на участках, сложенных торфом или глинистыми породами, особенно в тех случаях, если они насыщены влагой и покрыты толстым слоем мха.

Животный мир бассейна реки Енисей разнообразен в соответствии со схемой природной зональности. В ихтиофауне отмечены осётр, таймень, ленок, муксун, хариус, корюшка, щука, плотва сибирская, елец сибирский, карась, голец, окунь, ёрш и налим.

Наибольшая концентрация водной растительности отмечается у берегов и в протоках, заводях, курьях, что связано со снижением скоростного режима. Основное русло реки слабо подвержено развитию водной растительности в связи с большой глубиной, скоростью течения и низкой температурой воды. Одним из существенных факторов, влияющих на уровень развития

водорослей, является уровень воды в реке, регулируемый Красноярской ГЭС. В 2022 г. площадь зоны развития водорослей уменьшилась за счет осушения больших прибрежных территорий.

1.6 Выводы по 1 главе.

Будет рассмотрен участок нижнего течения реки Енисей. Он более интересен для анализа потому, что здесь река проходит через различные климатические зоны и испытывает влияние различных факторов, таких как рельеф местности, гидрология и антропогенная деятельность. Это делает нижний Енисей уникальным объектом для изучения процессов взаимодействия между водой, льдом, берегами и окружающей средой.

Нижнее течение реки Енисей испытывает влияние других частей бассейна благодаря поступлению вод от притоков, подземных источников и таяния ледников в горах. Это влияет на уровень воды, скорость течения и температуру.

Особенности нижнего течения реки Енисей включают:

1. Много излучин, ширина русла от 1,5 до 5 км и глубина от 5 до 40 м.
2. Русло разбивается на рукава, острова достигают длины 20 км.
3. Устье Курейки — начало устьевой области Енисея, самой протяжённой в Евразии.
4. Дельта Енисея расположена ниже посёлка Усть-Порт, её площадь составляет 7,5 тыс. км².
5. Русло разветвляется на крупные рукава (Дерябинский Енисей, Охотский Енисей, Большой Енисей, Малый Енисей, Каменный Енисей) и протоки (Лопатная, Судная, Чайшная, Лебязья, Турушинская, Васильевская и другие).
6. Экологическая ситуация – в нижнем течении реки накапливаются загрязняющие вещества, которые река собирает с территории всего бассейна. Это важно для мониторинга состояния воды и оценки влияния хозяйственной деятельности на экосистему.

7. Гидрологические особенности – нижнее течение отличается изменчивым уровнем воды, влиянием морских приливов (влияние Карского моря), замедлением течения и отложением наносов. Это ценно для изучения речной динамики.

8. Биоразнообразие и экосистема – в дельтовых зонах формируются уникальные природные сообщества, важные для рыбного промысла и экологии региона.

9. Климатические изменения – нижнее течение сильнее подвержено изменению климата, в том числе таянию вечной мерзлоты, изменению русла и обмелению. Это делает исследования более значимыми в контексте глобального потепления.

10. Хозяйственное значение – район нижнего течения Енисея связан с судоходством, рыболовством и добычей природных ресурсов. Изучение его особенностей важно для экономического развития региона.

Таким образом, нижнее течение Енисея предоставляет богатый материал для исследований в области экологии, гидрологии, климатологии и экономики.

Глава 2. Особенности гидрологического режима реки Енисей в нижнем течении

2.1 Водный режим

Годовой сток – это общий объем воды, протекающий через сечение реки в течении одного года. Он является важнейшей характеристикой гидрологического режима водотока. Формирование годового стока происходит под влиянием осадков, таяния снежного покрова и ледников, грунтового питания, а также зависит от рельефа и строения бассейна, наряду с антропогенными воздействиями.

Распределение стока по сезонам в нижнем течении реки Енисей подвержено влиянию как природных, так и антропогенных факторов. Природное сезонное распределение ранее характеризовалось выраженным половодьем в летний период, обусловленным таянием снега и ледников в бассейне реки Енисей. Осенние и зимние расходы воды были низкими, соответствующими межени.

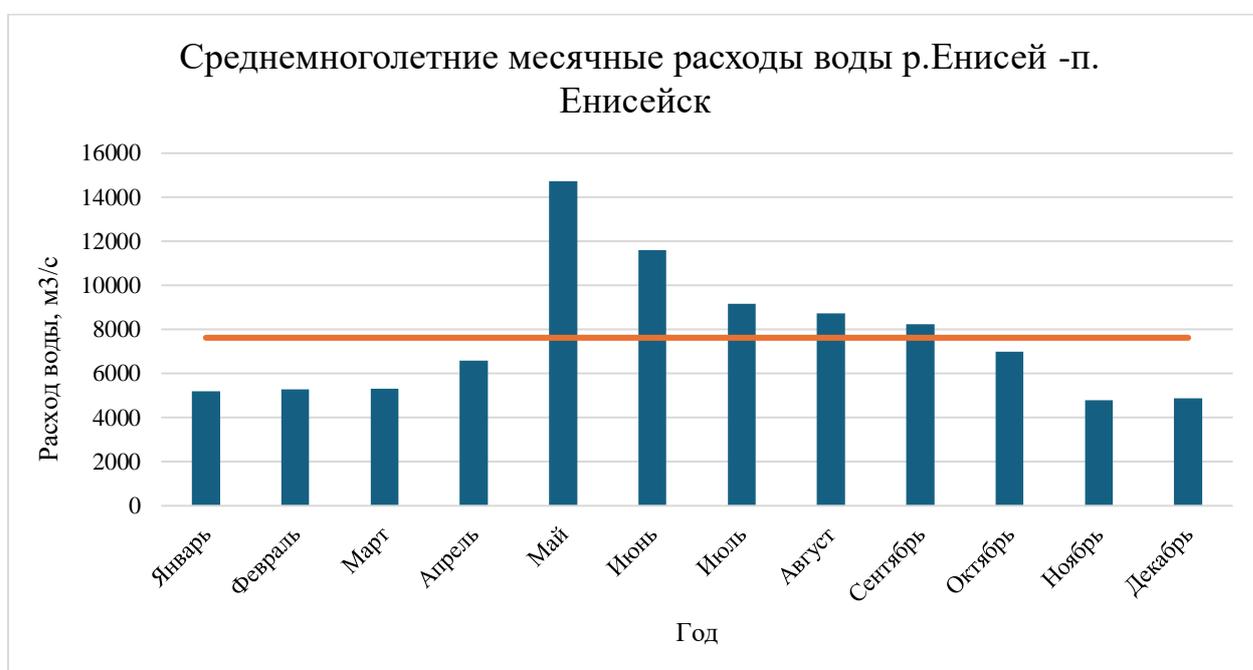


Рисунок 28 – График среднегодовых месячных расходов воды р. Енисей – п. Енисейск

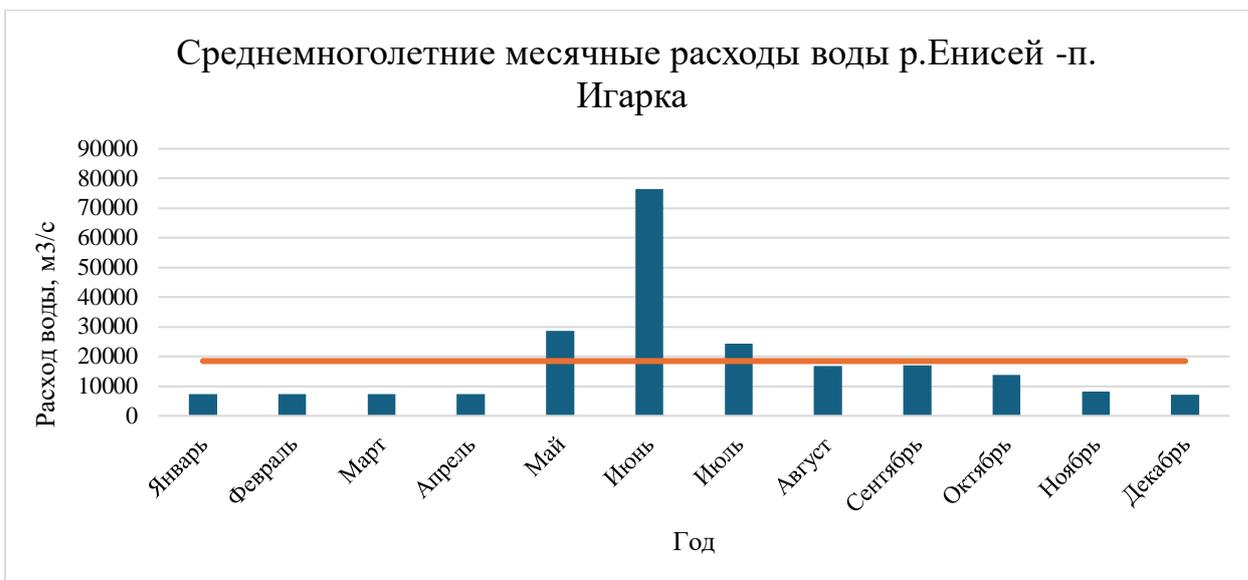


Рисунок 29 – График среднегодовых месячных расходов воды р. Енисей – п. Игарка

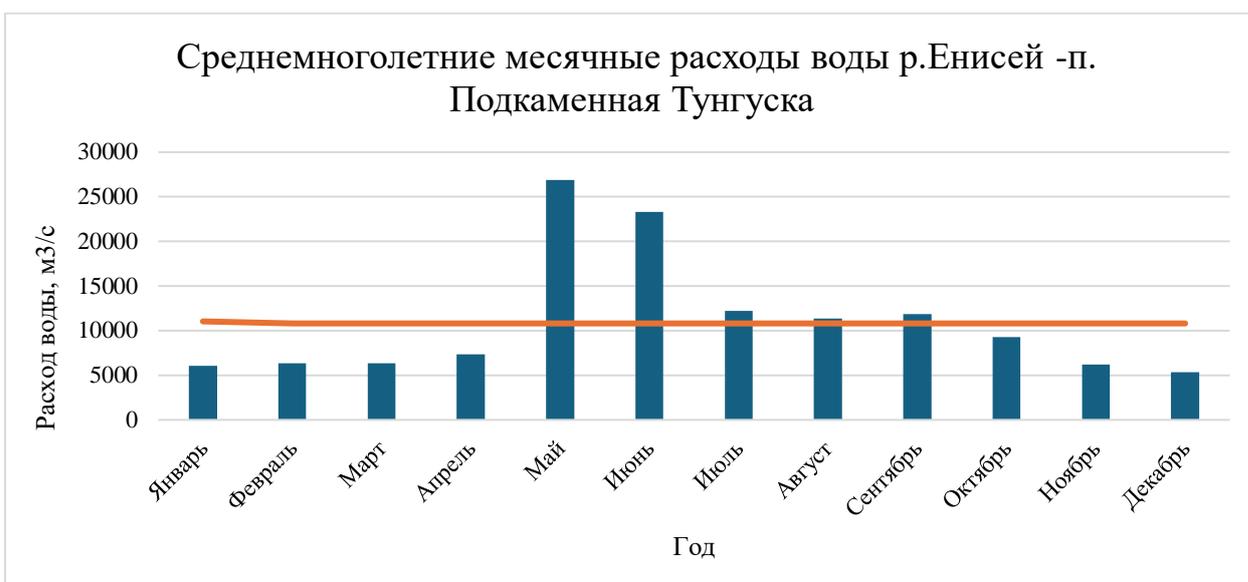


Рисунок 30 – График среднегодовых месячных расходов воды р. Енисей – п. Подкаменная Тунгуска

По мере продвижения вниз по течению Енисея происходит накопление стока за счёт впадения притоков, таких как Подкаменная Тунгуска, Нижняя Тунгуска и другие мелкие водотоки. Соответственно, это приводит к нарастанию среднегодовых расходов воды по ходу реки. Кроме того, важно отметить, что характер распределения стока отражает влияние широтных климатических градиентов – от умеренного климата к субарктическому.



Рисунок 31 – Схема расположения гидрологических постов и метеорологических станций на Нижнем Енисее. [2]

Целесообразно визуально изобразить колебания и объём воды на каждом гидрологическом посту, для рассмотрения межгодовой изменчивости стока нижнего Енисея. Для такого исследования был построен график среднегодовых расходов воды в период с 1950-2022 год.

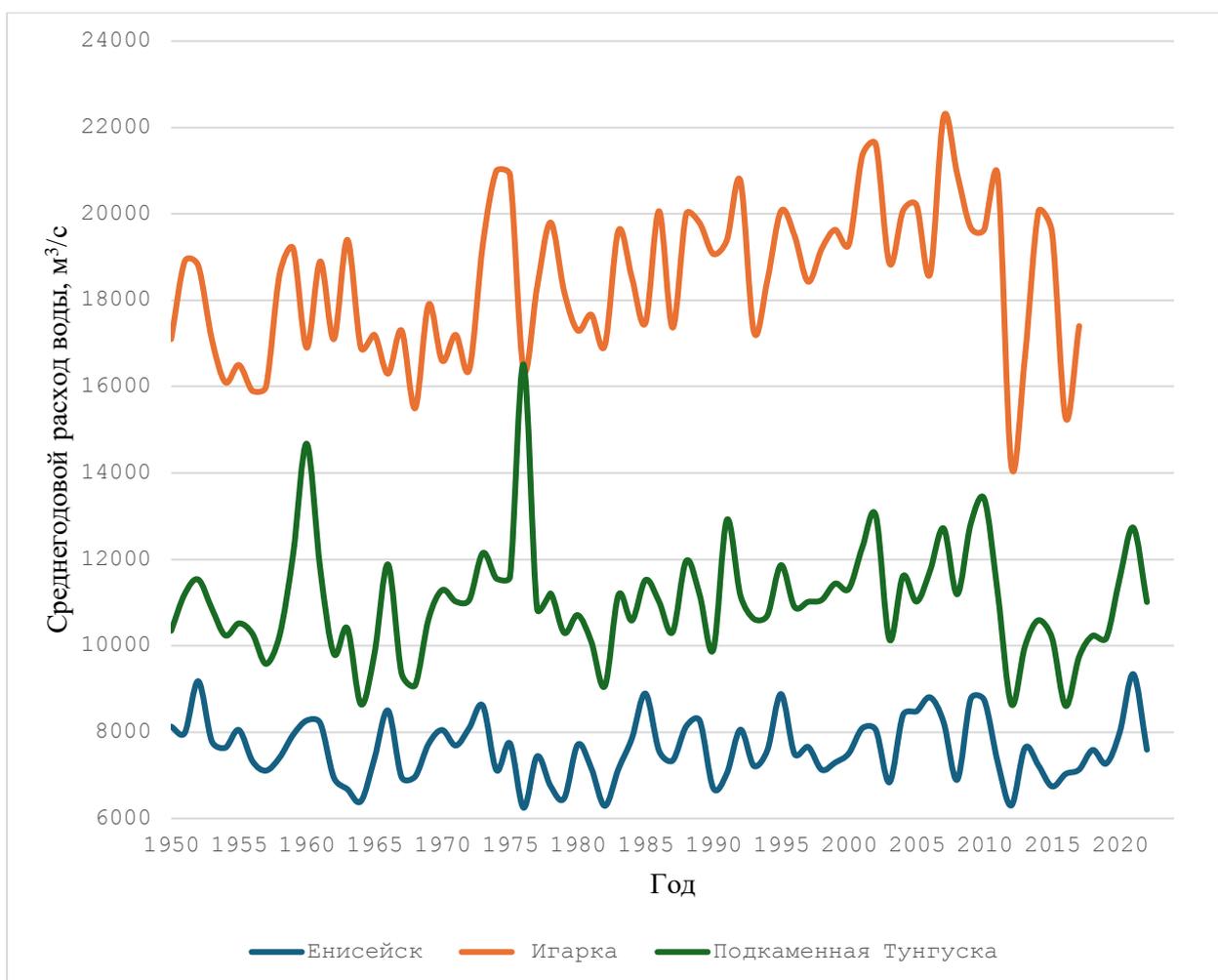


Рисунок 32 – График среднегодовых расходов воды на гидрологических постах: Енисейск, Игарка, Подкаменная Тунгуска

На рисунке 32 видно, что нарастание расхода воды происходит вниз по течению. Амплитуда колебаний возрастает от Енисейска к Игарке, это обусловлено интеграцией стока расширяющегося водосбора и последовательным подключением крупных правобережных притоков (Ангара, Подкаменная и Нижняя Тунгуски). Дополнительный вклад создают высокая доля поверхностного и болотного питания в зоне вечной мерзлоты и перераспределяющее влияние Ангаро-Енисейского каскада, повышающее зимние расходы. Максимумы половодий (1961, 1974-1976, 1998, 2006-2009) прослеживаются сразу по трём кривым, что отражает общеклиматические аномалии (обильное снегонакопление, быстрое половодье).

