



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 **Разработка геоинформационной  
гидрологической системы для  
территории Тюменской области**

Исполнитель Бородулин Егор Евгеньевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.т.н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Викторова Наталья Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

*Леся*

(подпись)

к.т.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«02 июня 2025г.

Санкт-Петербург

2025

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1    Физико-географическое описание территории Тюменской области .....	8
1.1    Климатическая характеристика .....	9
1.2    Рельеф и геологическое строение .....	14
1.3    Почвы и растительность .....	15
1.4    Гидрографическая сеть и гидрологический режим .....	17
2    Изученность вопроса и методы исследования .....	21
2.1    Изученность вопроса.....	21
2.2    Методы исследования .....	23
2.2.1    Статистическая обработка.....	23
2.2.2    Геоинформационные технологии .....	30
3    Оценка статистических характеристик среднемноголетнего годового стока и его изменчивости .....	38
3.1    Формирование базы данных.....	38
3.2    Приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду .....	45
3.3    Предварительный анализ исходных данных .....	45
3.4    Анализ однородности и стационарности гидрологических рядов .....	52
3.5    Построение эмпирических и аналитических кривых обеспеченностей и расчет параметров распределения.....	56
3.6    Картирование параметров распределений и анализ полученных карт ..	57
4    Создание гидрологической ГИС для территории Тюменской области ..	65
4.1    Создание базового ГИС проекта.....	65
4.1.1    Установка QGIS и создание нового проекта .....	65
4.1.2    Местоположение исследуемого района и система координат .....	71
4.1.3    Загрузка векторных слоев.....	72
4.1.4    Загрузка и подготовка цифровой модели поверхности.....	78
4.2    Создание геомоделей для гидрологической ГИС .....	82

4.2.1	Создание геомодели «Водосбор» .....	83
4.2.2	Создание геомодели «Картрирование» .....	89
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	92
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	94
	ПРИЛОЖЕНИЕ А – Результаты приведения коротких рядов к многолетнему периоду .....	96
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Анализ однородности и стационарности .....	100
	ПРИЛОЖЕНИЕ В – Параметры распределения.....	122
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Погрешности построения водосборных площадей...	129

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- QGIS – свободная кроссплатформенная ГИС
- ГИС – географическая информационная система
- ЯНАО – Ямало – Ненецкий автономный округ
- ХМАО – Ханты – Мансийский автономный округ
- ЦМР – Цифровая модель рельефа
- ЦМП – Цифровая модель поверхности
- QGIS – свободная кроссплатформенная ГИС

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость создания географической информационной системы (ГИС) для решения различного рода задач в гидрологии остается актуальной по сей день. Как для целой территории Российской Федерации, так и для регионов в отдельности эта задача является необходимой. В связи территориальными особенностями нашего государства особенное внимание здесь стоит уделить созданию именно региональных гидрологических ГИС. Наличие подобных геоинформационных систем, если не для каждого, то хотя бы для самых востребованных субъектов будет являться перспективным вкладом в разного рода гидрологические исследования. Особенно важными и полезными они могут стать для инженерных изыскательских организаций, которые превалируют над остальными в рассматриваемой сфере.

Создание полноценного программного обеспечения трудоемкий и дорогой процесс, который доступен далеко не каждой организации и тем более специалисту. Разнообразие различных геоинформационных систем имеет широкое распространение. Некоторые из них уже давно и активно используются специалистами – гидрологами. Одной из таких систем является QGIS – свободная кроссплатформенная ГИС, поддерживающая множество векторных и растровых форматов и баз данных, а также имеющая большой набор встроенных инструментов. Данный продукт зарекомендовал себя как абсолютно свободную и активно и беспрестанно развивающуюся геоинформационную систему с открытыми языками программирования.