Для дальнейшего анализа водного режима нижнего Енисея будут представлены разностно-интегральные кривые $Z=f(t)$. Суть анализа заключается в определении где и когда менялась водность.

Z_i для каждого ряда определялась по формуле:

$$Z_i = \frac{\sum(Q_i - Q_{cp})}{\sigma_Q}$$

Q_{cp} – среднее значение;

σ_Q – стандартная ошибка среднегодовых расходов воды



Рисунок 33 – Разностно-интегральная кривая р. Енисей -п. Енисейск

На рисунке 33 видно, что с начала периода наблюдений до конца 1970х годов отмечается повышенная водность, затем она начала снижаться до примерно 1982 и до (примерно) 2002-2003 был период пониженной водности. Затем снова было повышение.



Рисунок 34 – Разностно-интегральная кривая р. Енисей -п. Игарка

На рисунке 34 видно, что с начала периода наблюдений до начала 1970х годов водность снижается. Примерно с 1970-1987 год наблюдается пониженная водность, а затем примерно до 2010 года идет на повышение. После 2010 года снова спад.



Рисунок 35– Разностно-интегральная кривая р. Енисей -п. Подкаменная Тунгуска

На рисунке 35 видно, что с начала периода наблюдений до 1982 года отмечается пониженная водность, затем она начала повышаться до примерно 2010 года. Затем снова был спад.

Для выявления изменений водного режима нижнего Енисея будут построены хронологические графики среднегодовых расходов воды. Будет проведена оценка значимости линейных трендов и проверка рядов на однородность критериями Стьюдента и Фишера.

Для оценки значимости линейного тренда применялись классические статистические формулы.

Тренд считается значимым, если выполняется условие:

$$R/\sigma_R > t_{2\alpha}$$

$t_{2\alpha}$ – стандартное значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$ и числе степеней свободы $(n-2)$;

R —коэффициент корреляции;

σ_R – стандартная ошибка, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{(1 - R^2)/(n - 2)}$$

Проверка рядов на однородность по критериям Стьюдента и Фишера проводилась с использованием анализа данных.

Ряд по критерию Стьюдента считается однородным, если выполняется условие:

$$t_{\text{крит}} > |t|$$

По Фишеру:

$$F_{\text{крит}} > F$$

В таблице 3 представлены результаты проверок.

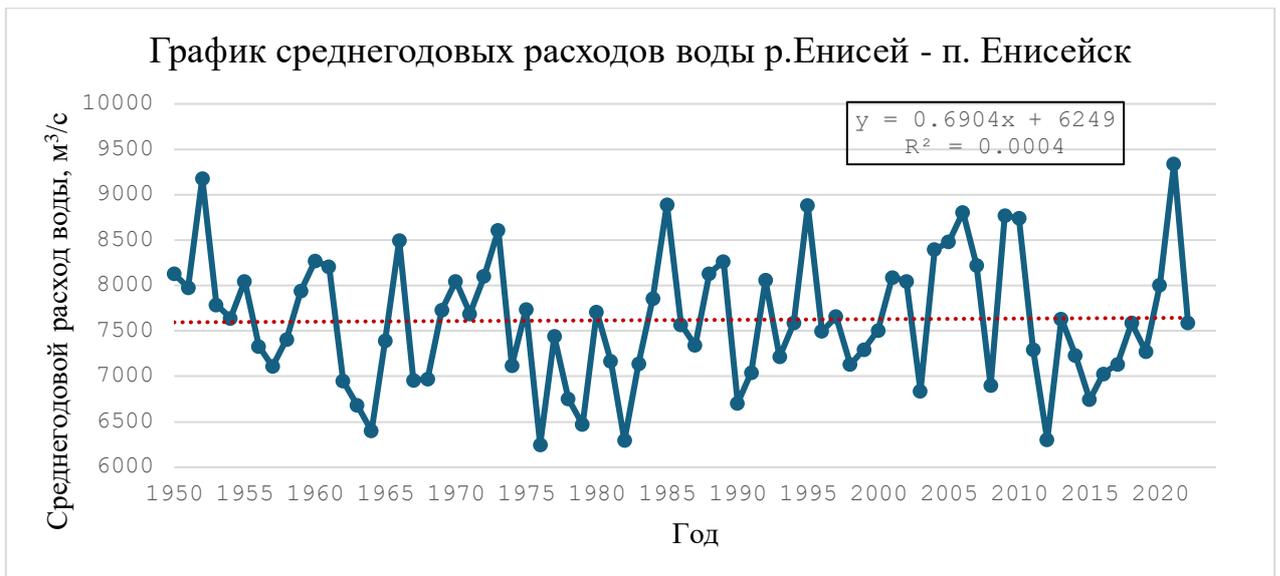


Рисунок 36 – Хронологический график среднегодовых расходов воды р. Енисей – п. Енисейск



Рисунок 37 – Хронологический график среднегодовых расходов воды р. Енисей – п. Игарка



Рисунок 38 – Хронологический график среднегодовых расходов воды р. Енисей – п. Подкаменная Тунгуска

В ходе проверки рядов на значимость линейного тренда было выявлено, что на гидрологическом посту Игарка наблюдается значимый тренд на повышение. Следовательно, была построена интегральная кривая, которая представлена ниже. На гидрологических постах Енисейск и Подкаменная Тунгуска тренд отсутствует.

Для выявления даты нарушения стационарности рядов строились суммарные кривые $S = f(t)$. S_i определялась по формуле:

$$S_i = \frac{\sum(Q_i - Q_{\min})}{\sigma_Q}$$

Q_{\min} - минимальное значение среднегодовых расходов воды;

σ_Q - стандартная ошибка среднегодовых расходов воды.

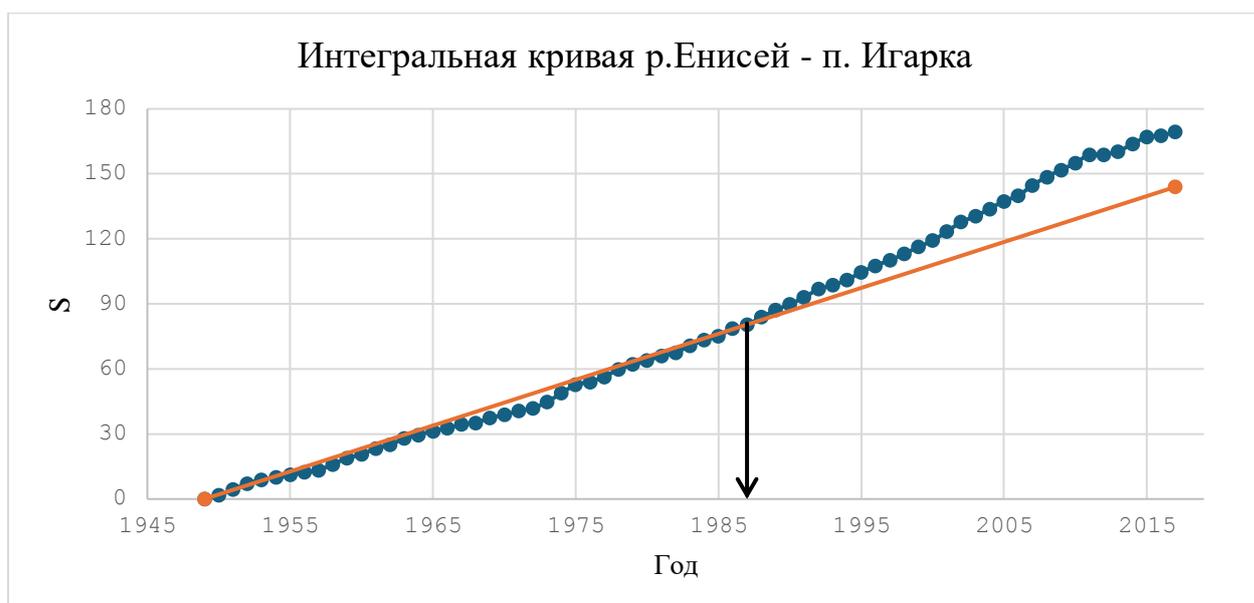


Рисунок 39 – Интегральная кривая р. Енисей – п. Игарка

В ходе проверки рядов на однородность с помощью критерия Стьюдента, выявлено, что ряд среднегодовых расходов воды на гидрологическом посту Игарка является неоднородным по этому критерию. Ряды среднегодовых расходов воды на гидрологических постах Енисейск и Подкаменная Тунгуска однородны по этому критерию.

При оценке рядов на однородность по критерию Фишера, выявлено, что ряды среднегодовых расходов воды на гидрологических постах (Игарка, Енисейск, Подкаменная Тунгуска) не опровергают гипотезу об однородности.

Таблица 3. Сводная таблица оценки значимости линейного тренда и проверки рядов на однородность

№	Название поста	t2a	St	F
1	Енисейск	не значим	однор	однор
2	Игарка	значим	неодн	однор
3	Подкаменная Тунгуска	не значим	однор	однор

2.2 Ледовый режим

Изменения современного климата, а именно его потепление в последние 40 лет, проявляются в виде сдвигов фаз формирования ледового покрова и

очищения рек ото льда. В связи с чем возникает необходимость анализа подобных смещений для совершенствования методик прогнозирования и минимизации последствий опасных гидрологических явлений. В научной работе рассмотрен ледовый режим нижнего течения реки Енисей в период замерзания, ледостава и вскрытия.

Элементы ледового режима нижнего Енисея были оценены при помощи следующих характеристик: даты весеннего ледохода, даты осеннего ледохода, даты начала ледостава и даты очищения ото льда.

Особенности ледового режима рек – значимая составляющая рационального использования транспортной инфраструктуры и, как следствие, социально-экономического развития территорий. Сроки появления и разрушения ледяного покрова, продолжительность ледостава – важные показатели для навигации, гидротехнического строительства, организации переправ и так далее.

За неполные семь десятилетий после ввода Красноярской ГЭС нижнее течение Енисея прошло глубинную трансформацию. Красноярская ГЭС превратила водно-экологический режим нижнего Енисея из естественно-паводкового в искусственно-регулируемый. Хотя интенсивность воздействия постепенно ослабевает по мере удаления от плотины и смешения с притоками, его следы — повышенные зимние уровни, более ранний ледоход, дефицит наносов. Тем самым Красноярская ГЭС стала главным антропогенным фактором развития нижнего Енисея в 1950-2018 гг., демонстрируя как стратегические выгоды крупной гидроэнергетики, так и долгосрочную цену для речных экосистем и прибрежных сообществ.

Лед на реках образуется под воздействием северных и северо-западных воздушных потоков, которые обычно усиливаются в октябре, когда воздух начинает устойчиво охлаждаться ниже 0 °С. Наиболее ранний лёд появляется при вторжении холодных масс в конце сентября – начале октября.

В весенний период реки вскрываются, как только на водосборных территориях устанавливается устойчивый положительный тепловой баланс и температура воздуха поднимается выше нуля.

Таблица 4. Сроки замерзания и вскрытия

Название поста	Расстояние от устья (км)	Весенний ледоход			Осенний ледоход			Начало ледостава			Очищение от льда		
		раннее	позднее	среднее	раннее	позднее	среднее	раннее	позднее	среднее	раннее	позднее	среднее
Дудинка	433	30 апр	14 июн	26 май	6 окт	25 окт	17 окт	9 окт	5 ноя	23 окт	16 май	21 июн	9 июн
Игарка	697	22 апр	6 июн	21 май	9 окт	31 окт	19 окт	11 окт	24 ноя	22 окт	20 май	18 июн	6 июн
Верхнеимбатск	1323	14 апр	25 май	7 май	10 окт	28 дек	28 окт	29 окт	28 ноя	12 ноя	10 май	7 июн	25 май
Подкаменная Тунгуска	1614	9 апр	24 май	3 май	13 окт	2 дек	6 ноя	5 ноя	15 дек	22 ноя	10 май	27 июн	24 май
Ярцево	1774	10 апр	24 май	2 май	8 окт	8 дек	5 ноя	3 ноя	31 дек	25 ноя	25 апр	1 июн	18 май
Енисейск	1927	16 мар	26 май	16 апр	16 янв	29 дек	1 ноя	3 ноя	19 янв	9 дек	18 апр	31 май	16 май

На рисунках (40-43) представлены результаты многолетних наблюдений весеннего ледохода, осеннего ледохода, начала ледостава и очищения ото льда на шести гидрологических постах: Дудинка – 433 км от устья, Игарка – 697 км от устья, Верхнеимбатск – 1323 км от устья, Подкаменная Тунгуска – 1614 км от устья, Ярцево – 1774 км от устья, Енисейск – 1927 км от устья.

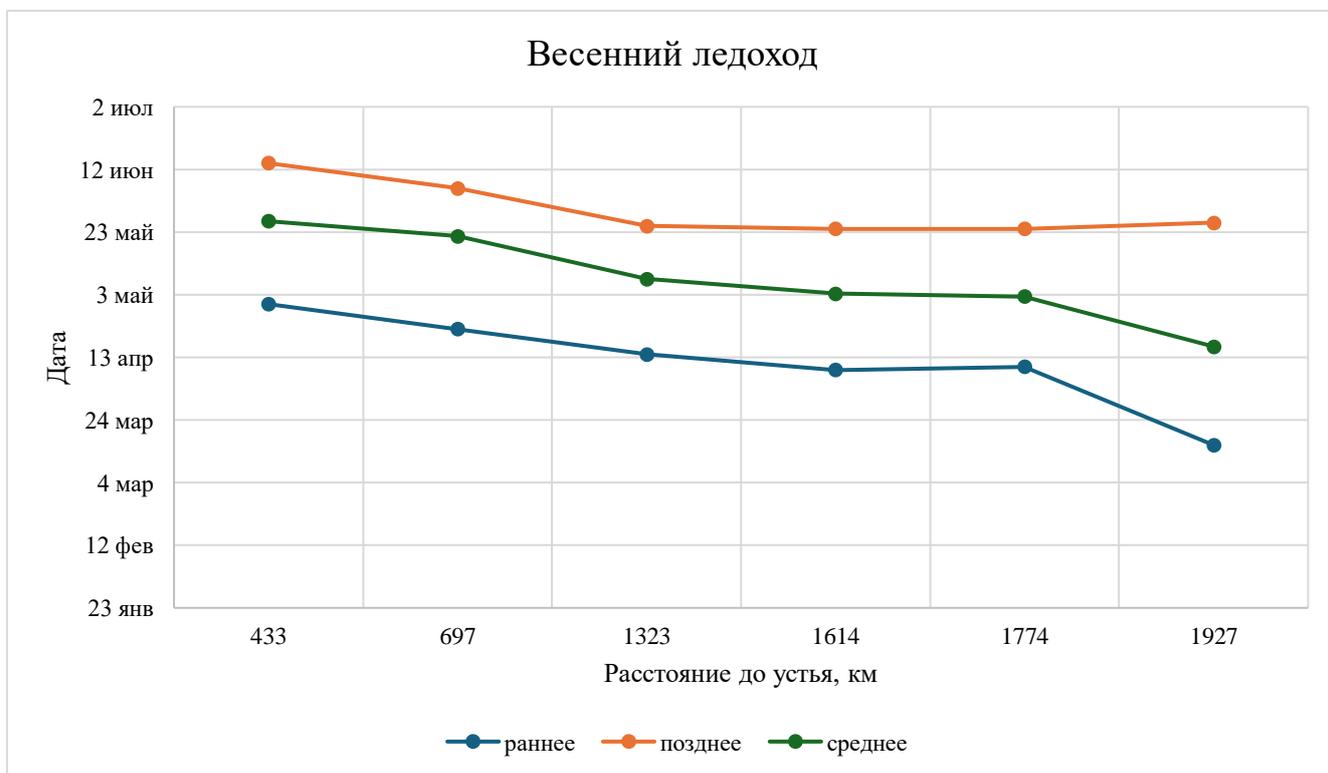


Рисунок 40 – График весеннего ледохода нижнего течения реки Енисей

На п. Дудинка – 433 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления весеннего ледохода в среднем приходилась на 26 мая, самая ранняя дата 30 апреля, самая поздняя 14 июня.