Возможность объединения широкого спектра различного рода инструментов в единые геомодели в значительной степени ускоряет и автоматизирует раннее пошаговую и продолжительную работу. QGIS предлагает набор библиотек, позволяющий разрабатывать собственные модули. С их помощью можно создавать независимые приложения, используя различные языки про-

граммирования, а также использовать уже имеющиеся. Самым главным достоинством данной ГИС является возможность подстраивать систему под индивидуальные особенности и желания пользователя. Таким образом, создание настольной гидрологической ГИС на основе QGIS может быть доступна каждому исследователю.

Итак, основными особенностями региональной гидрологической ГИС на основе QGIS является следующее:

1. Функциональные особенности, направленные только на необходимые требования исследователя.
2. Наличие интуитивного интерфейса и возможности отражать и визуализировать информацию.
3. Осуществимость анализа баз данных и моделирования гидрологических объектов, их характеристик и явлений в рамках современных нормативных документов.
4. Работа в едином и необходимом субъекте РФ, позволяющая более детально и углубленно исследовать его особенности и характеристики.
5. Наличие различных открытых пользователю языков программирования.

Целью данной работы является создание гидрологической геоинформационной системы для территории Тюменской области на основе свободной геоинформационной системы – QGIS.

Для достижения цели установлены следующие задачи:

1. Составление физико-географического описания Тюменской области.
2. Сбор данных о стоке рек исследуемой территории и формирование базы данных.
3. Приведение коротких гидрологических рядов к длительному периоду и предварительный анализ исходных данных.
4. Анализ однородности и стационарности гидрологических рядов.
5. Расчет параметров распределения и их погрешностей, а также построение эмпирических и аналитических кривых обеспеченностей.

6. Настройка интерфейса QGIS, а также необходимых для работы инструментов и модулей.

7. Создание геомоделей для построения водосборных площадей и поиск их центров для построения карт изолиний стока и его характеристик.

8. Апробация созданных модулей на исходных данных и оценка практическости созданной гидрологической ГИС.

Объектом исследования в данной работе являются реки территории Тюменской области.

Предмет исследования – возможность создания гидрологической ГИС на базе QGIS и ее использования.

# 1 Физико-географическое описание территории Тюменской области

Тюменская область (рисунок 1.1), занимающая значительную часть Западно-Сибирской равнины, расположена в середине Евразийского континента, простираясь от побережья Северного Ледовитого океана до лесостепной зоны. Она является частью Уральского Федерального округа и Западно-Сибирского экономического района, а её административным центром является город Тюмень.

В состав региона входят Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа (рисунок 1.1), а также наложены границы с одним государством СНГ, республикой, краем и пятью областями Российской Федерации. Общая площадь Тюменской области составляет 1 464 173 км<sup>2</sup>, что охватывает протяженность в 2100 км с севера на юг и 1400 км с запада на восток [1].

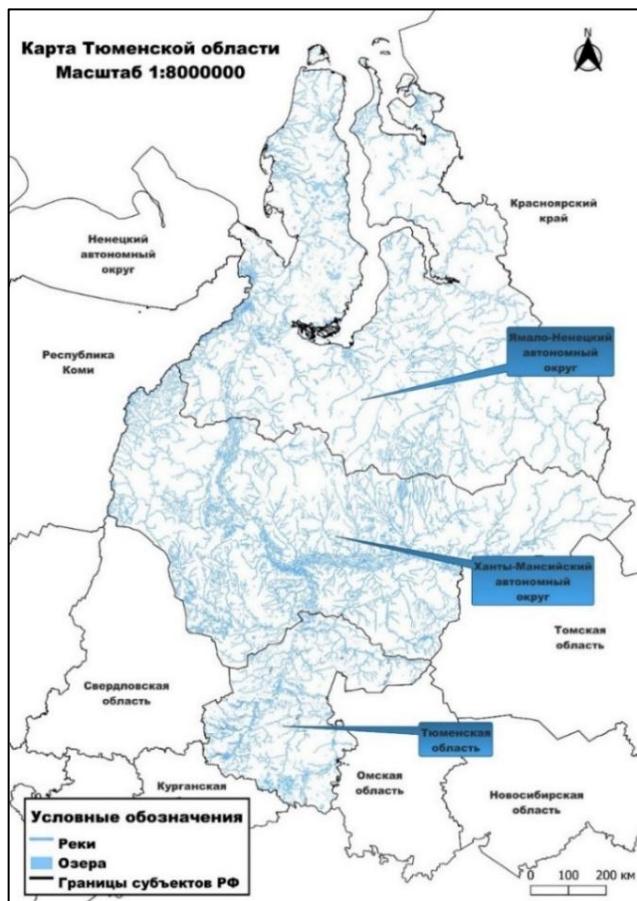


Рисунок 1.1 – Карта Тюменской области

## 1.1 Климатическая характеристика

Климат области характеризуется умеренно-континентальным типом с заметными суровыми проявлениями. Это обусловлено её обширной территорией, протянувшейся с севера на юг, что приводит к значительным различиям в количестве солнечной радиации в арктических, субарктических и умеренных широтах.

Такая протяженность территории формирует четко выраженную зональность в распределении тепла и влаги, определяющую последовательное чередование природных зон и подзон с севера на юг. Исключение составляет горная местность Уральских гор, где метеорологические параметры меняются в зависимости от высоты.

Особенностью климата является удаленность от Атлантического океана, преобладание равнинных пространств, открытых для холодных арктических и теплых азиатских воздушных масс, а также влияние Уральских гор, задерживающих влагу из Атлантики. Все эти факторы приводят к резким колебаниям температуры воздуха в течение года, суток и даже в течение дня.

Солнечная радиация распределена неравномерно: от 65 – 70 ккал/см<sup>2</sup> на Ямальском и Гыданском полуостровах до 90 ккал/см<sup>2</sup> в лесостепной зоне. Продолжительность солнечного сияния варьируется от 1050 часов на Ямале до 2000 – 2050 часов в лесостепных районах, при этом пасмурная погода снижает фактическое солнечное время на 40 – 60%.

Период с температурой выше нуля градусов длится от 105 – 111 дней на севере до 190 – 200 дней на юге области.

Преобладают континентальные умеренные воздушные массы, но в северных районах часто встречаются холодные и сухие арктические потоки. Циклонально-антициклональный тип циркуляции атмосферы с западным переносом воздушных масс является общим для региона, а континентальность климата возрастает с севера на юг под влиянием Азиатского и субтропических антициклонов [1].

Отсутствие значительных возвышенностей позволяет воздушным массам свободно перемещаться с севера на юг, а Уральские горы влияют на распределение влаги. В низинах, таких как долины рек, котловины и заболоченные участки, заморозки наступают позже на 5 – 10 дней, а осенью начинаются раньше на 5 – 15 дней, сокращая безморозный период на 10 – 25 дней. Снежный покров оказывает выхолаживающее влияние на температуру почвы. Задержка таяния снежного покрова повышенной мощности на Урале, в бассейнах Пура и Таза увеличивает период с пониженной температурой [2].

Средние годовые температуры в заполярной части составляют минус 8, минус 11 °C. На остальной части территории (от 66 до 61 – 63° с. ш.) средние годовые температуры колеблются от минус 7 до минус 3 °C; в южной половине территории (от 61 до 54° с. ш.) составляют порядка 0 – 2 °C.

Зима является самым продолжительным климатическим сезоном Тюменской области. На юге он продолжается шесть, а в Заполярье восемь месяцев. Преобладают континентальные ветры, приносящие холод из Азиатского антициклона. Температура в Новом Порте может опускаться до минус 24 °C, а в Тазовском и Гыданском полуостровах до минус 27 °C. В Тюмени и Сургуте до минус 22 °C. Абсолютный минимум температуры в области составляет минус 57 °C (Новый Порт, Тазовский), а в Тюмени минус 50 °C (рисунок 1.2). Зимы в Тюменской области менее снежные, чем в соседних областях Урала и республике Коми. На севере зимой в среднем выпадает 15 – 20 мм осадков в месяц, на юге 10 – 15 мм. Мощность снежного покрова на восточных склонах Урала достигает 600 – 700 мм. В бассейне среднего течения р. Таз 800 – 850 мм. На пространствах Приишимья около 300 мм. К северу от таежной зоны мощность снежного покрова уменьшается вслед за уменьшением количества осадков, и на побережье Карского моря она равна не более 200 – 250 мм.