На п. Игарка – 697 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления весеннего ледохода в среднем приходилась на 21 мая, самая ранняя дата 22 апреля, самая поздняя 6 июня.

На п. Верхнеимбатск – 1323 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления весеннего ледохода в среднем приходилась на 7 мая, самая ранняя дата 14 апреля, самая поздняя 25 мая.

На п. Подкаменная Тунгуска – 1614 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления весеннего ледохода в среднем приходилась на 3 мая, самая ранняя дата 9 апреля, самая поздняя 24 мая.

На п. Ярцево – 1774 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления весеннего ледохода в среднем приходилась на 2 мая, самая ранняя дата 10 апреля, самая поздняя 24 мая.

На п. Енисейск – 1927 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления весеннего ледохода в среднем приходилась на 16 апреля, самая ранняя дата 16 марта, самая поздняя 26 мая.

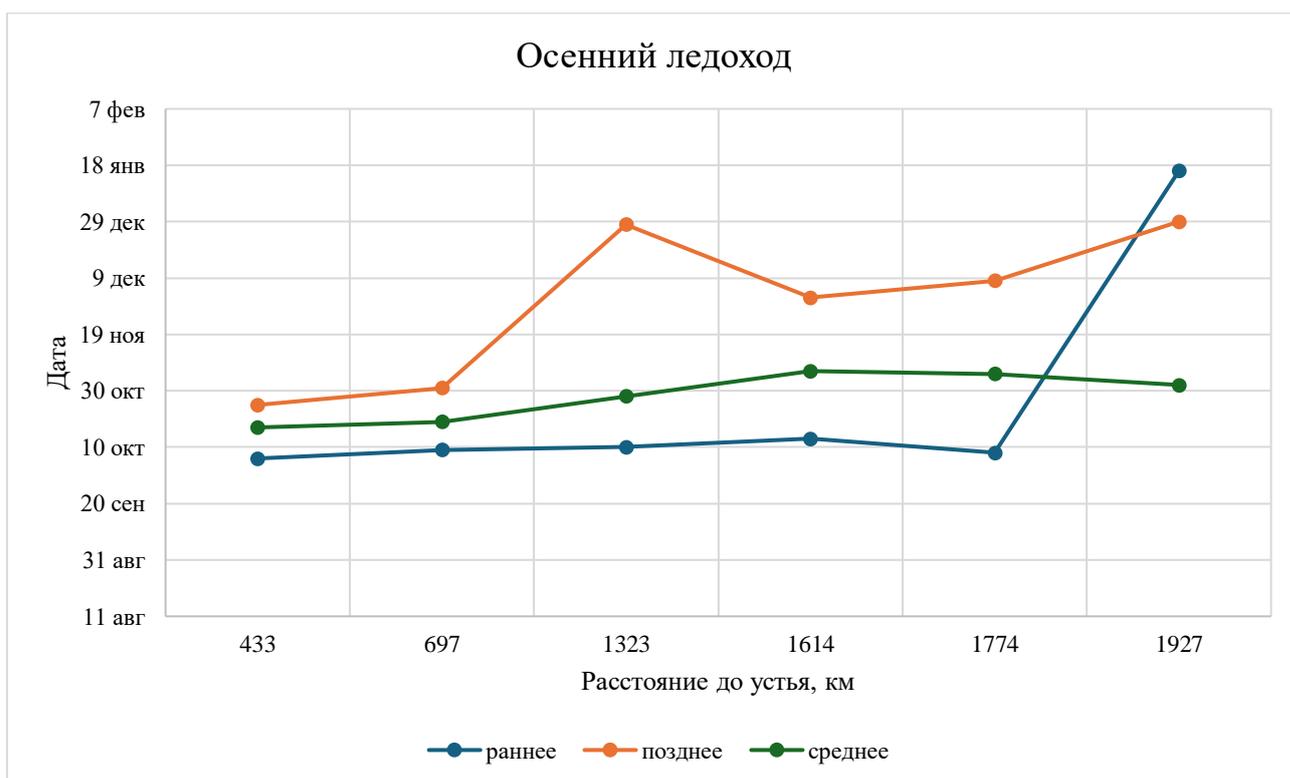


Рисунок 41 – График осеннего ледохода нижнего течения реки Енисей

На п. Дудинка – 433 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления осеннего ледохода в среднем приходилась на 17 октября, самая ранняя дата 6 октября, самая поздняя 25 октября.

На п. Игарка – 697 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления осеннего ледохода в среднем приходилась на 19 октября, самая ранняя дата 9 октября, самая поздняя 31 октября.

На п. Верхнеимбатск – 1323 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления осеннего ледохода в среднем приходилась на 28 октября, самая ранняя дата 10 октября, самая поздняя 28 октября.

На п. Подкаменная Тунгуска – 1614 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления осеннего ледохода в среднем приходилась на 6 ноября, самая ранняя дата 13 октября, самая поздняя 2 декабря.

На п. Ярцево – 1714 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления осеннего ледохода в среднем приходилась на 5 ноября, самая ранняя дата 8 октября, самая поздняя 8 декабря.

На п. Енисейск – 1927 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата появления осеннего ледохода в среднем приходилась на 1 ноября, самая ранняя дата 16 января, самая поздняя 29 декабря.

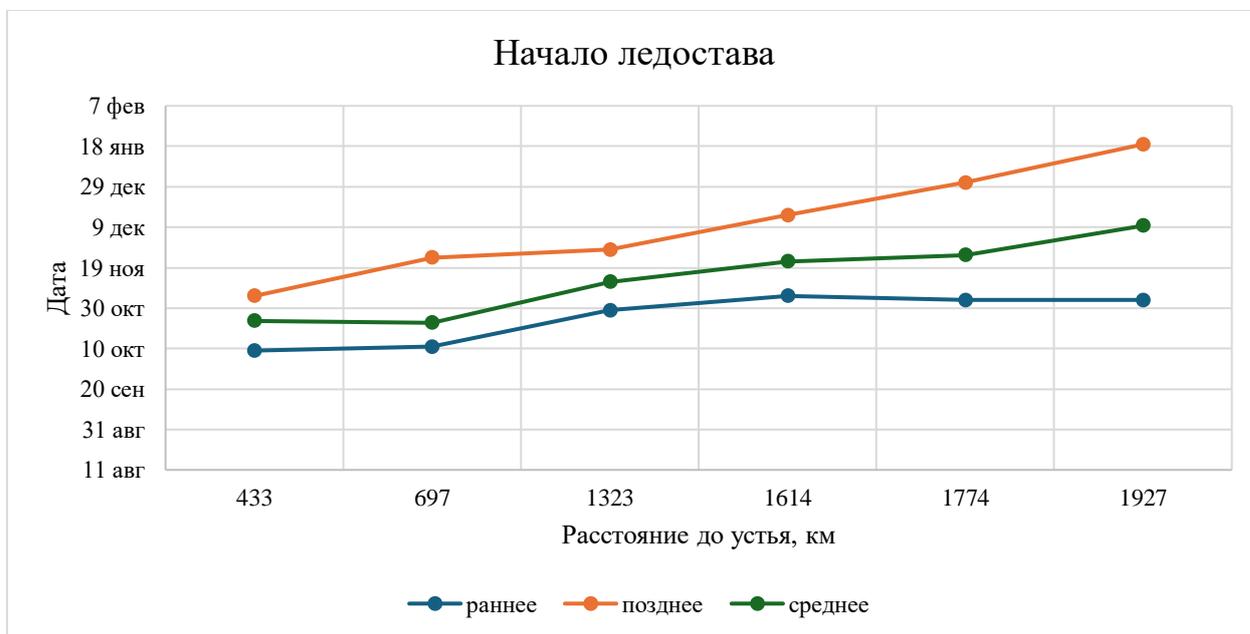


Рисунок 42 – График начала ледостава нижнего течения реки Енисей

На п. Дудинка – 433 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата начала ледостава в среднем приходилась на 23 октября, самая ранняя дата 9 октября, самая поздняя 5 ноября.

На п. Игарка – 697 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата начала ледостава в среднем приходилась на 22 октября, самая ранняя дата 11 октября, самая поздняя 24 ноября.

На п. Верхнеимбатск – 1323 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата начала ледостава в среднем приходилась на 12 ноября, самая ранняя дата 29 октября, самая поздняя 28 ноября.

На п. Подкаменная Тунгуска – 1614 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата начала ледостава в среднем приходилась на 22 ноября, самая ранняя дата 5 ноября, самая поздняя 15 декабря.

На п. Ярцево– 1774 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата начала ледостава в среднем приходилась на 25 ноября, самая ранняя дата 3 ноября, самая поздняя 31 декабря.

На п. Енисейск – 1927 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата начала ледостава в среднем приходилась на 9 декабря, самая ранняя дата 3 ноября, самая поздняя 19 января.

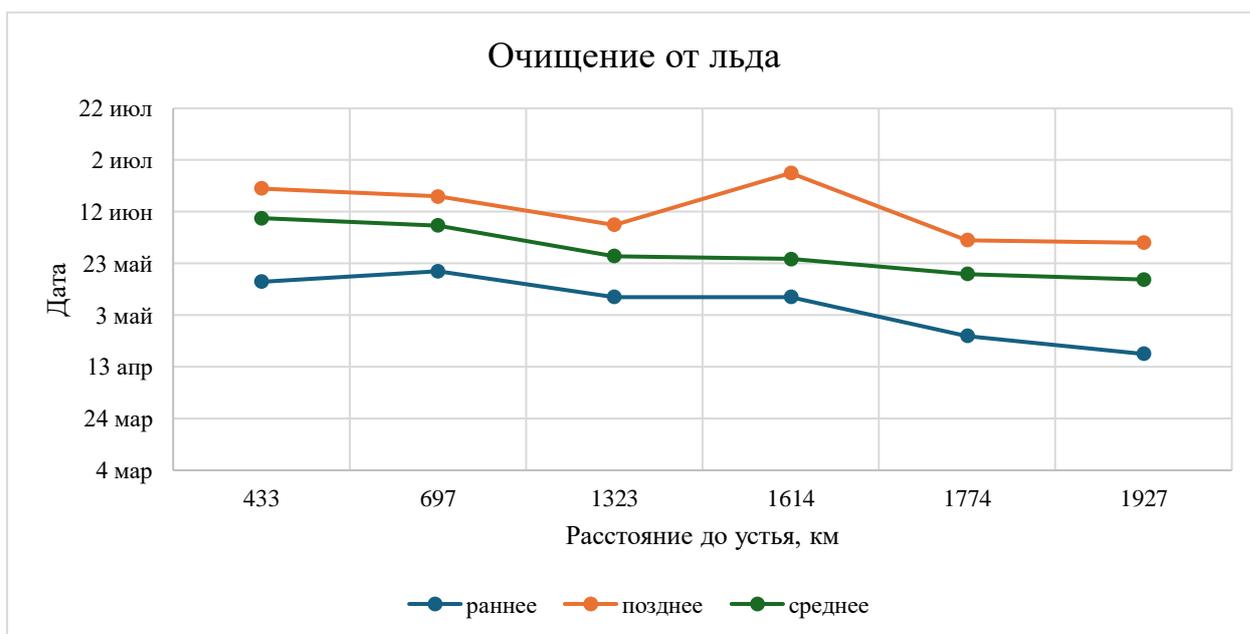


Рисунок 43 – График очищения ото льда нижнего течения реки Енисей

На п. Дудинка – 433 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата очищения ото льда в среднем приходилась на 9 июня, самая ранняя дата 16 мая, самая поздняя 21 июня.

На п. Игарка – 697 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата очищения ото льда в среднем приходилась на 6 июня, самая ранняя дата 20 мая, самая поздняя 18 июня.

На п. Верхнеимбатск – 1323 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата очищения ото льда в среднем приходилась на 25 мая, самая ранняя дата 10 мая, самая поздняя 7 июня.

На п. Подкаменная Тунгуска– 1614 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата очищения ото льда в среднем приходилась на 24 мая, самая ранняя дата 10 мая, самая поздняя 27 июня.

На п. Ярцево – 1774 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата очищения ото льда в среднем приходилась на 18 мая, самая ранняя дата 25 апреля, самая поздняя 1 июня.

На п. Енисейск – 1927 км от устья р. Енисей в период с 1950 по 2018 гг. дата очищения ото льда в среднем приходилась на 16 мая, самая ранняя дата 18 апреля, самая поздняя 31 мая.

Логично визуально представить динамику ледовых процессов для каждого гидрологического поста нижнего Енисея. Для такого исследования были построены хронологические графики весеннего ледохода, осеннего ледохода, начала ледостава и очищения ото льда в период с 1950-2018 гг.

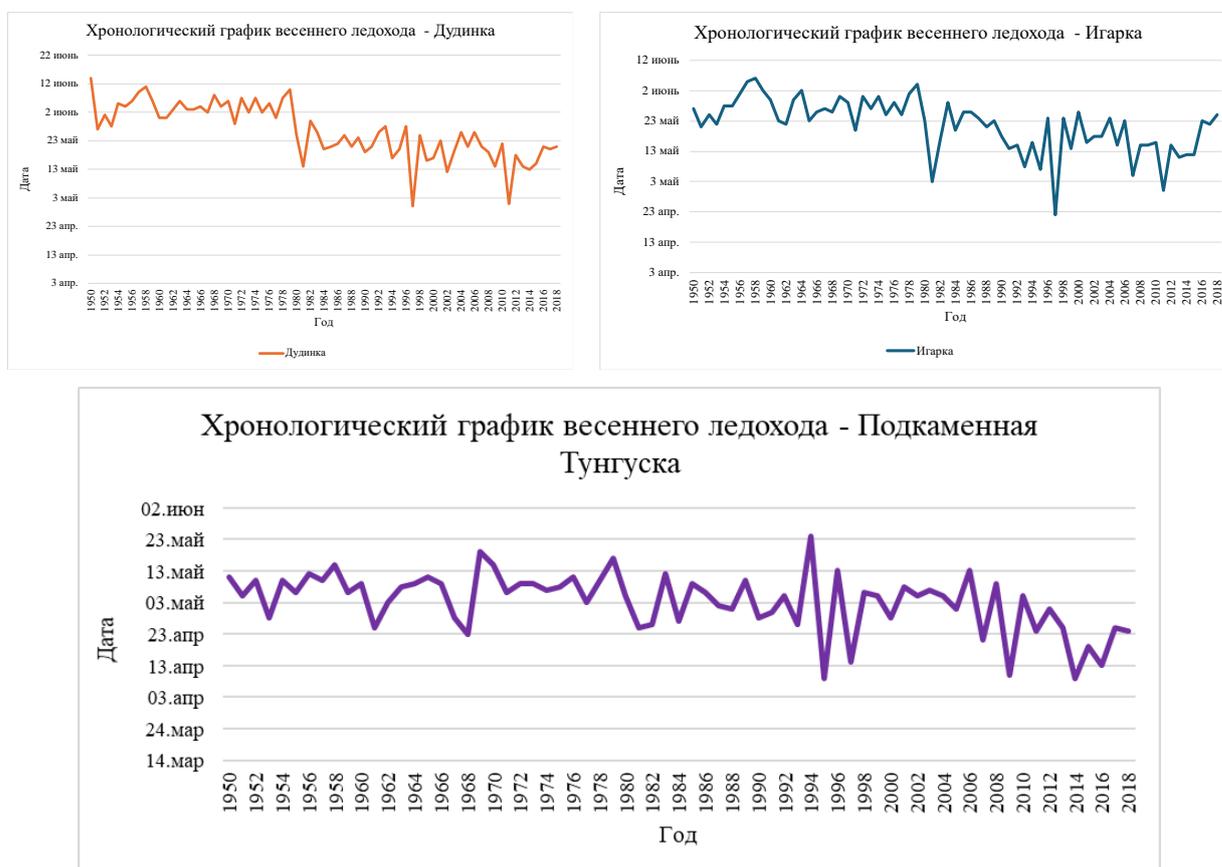


Рисунок 44 – Хронологические графики весеннего ледохода р. Енисей – п. Дудинка, п. Игарка, п. Подкаменная Тунгуска

Анализ производился на шести гидрологических постах: р. Енисей – п. Дудинка, п. Игарка, п. Подкаменная Тунгуска, п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск. Графики на р. Енисей – п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск предоставлены в (Приложении 3, рис. 1).