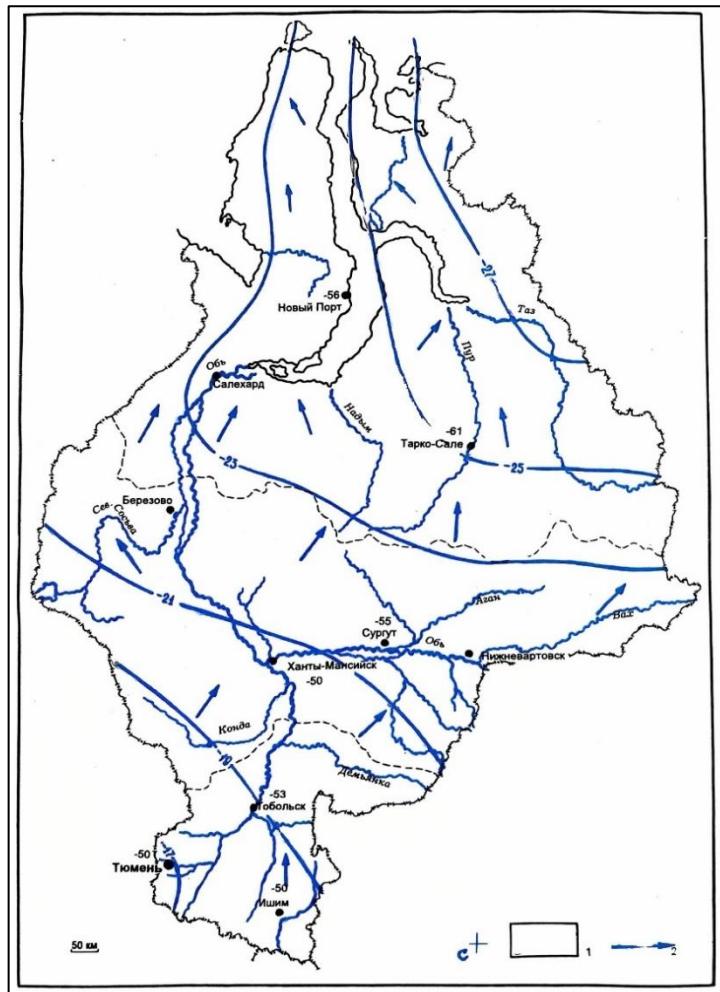


Рисунок 1.2 – Средняя температура воздуха и направление ветров в январе

Сроки наступления весны существенно отличаются в различные годы и по широтам. В лесостепных и подтаежных районах переход среднесуточных температур 0 °С в среднем наступает 11 апреля, в южной и средней тайге – 20 апреля – 10 мая, в северной тайге – 11 – 20 мая, в тундре позднее 1 июня. Для весны в Тюменской области характерны возвраты холодов, в независимости от ее наступления и ее темпов [2].

Наибольшее количество осадков (500 – 650 мм) выпадает в лесной зоне, уменьшаясь к северу и югу до 300 – 350 мм в тундре и 300 – 400 мм в степной зоне (рисунок 1.3).