Хронологический график на р. Енисей – п. Дудинка показывает, что самая ранняя дата весеннего ледохода – в 1997 году 30 апреля, а самая поздняя в 1950 году 14 июня. Хронологический график на р. Енисей – п. Игарка показывает, что самая ранняя дата весеннего ледохода – в 1997 году 22 апреля, а самая поздняя в 1958 году 6 июня. Хронологический график на р. Енисей – п. Подкаменная Тунгуска показывает, что самая ранняя дата весеннего ледохода – в 1995 году 9 апреля, а самая поздняя в 1994 году 24 мая. Можно сделать вывод, что весенний ледоход со временем стал раньше.



Рисунок 45 – Хронологический график осеннего ледохода р. Енисей – п. Верхнеимбатск, п. Подкаменная Тунгуска

Исследование проводилось на двух гидрологических постах: р. Енисей – п. Верхнеимбатск, п. Подкаменная Тунгуска. Анализ хронологического графика осеннего ледохода на р. Енисей – п. Верхнеимбатск за период наблюдений с 1950 по 2018 гг. показывает, что наблюдается тенденция к стабилизации сроков осеннего ледохода, особенно с начала 1990-х годов, чаще фиксируется в середине октября. Несмотря на это, сдвиг на более поздние даты в отдельных годах может свидетельствовать о потеплении климата. Такая динамика может быть обусловлена как природными климатическими колебаниями, так и антропогенным влиянием.

Анализ хронологического графика осеннего ледохода на р. Енисей – п. Подкаменная Тунгуска за период наблюдений с 1950 по 1988 гг. демонстрирует тенденцию к смещению на более поздние даты. В период с 1950 по 1970 гг. осенний ледоход в основном происходил в начале – середине октября, а с конца 1970-х годов фиксируются более поздние даты, вплоть до начала декабря. Поздний осенний ледоход зафиксирован в 1978 году.

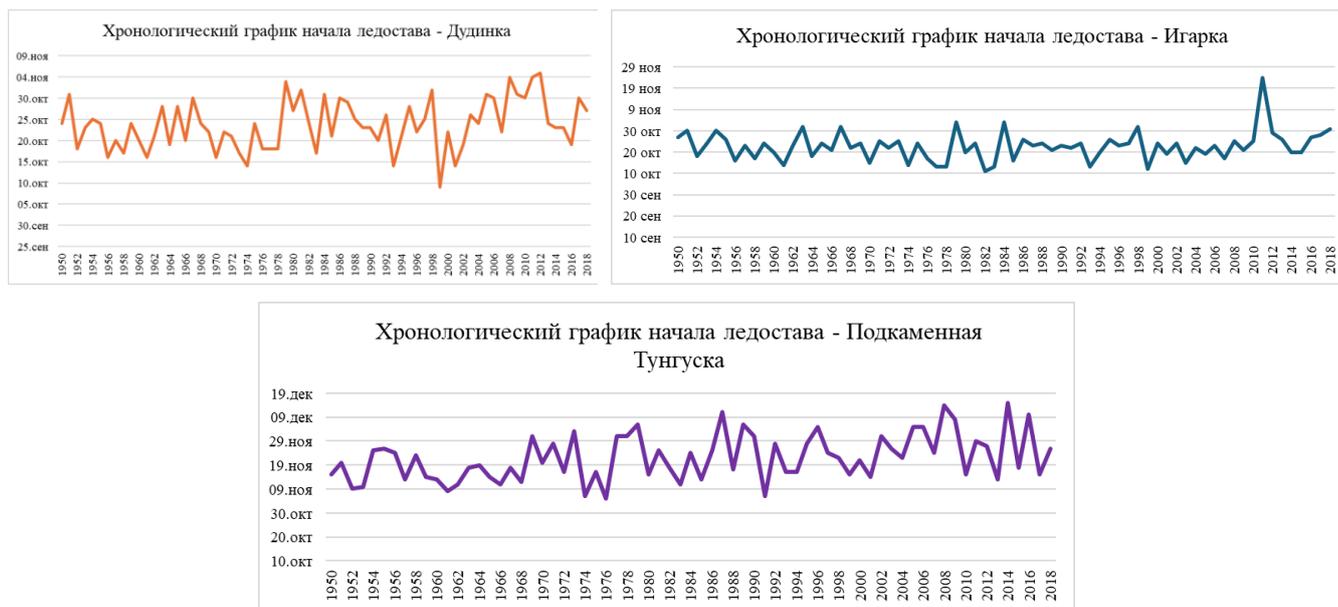


Рисунок 46 – Хронологический график начала ледостава р. Енисей – п. Дудинка, п. Игарка, п. Подкаменная Тунгуска

Анализ производился на шести гидрологических постах: р. Енисей – п. Дудинка, п. Игарка, п. Подкаменная Тунгуска, п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск. Графики на р. Енисей – п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск предоставлены в (Приложении 3, рис. 2).

Хронологический график на р. Енисей – п. Дудинка в период с 1950 по 2018 гг. показывает межгодовую изменчивость – резкие колебания от года к году. С 1950 по 1980 гг. начало ледостава преимущественно в октябре, чаще – в первой или середине месяца. Начиная с 1980-х годов наблюдается тенденция к позднему наступлению ледостава, ближе к концу октября и началу ноября. С 2000 по 2018 гг. начало ледостава в среднем позже, чем в середине двадцатого века. На р. Енисей – п. Игарка за весь период наблюдений с 1950 по 2018 гг.

сильных изменений не наблюдалось, начало ледостава приходилось на двадцатые числа октября.

Хронологический график на р. Енисей – п. Подкаменная Тунгуска в период наблюдений с 1950 по 2018 гг. показывает, что начало ледостава варьируется в широких пределах – от конца октября до середины декабря. С 1950 по 1980 гг. даты начала ледостава относительно стабильны и в основном приходятся на начало или середину ноября. С середины 1980-х годов прослеживается тенденция к позднему наступлению ледостава. После 2000 года график показывает устойчиво поздние сроки наступления ледостава – ближе к декабрю.

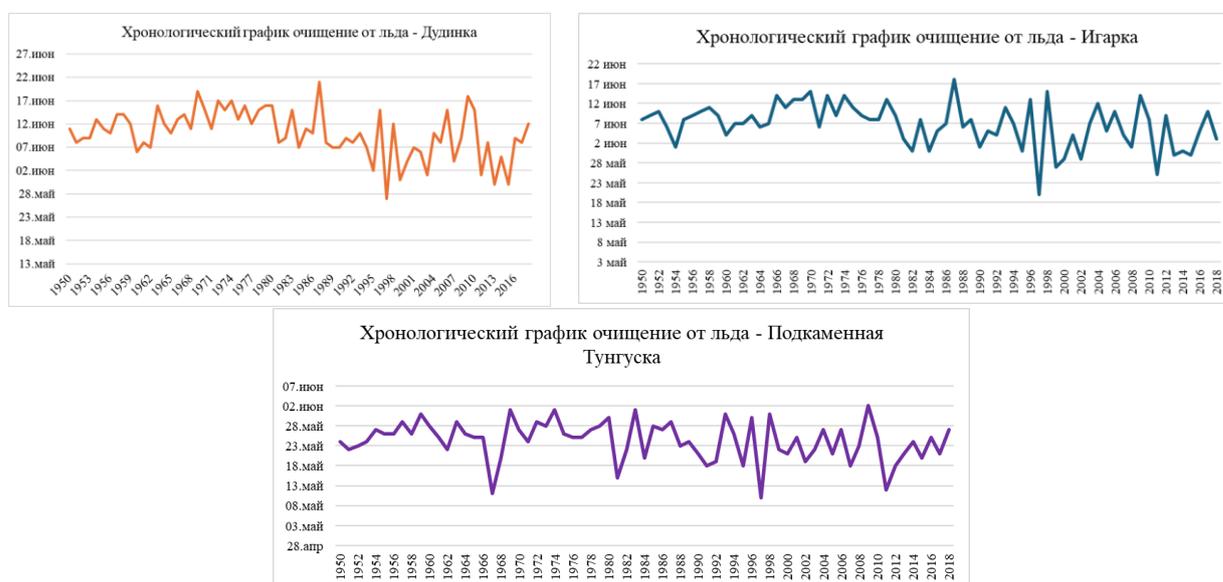


Рисунок 47 – Хронологический график очищения ото льда р. Енисей – п. Дудинка, п. Игарка, п. Подкаменная Тунгуска

Анализ производился на шести гидрологических постах: р. Енисей – п. Дудинка, п. Игарка, п. Подкаменная Тунгуска, п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск. Графики на р. Енисей – п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск предоставлены в (Приложении 3, рис. 3).

Хронологический график на р. Енисей – п. Дудинка в период наблюдений с 1950 по 2018 гг. показывает, что с 1950-х до начала 1990-х годов даты вскрытия реки в среднем приходятся на 10-15 июня. После 1995 года

наблюдается тенденция к более раннему вскрытию – в конце мая или начале июня. В 2000-х годах колебания усиливаются, появляются как ранние, так и поздние вскрытия. Наиболее ранние даты вскрытия зафиксированы в 1997, 1999, 2003 и 2013 годах – примерно 27 – 1 июня. Это может быть связано с аномально тёплой весной или меньшим количеством льда. Самые поздние даты вскрытия отмечаются в 1969, 1987 и 2009 годах – около 18-22 июня. Это говорит о холодной весне и устойчивом ледяном покрове. Переход от раннего к позднему вскрытию может происходить за 1-2 года (например, 1994-1996) что говорит о высокой межгодовой изменчивости.

Хронологический график на р. Енисей – п. Игарка в период наблюдений с 1950 по 2018 гг. демонстрирует наличие тенденции к более раннему освобождению ото льда с начала 1990-х годов. Средняя дата вскрытия сместилась с 10-12 июня (в 1950-1980-х гг.) к концу мая – началу июня в последние десятилетия. Наиболее ранние вскрытия приходятся на 1997 и 2011 годы, наиболее поздняя на 1987 год.

Хронологический график на р. Енисей – п. Подкаменная Тунгуска в период наблюдений с 1950 по 2018 гг. показывает наличие межгодовой изменчивости сроков очищения ото льда, с тенденцией к смещению на более ранние сроки в последние десятилетия. Наиболее ранняя дата очищения ото льда в 1997 году – 10 мая, а наиболее поздняя в 2009 году - 2 июня.

Изменение уровней воды по створам реки Енисей

Для анализа динамики максимального стока по нижнему течению реки Енисей были рассмотрены графики ежедневных уровней воды на трёх гидрологических постах: р.Енисей –п. Игарка, п. Подкаменная Тунгуска, п. Енисейск. Период наблюдений с 2008 по 2022 гг.

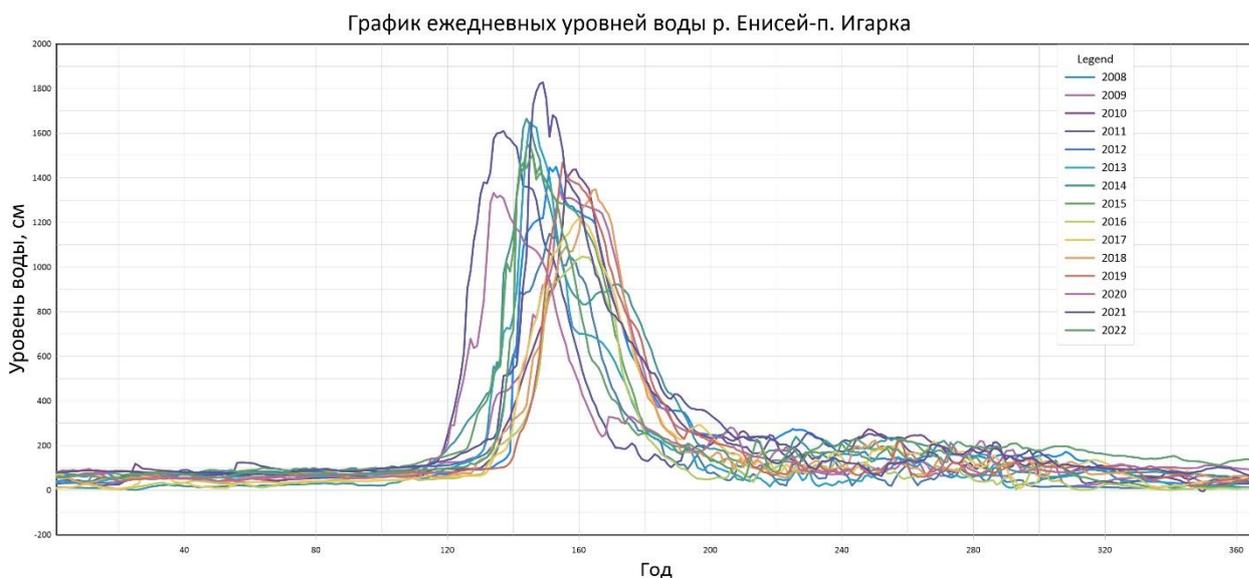


Рисунок 48 – График ежедневных уровней воды р. Енисей – п. Игарка

На рисунке 48 – видно, что на гидрологическом посту Игарка присутствуют наиболее резкие и высокие пики уровня воды, достигающие 1800-1900 см в отдельные годы. Форма гидрографа выражено паводочная, с быстрым подъёмом и относительно быстрым спадом, что указывает на ограниченное регулирование стока и сильное влияние весеннего снеготаяния.