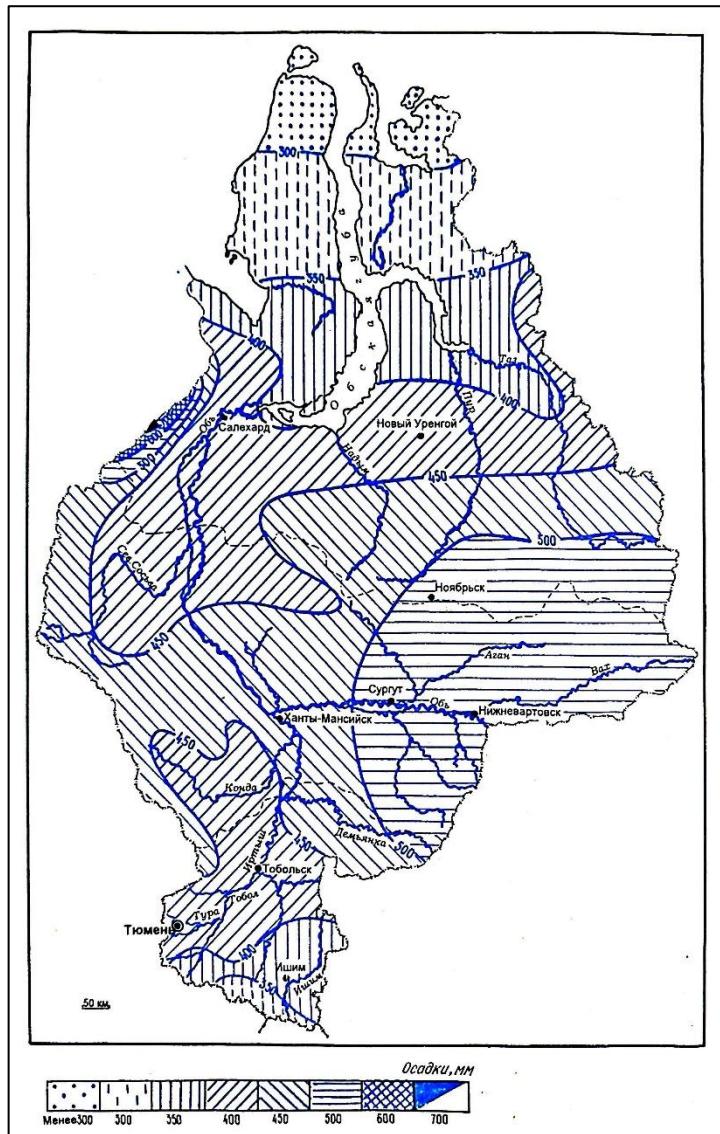


Рисунок 1.3 – Средние годовые суммы осадков, мм

В лесостепных и подтаежных районах переход среднесуточной температуры через 10 °С приходится на срок от 10 до 20 мая, в южной и средней тайге 21 мая – 10 июня, в северной тайге 10 – 20 июня, в лесотундре 21 – 30 июня. Лето на полуострова приходит уже в июле. Средние месячные температуры июля, самого теплого месяца года, колеблются в пределах от 4 °С на Крайнем Севере и до 19°С на юге территории (Рисунок 1.4). Летом выпадает максимум осадков. Доля летних осадков за июль-август от годового количества составляет в Тюмени 47%, Сургуте 46%, Салехарде 44%, Тамбее 40%. В тундре максимум выпадения осадков приходится на август, в тайге, подтайге и лесостепи – на июль.