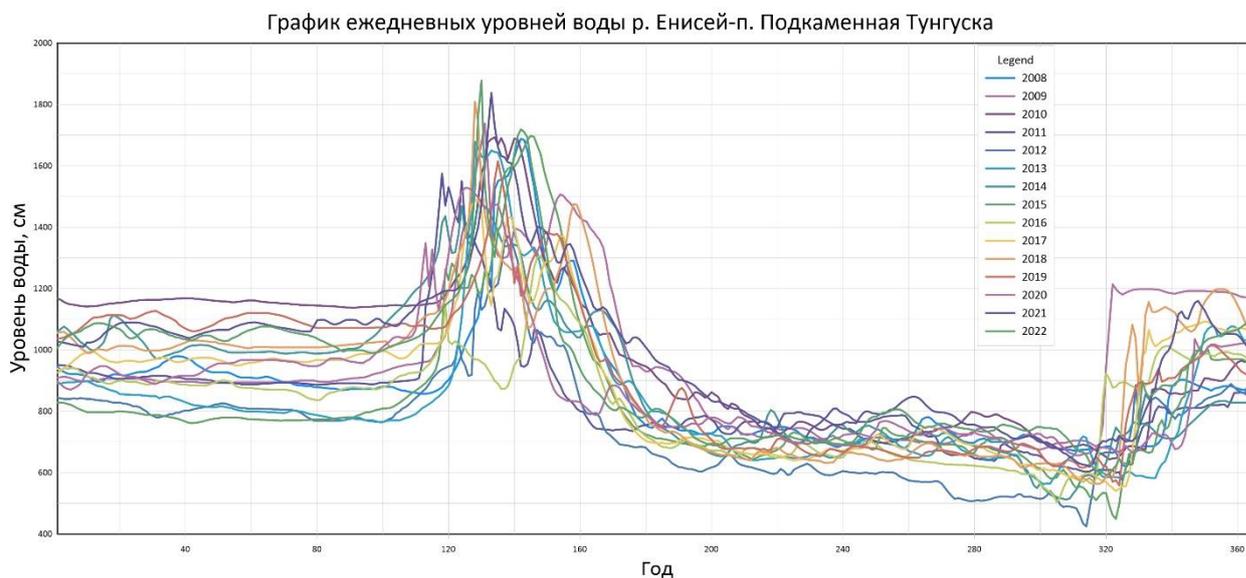


Рисунок 49 – График ежедневных уровней воды р. Енисей – п. Подкаменная Тунгуска

На рисунок 49 – видно, что гидрологический пост Подкаменная Тунгуска похож по динамике на Игарку, но уровни воды на нём более

сглажены, пики наблюдаются в пределах 1600-1800 см. Отмечается большое количество лет с выраженным вторым подъёмом уровня воды в конце года, вероятно, это происходит за счёт ледовых явлений. Это также может указывать на большую зарегулированность стока или влияние подпора.

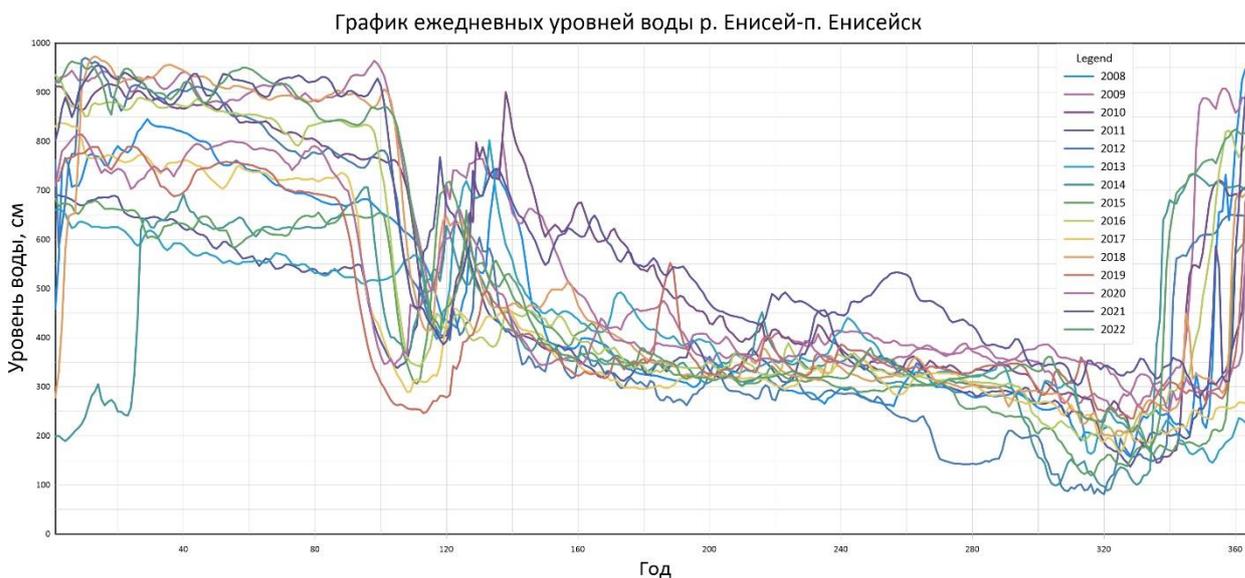


Рисунок 50 – График ежедневных уровней воды р. Енисей – п. Енисейск

На рисунке 50 – видно, что гидрологический пост Енисейск характеризуется значительно меньшей амплитудой колебаний уровня воды. Максимальные значения редко превышают 900 см, а в некоторые годы максимум вообще ярко не выражен. Гидрограф более сглажен, весенний пик часто смещён и пониженный, что связано с сильным регулированием стока Красноярской и Майнской ГЭС, которые расположены выше по течению. Наблюдается устойчивый зимний подпор в виде высоких уровней воды в холодный период. На гидрологическом посту Енисейск в первые три месяца года отмечаются: в 2008 году – забереги, средний и густой шугоход, подо льдом шуга и ледостав; в 2009 году – подо льдом шуга; в 2010 году – подо льдом шуга и ледостав с торосами; в 2011 году – подо льдом шуга и ледостав с торосами; в 2012 году – подо льдом шуга и ледостав с торосами; в 2013 году – ледостав; в 2014 году – забереги, средний и густой шугоход, подо льдом шуга, ледостав

с торосами; в 2015 году – подо льдом шуга, неполный ледостав; с 2016 по 2022 год – ледостав с торосами и подо льдом шуга.

После анализа трёх графиков, можно сделать вывод, что максимальный сток уменьшается в направлении от Игарки к Енисейску, то есть по мере продвижения вниз по течению. Обусловлено это как природными условиями, так и деятельностью человека. Это связано с увеличением степени зарегулированности сток (ГЭС), с растущим гидравлическим подпором, с геоморфологическими особенностями русла и климатическими условиями. Наиболее выраженные максимумы наблюдаются в Игарке, а минимальные – в Енисейске. Это указывает на необходимость учёта пространственного изменения гидрологического режима при разработке прогнозов и управлении водными ресурсами.

2.3 Режим твердого стока

Твердый сток представляет собой совокупность минеральных и органических частиц, транспортируемых речным потоком в виде взвешенных и донных наносов. Он играет ключевую роль в формировании речных русел, дельт и приустьевых отложений, а также оказывает значительное влияние на морские экосистемы.

Согласно данным Национального атласа России, модули твердого стока в нижнем течении Енисея составляют от 0,9 до 1,5 т/км² в год, что значительно ниже по сравнению с горными участками реки, где они достигают 50–60 т/км² в год. Это обусловлено снижением скорости течения, аккумуляцией наносов и влиянием водохранилищ на регуляцию стока. [7]

Серьезное воздействие на твердый сток оказывает Красноярская ГЭС, введенная в эксплуатацию в 1967 году. Регулирование стока привело к значительному снижению транспортировки наносов: если до строительства гидроузла годовой твердый сток составлял порядка 13,2 млн тонн, то после –

не более 4,7 млн тонн. Основная часть наносов осаждается в Красноярском водохранилище, практически не достигая нижнего течения. [8]

Мутность воды является важным показателем, отражающим концентрацию взвешенных наносов в водотоке. В нижнем течении Енисея мутность воды, как правило, невысокая и подвержена сезонным колебаниям, достигая максимума в паводковый период. Основными источниками взвешенных наносов являются эрозия берегов, смыв с водосборной площади, а также деятельность человека.

После строительства гидроэлектростанций количество взвешенных наносов, поступающих в нижнее течение, существенно сократилось. Это связано с тем, что большая часть наносов осаждается в водохранилищах, особенно в Красноярском. Как следствие, мутность воды в нижнем течении Енисея снизилась.

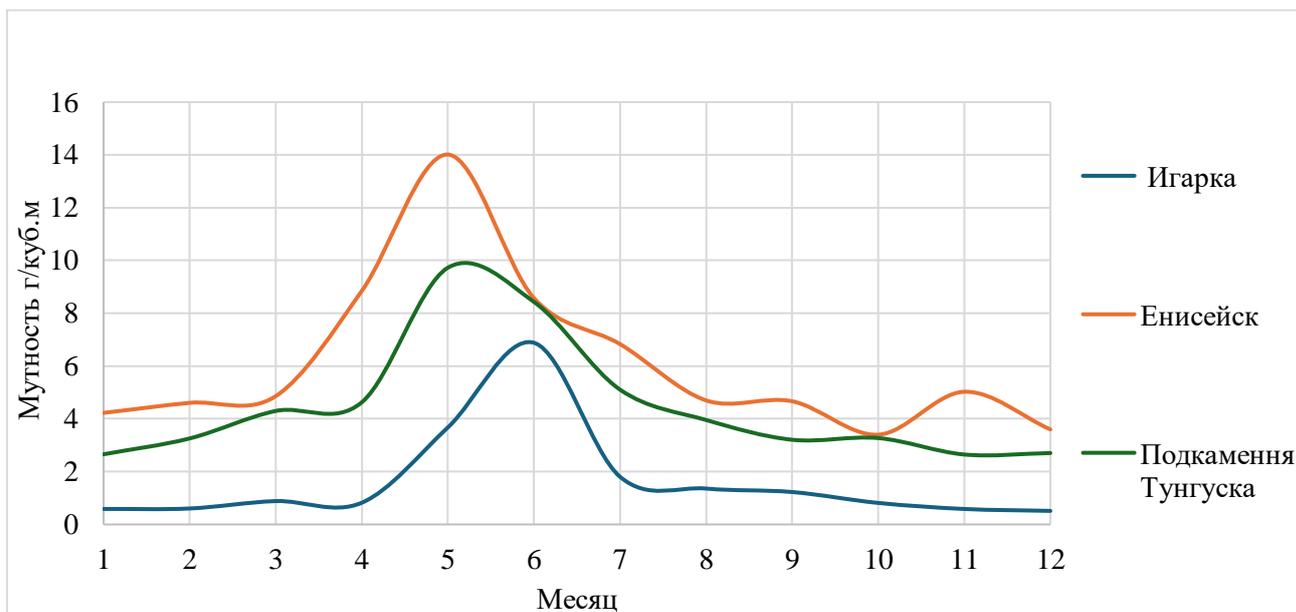


Рисунок 51 – Мутность воды на р. Енисей – п. Игарка, п. Енисейск, п. Подкаменная Тунгуска

На рисунке 51 видно, что максимальные значения мутности для все трёх гидрологических постов приходятся на май – июнь, что совпадает с периодом весеннего половодья. После летнего пика значения мутности плавно снижаются, оставаясь на минимальном уровне в зимние месяца. Таким образом, можно сделать вывод, что пространственно-временное

распределение мутности на нижнем течении реки Енисей отражает сезонную динамику водного режима, влияние естественных и антропогенных факторов.

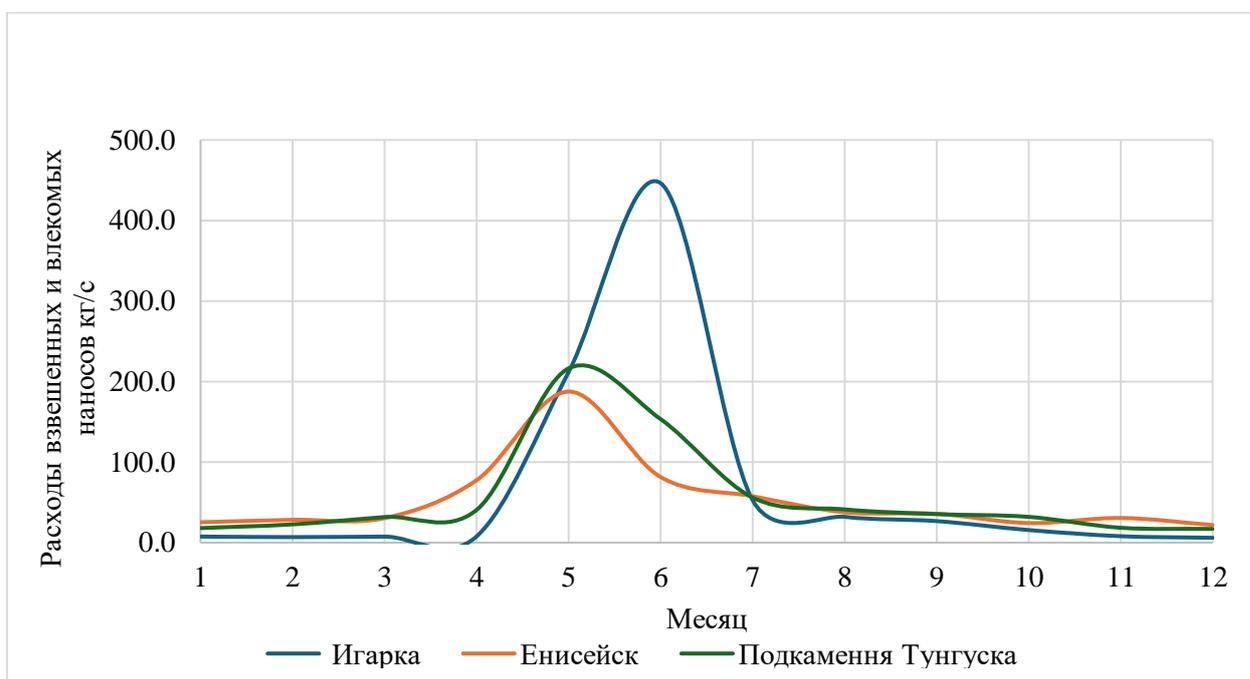


Рисунок 52 – Расходы взвешенных и влекомых наносов на р. Енисей – п. Игарка, п. Енисейск, п. Подкаменная Тунгуска

На рисунке 52 – видно, что наибольшие расходы наносов наблюдаются в период весеннего половодья (май-июнь), что связано с активным снеготаянием. Гидрологический пост Игарка фиксирует наибольшие значения, что указывает на поступление большого объёма наносов с верховий Енисея. Гидрологический пост Енисейск демонстрирует более сглаженную кривую, вероятно, из-за влияния Красноярской ГЭС и каскада водохранилищ, задерживающих наносы. Гидрологический пост Подкаменная Тунгуска показывает промежуточный характер – локальный приток с меньшей антропогенной трансформацией. Таким образом, график расходов наносов вдоль нижнего течения реки Енисей отражает, как естественные процессы (сезонность, притоковые влияния), так и техногенные особенности, связанные с регулированием стока.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была проанализирована многолетняя изменчивость основных элементов гидрологического режима нижнего течения реки Енисей. Включая водный и ледовый режимы, а также режим твердого стока, в условиях климатических и антропогенных трансформаций.

Проведённый анализ позволил сделать следующие основные выводы:

1. Водный режим нижнего течения реки Енисей характеризуется нарастанием среднегодовых расходов воды по мере продвижения вниз по течению, что обусловлено впадением крупных притоков и перераспределяющим воздействием Ангаро-Енисейского каскада. Зафиксированы фазы повышенной и пониженной водности, соответствующие климатическим аномалиям.

2. Ледовый режим демонстрирует устойчивую тенденцию к смещению сроков ледовых явлений на более ранние (вскрытие) и более поздние (замерзание) даты, что отражает влияние потепления климата. Особенно выражены эти изменения на участках ближе к устью (п. Дудинка, п. Игарка). Также отмечено сокращение продолжительности ледостава.

3. Режим твёрдого стока (мутность и наносы) изменился под воздействием гидротехнического строительства. После ввода в эксплуатацию Красноярской ГЭС наблюдается снижение мутности и количества наносов в нижнем течении реки Енисей.

4. Влияние ГЭС на гидрологический режим проявляется в виде сглаживания сезонных колебаний стока, повышения зимних уровней воды, изменения сроков ледообразования, уменьшения естественной подвижности русловых процессов.

В дальнейшем научное изучение гидрологического режима нижнего течения реки Енисей целесообразно развивать в следующих направлениях: разработка моделей прогнозирования водного и ледового режимов с учётом

сценариев климатических изменений; оценка влияния экстремальных гидрологических явлений (аномальных паводков, засух) на природно-хозяйственные системы региона; углубленный анализ водно-ледовых взаимодействий в дельтовой области и устьевой зоне Енисея.