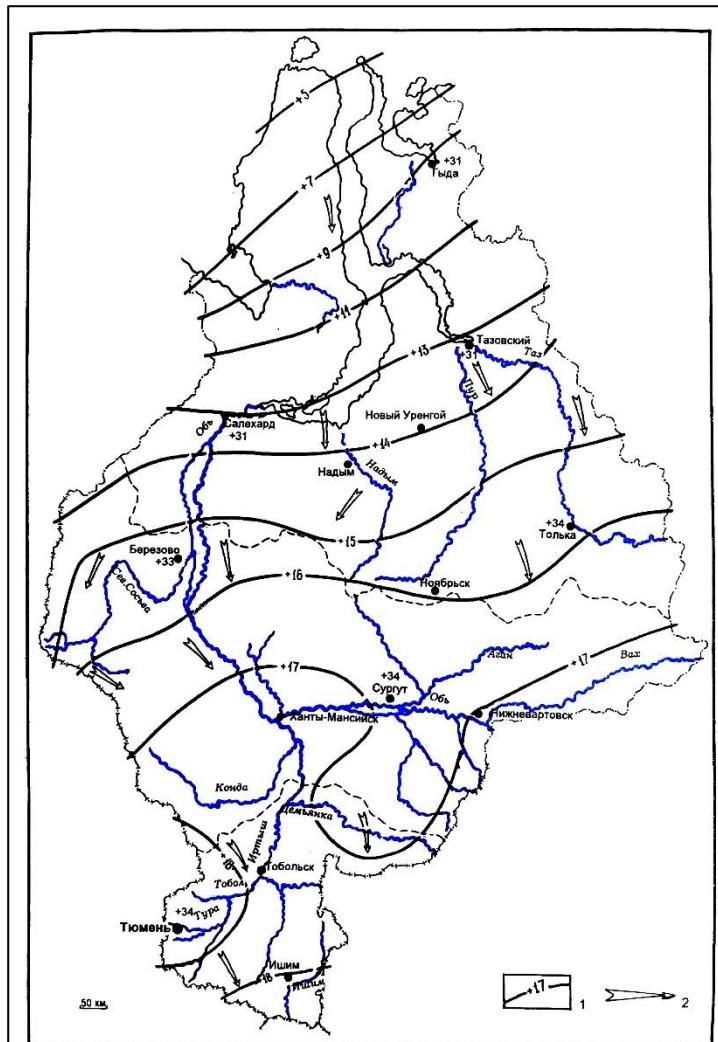


Рисунок 1.4 – Средняя температура воздуха и направление ветров в июле

Переход среднесуточных температур через  $10^{\circ}\text{C}$  начинается в среднем в сентябре. Переход через  $0^{\circ}\text{C}$  в среднем в ноябре. С началом октября происходит быстрое снижение температуры даже днем она ниже  $5^{\circ}\text{C}$ . Октябрь является позднеосенним месяцем только в лесостепной зоне и подтайге. В Тюмени среднесуточная температура  $1,5^{\circ}\text{C}$ . В тайге она уже имеет отрицательные значения. В тундре и лесотундре октябрь является зимним месяцем. Среднесуточные температуры приближаются или переходят через минус  $5^{\circ}\text{C}$ . Формируется снежный покров [1].

## 1.2 Рельеф и геологическое строение

Рельеф в равнинной части Тюменской области представляет собой поверхность Западно-Сибирской равнины, которая открыта к Карскому морю по западной, южной и восточной частям. Представлена возвышеностями и наклонными равнинами. В центральных и северных частях сосредоточены низменности. Выделяются три ступени высоты: высокая (150 – 200 м и выше), средняя (100– 150 м) и низкая (менее 100 м).

На рассматриваемой территории распространены многолетнемерзлые породы. На юге области они отсутствуют. К северу, от долин рек Конда и Демьянка до границ ЯНАО, располагается зона реликтовой мерзлоты. Мерзлые породы залегают на глубинах 150 – 400 м. Лишь на торфяных болотах северной части Сургутского и Нижневартовского районов встречаются линзы мерзлых пород. Следом идет зона распространения мерзлоты разобщенного залегания. Верхний слой почв с температурами от 0 до минус 1 °С с мощностью 10 – 100 м, сменяется талыми грунтами. На глубинах 150 – 400 м следуют мерзлые грунты. Северная часть ЯНАО располагается в области слитного залегания мощной современной и древней мерзлоты.

В геологическом плане Тюменская область находится в пределах огромной Евразийской литосферной плиты и входит в состав протяженного Урало-Монгольского складчатого пояса. Здесь сформировалась молодая платформа, возникшая на месте древних докембрийско-палеозойских складчатых структур. Их обнажения можно увидеть в хребтах и кряжах, окружающих Западно-Сибирскую равнину (рисунок 1.5). Внутри плиты складчатые горные комплексы погружены на значительную глубину и перекрыты толщей рыхлых отложений мезозойского и кайнозойского периодов. Древние докембрийские породы встречаются редко и выходят на поверхность лишь в горных районах. Меловые отложения в южной части Западной Сибири представлены красноцветными глинами, песчаниками и конгломератами [1].

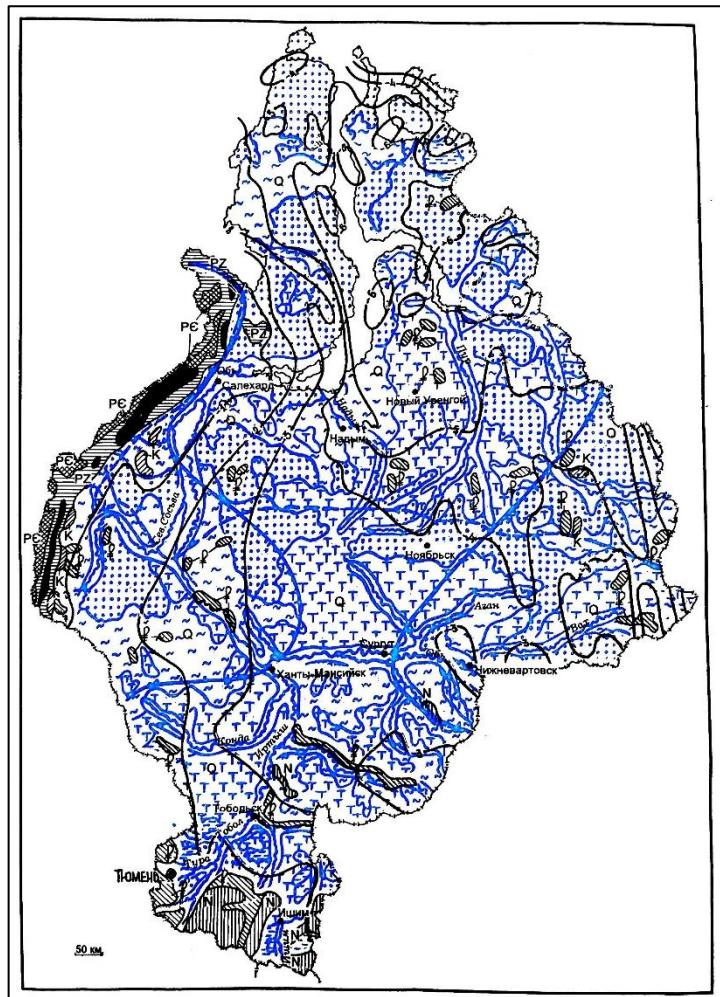


Рисунок 1.5 – Геологическая карта Тюменской области

### 1.3 Почвы и растительность

Почвенный покров данной территории отличается сложностью и выраженной зональностью на дренированных водоразделах (рисунок 1.6). В то же время, в пределах одной зоны наблюдается значительная изменчивость, обусловленная рельефом, разнообразием почвообразующих пород, условиями увлажнения и засоления грунтов. Растительность также демонстрирует зональное распределение, сменяясь почти строго по широте.

В северной арктической тундре преобладают бедные и малоразвитые почвы, среди которых встречаются участки скрытоподзолистых и поверх-

ностно-глеевых почв. Здесь же широко распространены полигональные пятнистые тундры, где отсутствуют кустарники и сфагновые болота. Встречаются полярный лисохвост и луговик.