Список использованной литературы

1. Федеральное агентство водных ресурсов Енисейского бассейнового водное управление. [Глава 1]
2. Гвоздецкий, Михайлов, 1978
3. Енисей / Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс]. URL: <https://bigenc.ru/c/enisei-9ea096?ysclid=m92uvhuf70439225024> (дата обращения: 4.04.2025.)
4. Зуев В.В., Уйманова В.А., Павлинский А.В. Современные особенности ледового режима Нижнего Енисея // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 3. С. 101–113. DOI:10.35567/19994508-2024-3-101-113. [Глава 1.2]
5. Климатическое районирование / Национальный атлас России. [Электронный ресурс]. URL: : <https://nationalatlas.ru/tom2/194-195.html>
6. Лапин С. А. Особенности формирования пресноводного стока в эстуарных системах Оби и Енисея // Среда обитания водных биологических ресурсов. Труды ВНИРО. 2017. Т. 166. С. 139 – 150.
7. Национальный атлас России. Том 2. Природные условия и ресурсы. — М.: Федеральное агентство геодезии и картографии России, 2008. — С. 194–195. URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/194-195.html> (дата обращения: 21.05.2025).
8. Условия обитания рыб в устьевой области Енисея. // Sibir.ArktikFish.com. — URL: <https://sibir.arktikfish.com/index.php/rybu-ustevykh-oblastej/947-glava-3-usloviya-obitaniya-ryb> (дата обращения: 21.05.2025).
9. История строительства Саяно-Шушенской ГЭС // РусГидро. – URL: <https://www.rushydro.ru/press/about/structure/ssges/>
10. Ввод первого гидроагрегата СШГЭС // Энергетика СССР. – 1978. – № 9. – С. 35–39.

11. Завершение строительства Саяно-Шушенской ГЭС // Гидроэнергетика России. – 1985. – № 4. – С. 10–16.
12. Режим регулирования СШГЭС // Научно-технический вестник РусГидро. – 2018. – № 6. – С. 52–58.
13. История строительства Майнской ГЭС // РусГидро. – URL: <https://www.rushydro.ru/press/about/structure/mainsk/>
14. Ввод первого агрегата Майнской ГЭС // Энергетика России. – 1985. – № 6. – С. 14–18.
15. Завершение строительства Майнской ГЭС // Вестник гидроэнергетики. – 1987. – № 3. – С. 22–27
16. Режим регулирования Майнской ГЭС // Научно-технический вестник РусГидро. – 2016. – № 5. – С. 40–45
17. История строительства Красноярской ГЭС // Сибирская энциклопедия. – URL: <https://www.krskgidro.ru/history>
18. Гидроагрегаты Красноярской ГЭС // РусГидро. – URL: <https://www.rushydro.ru/press/about/structure/krasnoyarskges>
19. Ввод в эксплуатацию Красноярской ГЭС // Гидроэнергетика России. – URL: <https://hydro.ru/stations/krasnoyarsk/>
20. Особенности регулирования стока Красноярской ГЭС // Научно-технический вестник. – 2020. – № 5(35). – С. 42–49.
21. История Хантайской ГЭС // РусГидро. – URL: <https://www.rushydro.ru/press/about/structure/khantaysk/>
22. Ввод в эксплуатацию первого агрегата Хантайской ГЭС // Вестник Норильска. – 1966. – № 5. – С. 8–12.
23. Открытие Хантайской ГЭС // Гидроэнергетика СССР. – 1970. – № 4. – С. 24–30.
24. Строительство Курейской ГЭС // РусГидро. – URL: <https://www.rushydro.ru/press/about/structure/kureysk/>
25. Ввод первого агрегата Курейской ГЭС // Вестник энергетики. – 2002. – № 6. – С. 22–26.

26. Курейская ГЭС: завершение строительства // Гидроэнергетика России. – 2007. – № 2. – С. 17–21.
27. Режим работы Курейской ГЭС // Энергетическая стратегия России. – 2010. – № 8. – С. 33–37.
28. История строительства Богучанской ГЭС // РусГидро. – URL: <https://www.rushydro.ru/press/about/structure/boguchan/>
29. Возобновление строительства Богучанской ГЭС // Гидроэнергетика России. – 2007. – № 3. – С. 12–18.
30. Первый пусковой комплекс БГЭС // Вестник энергетики. – 2012. – № 4. – С. 45–50.
31. Ввод в эксплуатацию Богучанской ГЭС // РусГидро. – URL: <https://www.rushydro.ru/press/news/2015/>
32. Тип регулирования Богучанской ГЭС // Энергетика и промышленность России. – 2016. – № 10. – С. 31–35.

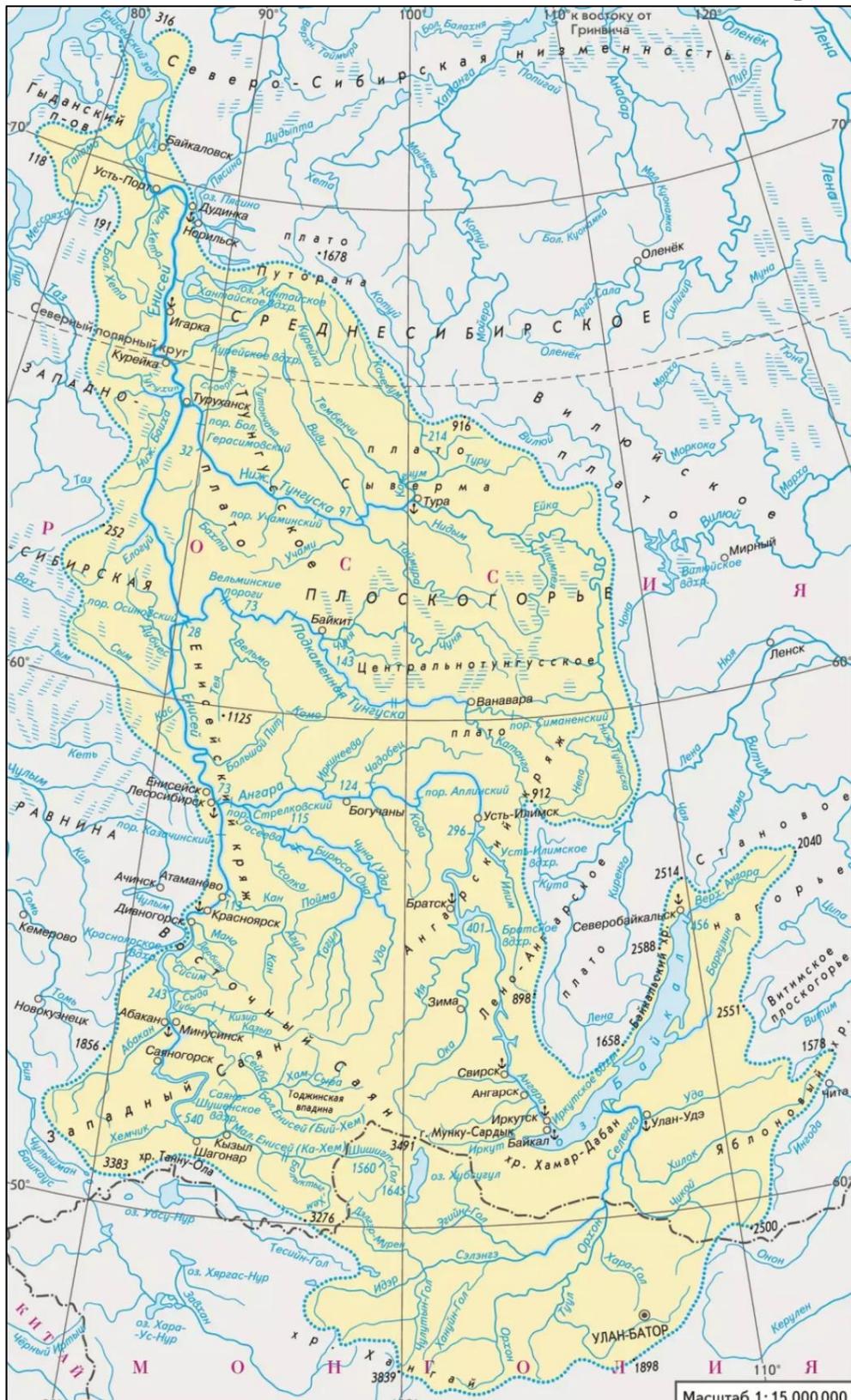


Рисунок – 1. Бассейн реки Енисей (границы показаны по состоянию на 1 октября 2022 г.) [БРЭ]

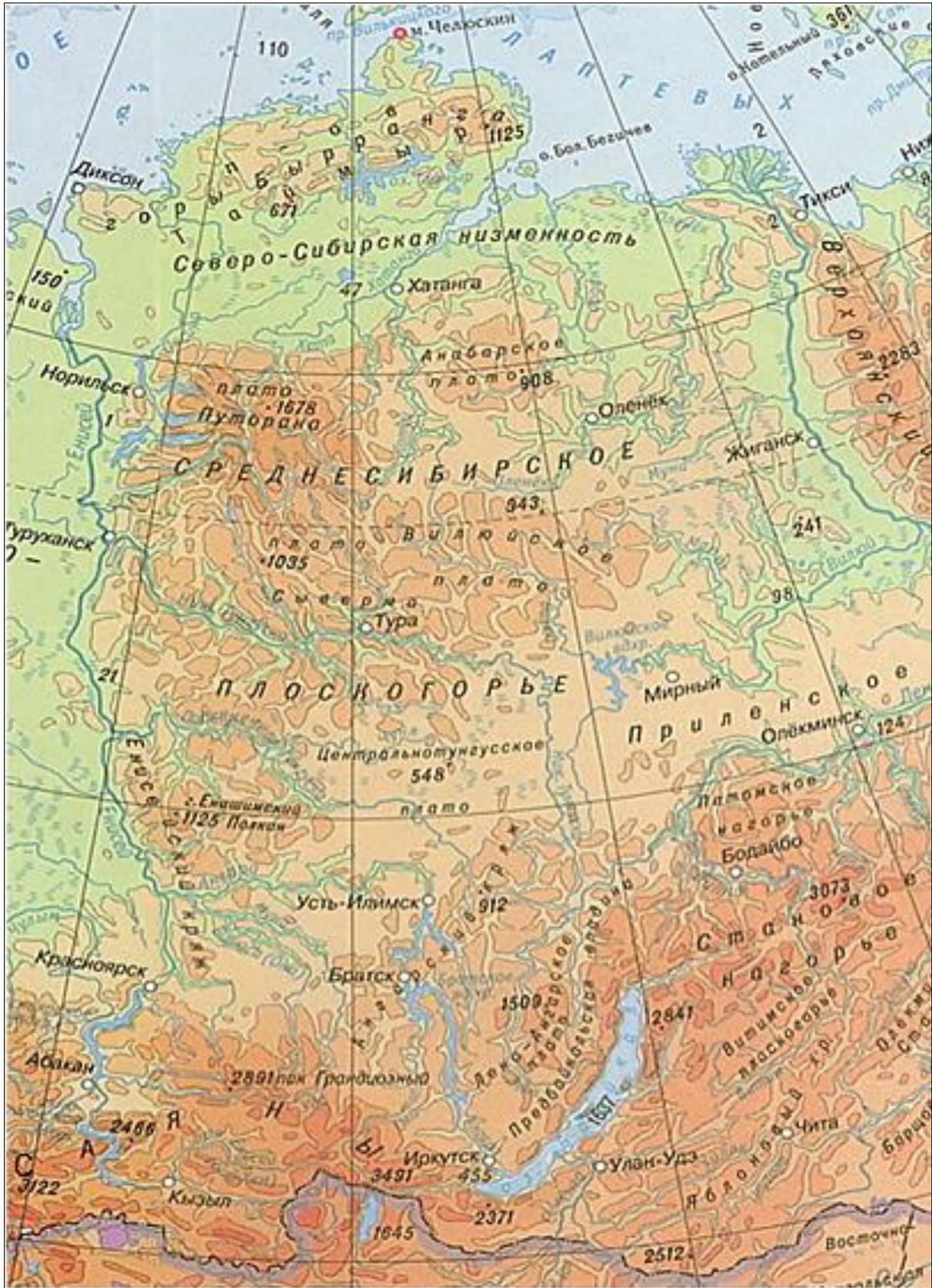


Рисунок – 2. Рельеф бассейна Енисея в пределах территории Российской Федерации [Приложение 1, рис. 2].

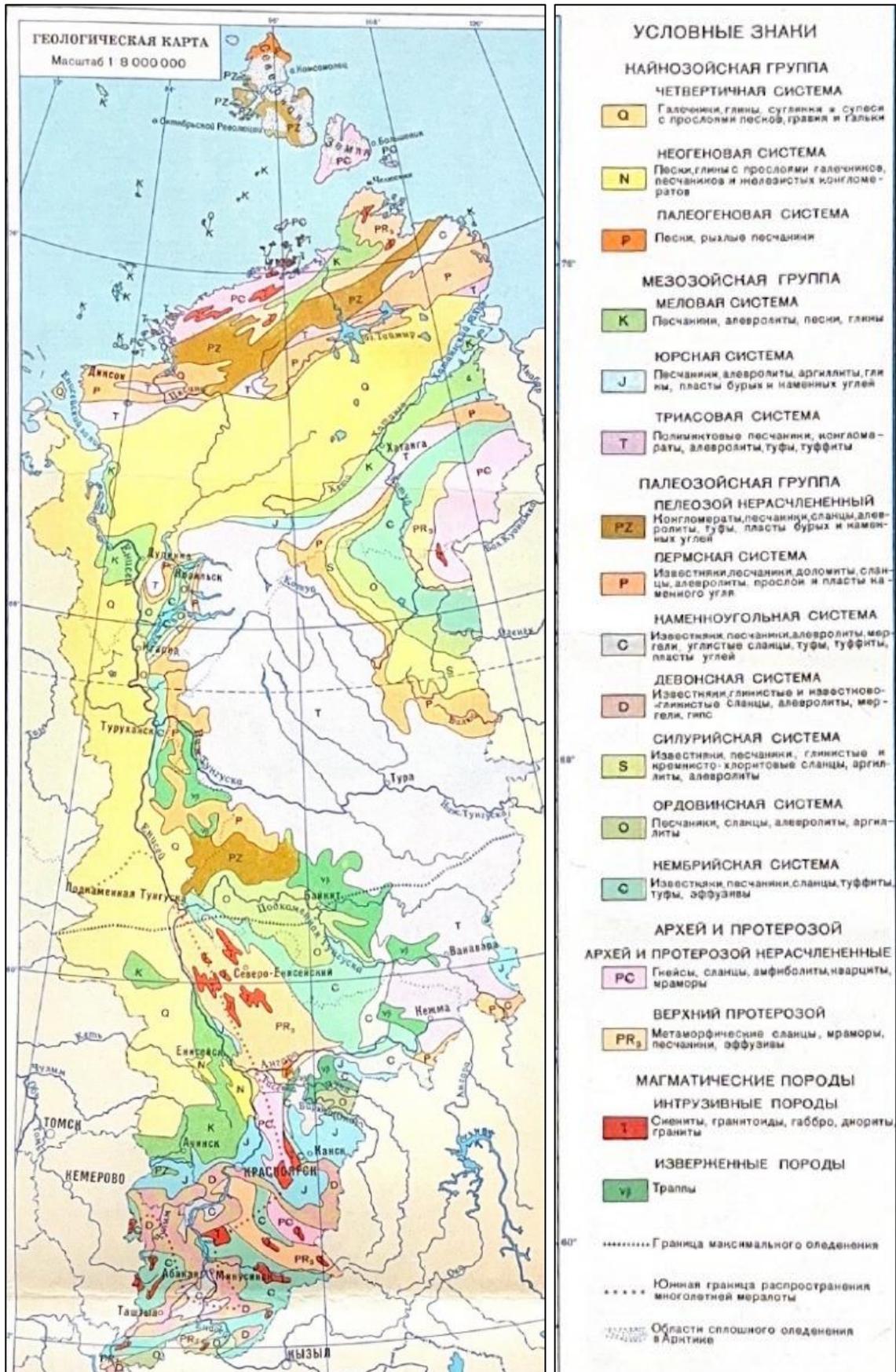


Рисунок 3 – Геологическая карта центральной бассейна реки Енисей в пределах Красноярского края [Приложение 1, рис. 3].

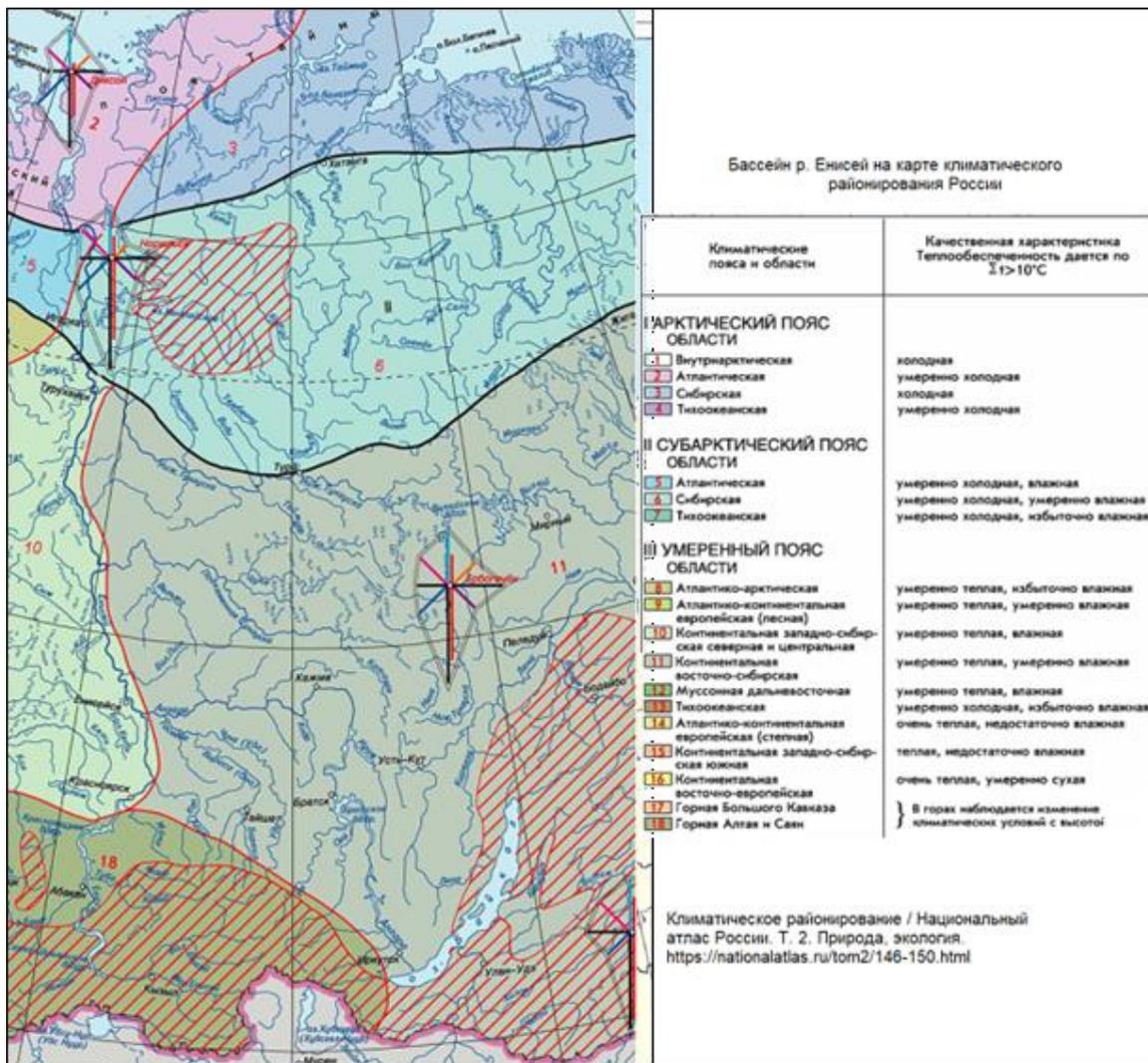


Рисунок 4 – Климатическое районирование бассейна реки Енисей

[Приложение 1, рис. 4]

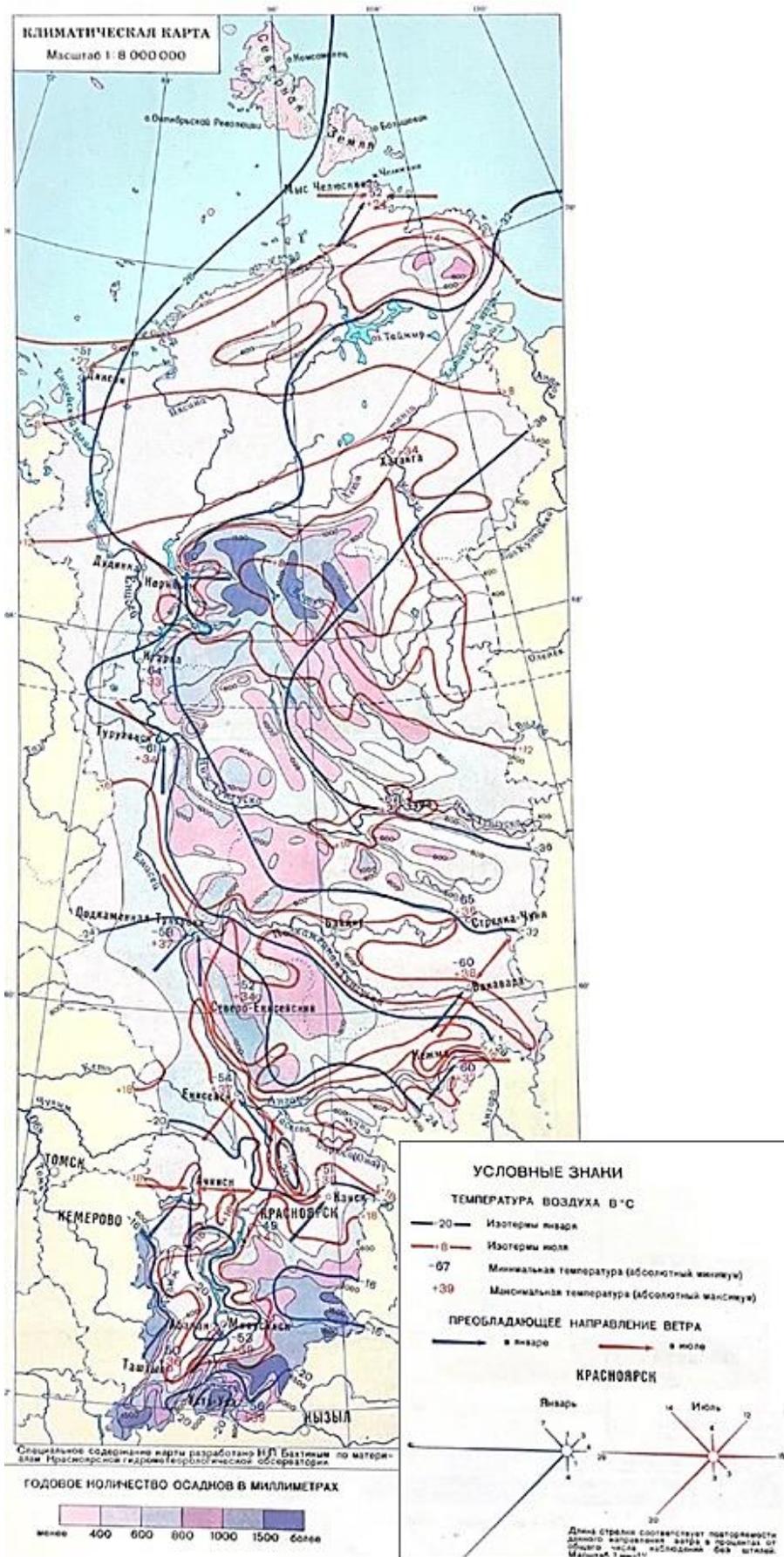


Рисунок 5 – Климатическая карта бассейна реки Енисей в пределах Красноярского края [Приложение 1, рис. 5].

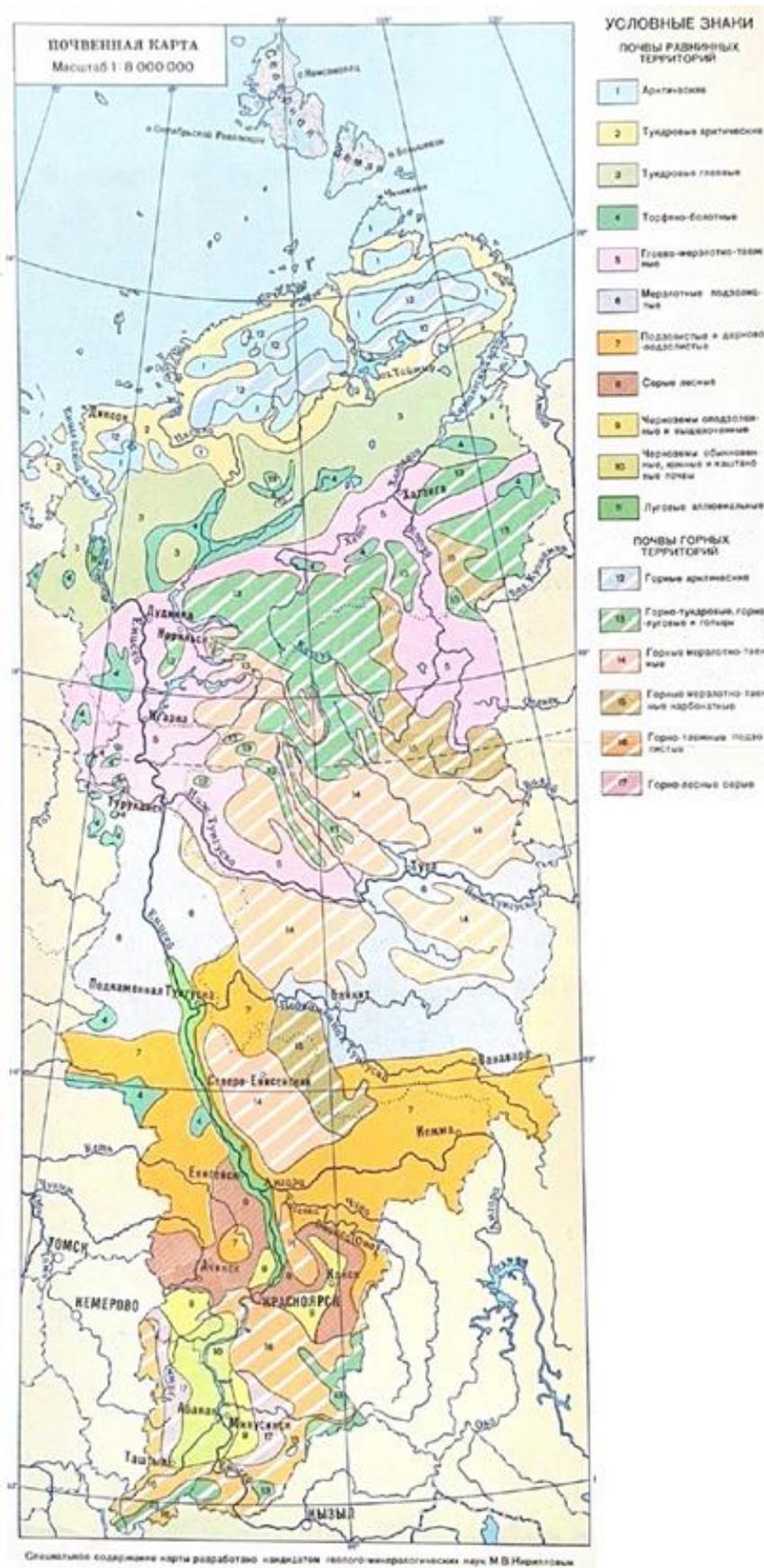


Рисунок 6 – Почвы бассейна Енисея в пределах территории Красноярского края [Приложение 1, рис. 6]

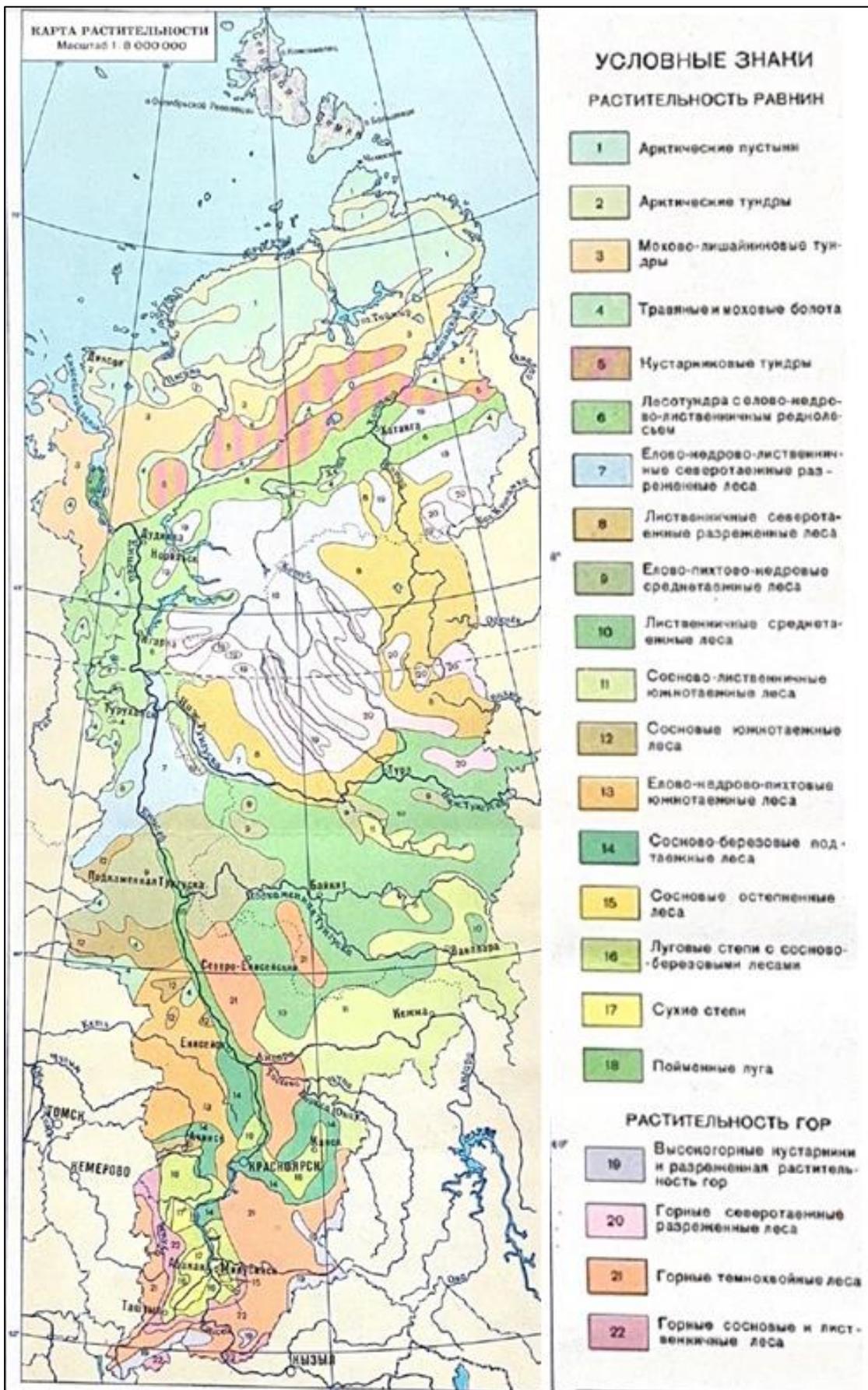


Рисунок 7 – Карта растительности бассейна реки Енисей в пределах Красноярского края [Приложение 1, рис. 7]

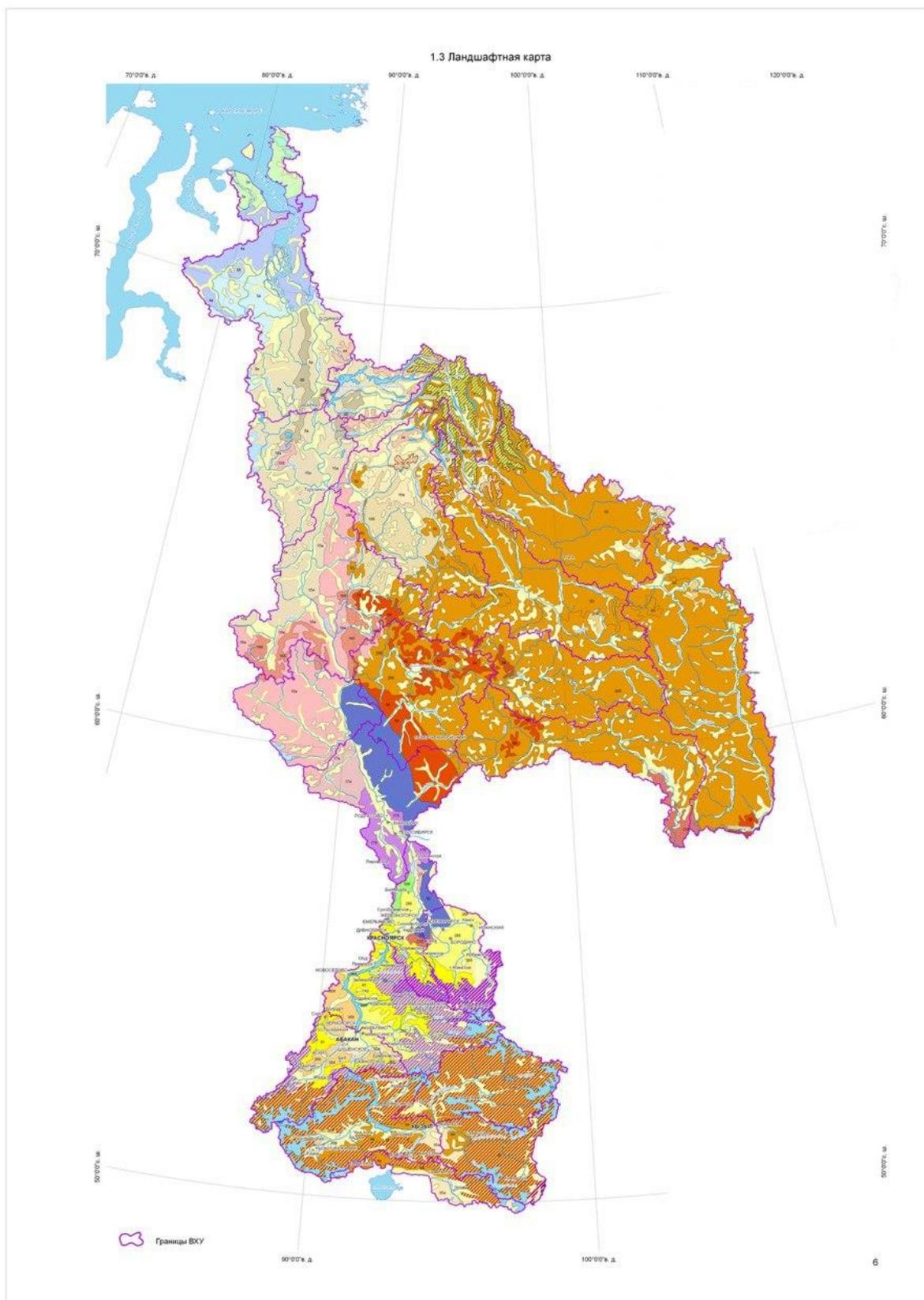


Рисунок 8 – Карта ландшафта реки Енисей в пределах территории Российской Федерации [Приложение 1, рис. 8]

Горные ландшафты		Высотно-ярусные и зонально-секторные типы ландшафтов	
		Равнинные ландшафты (а - низменные, б - возвышенные)	
42	Арктические полярнопустынные и арктотундровые (пояс горных арктических пустынь) нерасчлененные низко- и среднегорные	3а	Арктические арктотундровые низменные
44	Субарктические (горнотундровый пояс) европейские и сибирские нерасчлененные низко- и среднегорные	3б	Арктические арктотундровые возвышенные
52	Бореальные южнотаежные, подтаежные и лесостепные барьерно-дождевые (пояс темнохвойной и черновой тайги) западносибирские низкогорные	4а	Субарктические тундровые типичные европейские и Сибирские низменные
53	Бореальные северотаежные (редкостойнолиственный пояс) восточносибирские низкогорные	4б	Субарктические тундровые типичные европейские и Сибирские возвышенные
54	Бореальные среднетаежные (горнолиственный пояс) восточносибирские низкогорные	5а	Субарктические тундровые южные европейские и сибирские низменные
55	Бореальные южнотаежные и подтаежные (пояс горных лиственных и сосновых лесов) восточносибирские низкогорные	5б	Субарктические тундровые южные европейские и сибирские возвышенные
61	Суббореальные северные семигумидные (лесостепные) (пояс светлохвойных и березовых лесов) западносибирские низкогорные	8а	Субарктические лесотундровые сибирские низменные
64	Суббореальные типичные степные (горностепной пояс) центральноазиатские низкогорные	8б	Субарктические лесотундровые сибирские возвышенные
71	Субарктические лесотундровые (пояс горных холодных каменистых пустынь) европейские, сибирские и дальневосточные среднегорные	15а	Бореальные северотаежные западносибирские низменные
76	Бореальные северотаежные (пояс стлаников и лиственных редин) восточносибирские среднегорные	15б	Бореальные северотаежные западносибирские возвышенные
78	Бореальные южнотаежные и подтаежные (пояс горной темнохвойной тайги) восточносибирские среднегорные	16а	Бореальные среднетаежные западносибирские низменные
83	Суббореальные северные семигумидные (пояс темнохвойных лесов) западносибирские среднегорные	16б	Бореальные среднетаежные западносибирские возвышенные
85	Суббореальные типичные (пояс лиственных и кедрово-лиственных лесов с фрагментами горных степей) казахстанские и центральноазиатские среднегорные	17а	Бореальные южнотаежные западносибирские низменные
85	Суббореальные южные (аридные и экстрааридные) полупустынные и пустынные (пояс горных полупустынь и степей) центральноазиатские среднегорные	17б	Бореальные южнотаежные западносибирские возвышенные
93	Бореальные (гольцовый пояс) сибирские и дальневосточные высокогорные	18а	Бореальные подтаежные западносибирские низменные
94	Суббореальные северные и типичные (альпийский луговой пояс) высокогорные	18б	Бореальные подтаежные западносибирские возвышенные
		19а	Бореальные северотаежные восточносибирские низменные
		19б	Бореальные северотаежные восточносибирские возвышенные
		20а	Бореальные среднетаежные восточносибирские низменные
		20б	Бореальные среднетаежные восточносибирские возвышенные
		21а	Бореальные южнотаежные и подтаежные восточносибирские низменные
		21б	Бореальные южнотаежные и подтаежные восточносибирские возвышенные
		28а	Суббореальные северные гумидные лесостепные западносибирские низменные
		28б	Суббореальные северные гумидные лесостепные западносибирские возвышенные
		35а	Суббореальные типичные (семиаридные) степные и сухостепные с фрагментами полупустынных центральноазиатские низменные
		35б	Суббореальные типичные (семиаридные) степные и сухостепные с фрагментами полупустынных центральноазиатские возвышенные

Рисунок 9 – Условные знаки к карте ландшафта реки Енисей в пределах территории Российской Федерации [Приложение 1, рис. 9].

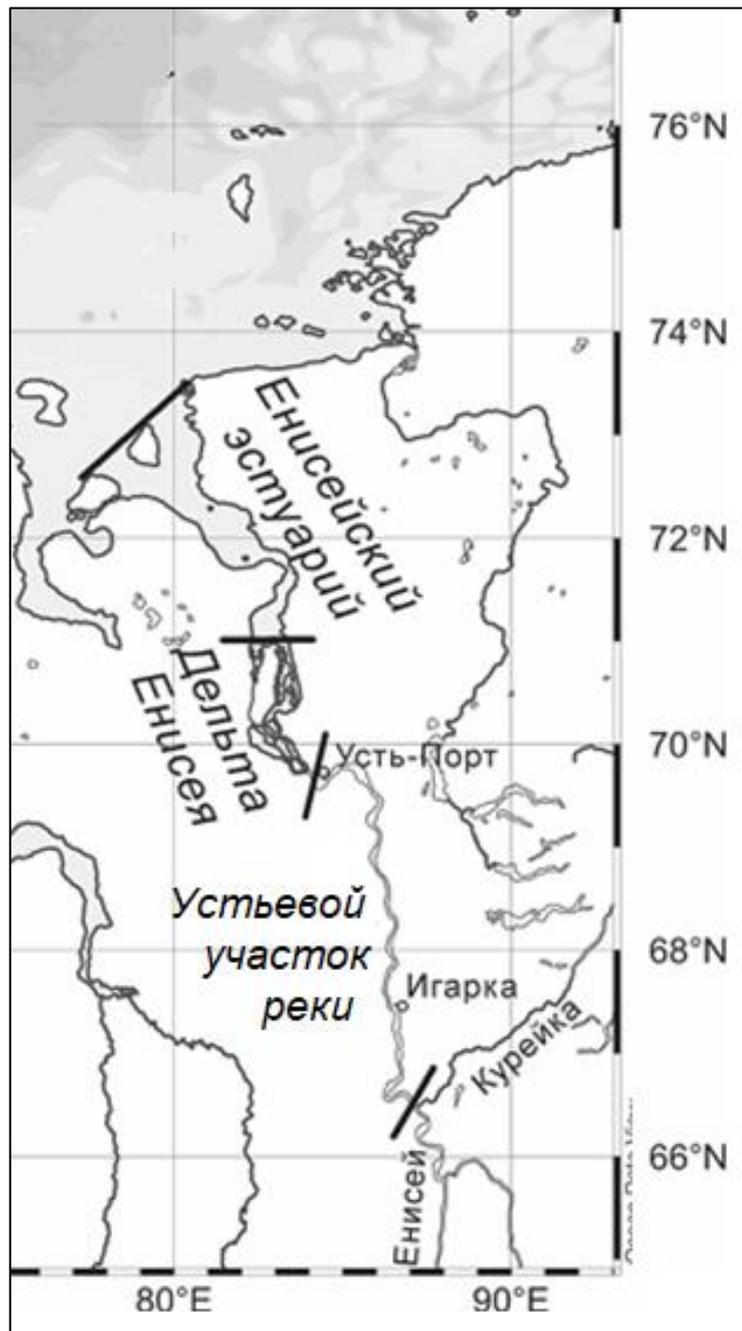


Рисунок – 1. Карта устьевой области реки Енисей по С. А. Лапину [6]



Рисунок 1 – Хронологический график весеннего ледохода р. Енисей – п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск

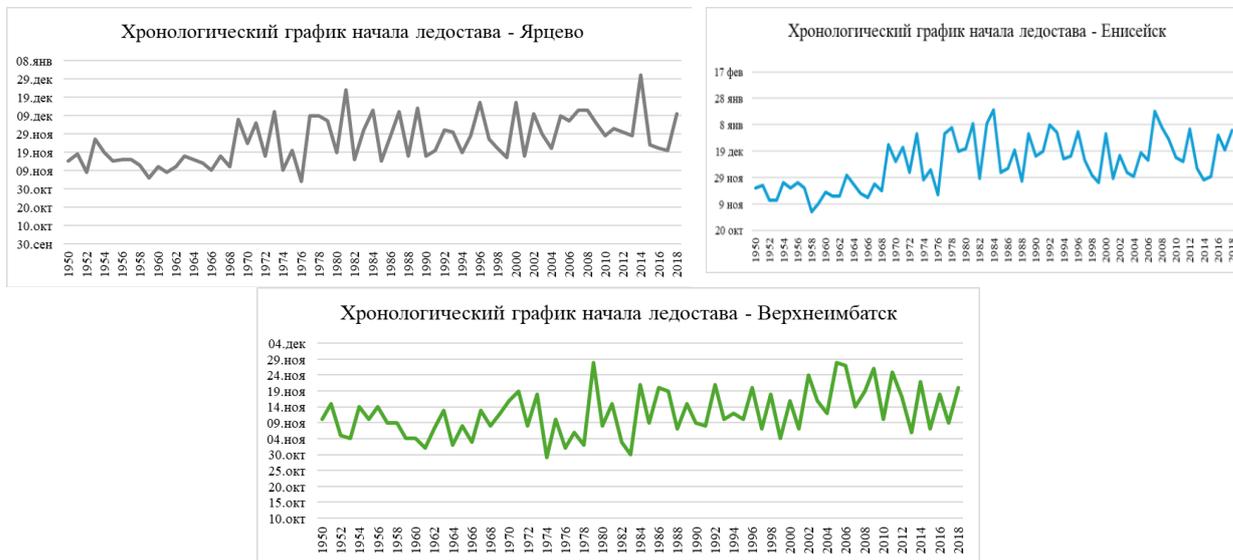


Рисунок 2 – Хронологический график начала ледостава р. Енисей – п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск

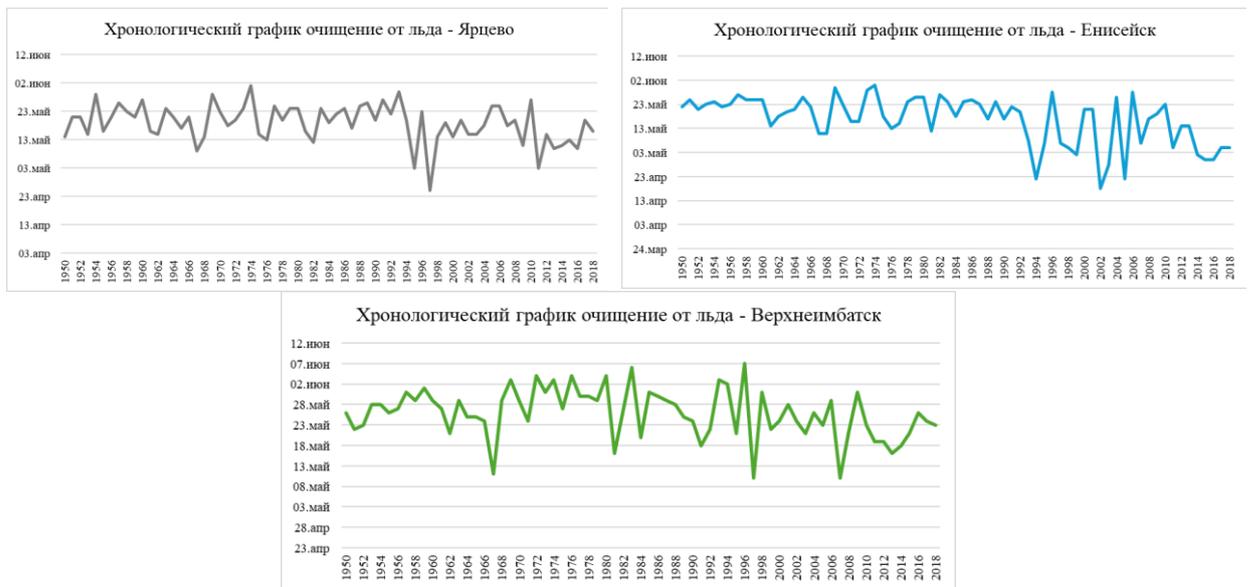


Рисунок 3 – Хронологический график очищения ото льда р. Енисей – п. Ярцево, п. Енисейск, п. Верхнеимбатск