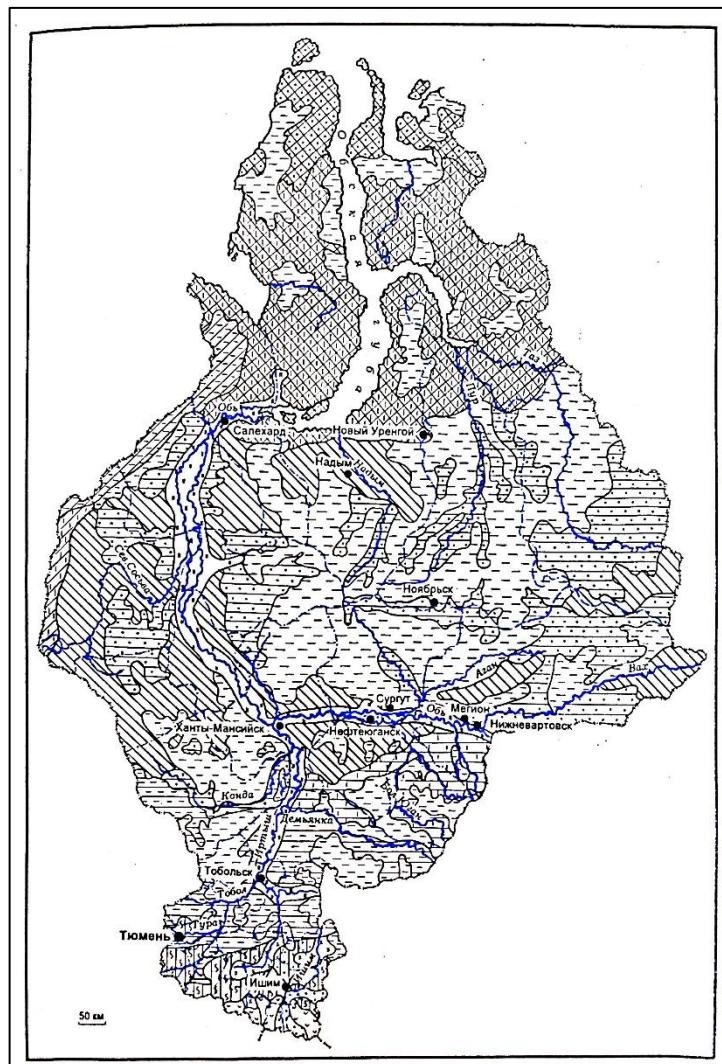


Рисунок 1.6 – Почвенная карта Тюменской области

В тундровой и лесотундровой зонах почвы формируются на глинистопесчаных отложениях, образовавшихся в результате морских и ледниковых процессов, в условиях слабо оттаивающей летом мерзлоты. Характерными особенностями почвообразования здесь являются низкие температурные показатели, затрудненное испарение и недостаток кислорода. Растительность представлена преимущественно мхами и лишайниками, а также осокой, пушницей и карликовой береской.

В лесотундровой зоне почвы переходного типа, от торфяно-глеевых к подзолисто-глеевым. Растительный покров здесь основан на ягеле и мхах, с примесью карликовой бересклета и кустарниковой ольхи, багульника и голубики.

В лесной зоне преобладают торфяно-болотные почвы, южнее появляются подзолистые, а на самом юге дерново-подзолистые почвы. Лесная зона разделена на три подзоны с севера на юг. Первая – узкая полоса редколесий, заболоченных елово-лиственничных лесов. Вторая – кедрово-болотная зона с кедром, сосной, елью, пихтой, березой и осиной. Третья – урмано-болотная зона, где доминируют ель, пихта и кедр.

Вблизи города Тары распространены еловые и елово-пихтовые леса. Между границей урмано-болотной зоны и широтой Тюмень – Тара, узкой полосой расположены осиново-березовые леса, переходящие в северную лесостепь, простирающуюся до границы с Казахстаном. Здесь распространены солончаковые и частично болотные почвы, сменяющиеся выщелоченными оподзоленными почвами на колках.

#### 1.4 Гидрографическая сеть и гидрологический режим

Гидрографическая сеть Тюменской области относится к бассейну Карского моря. Здесь насчитывается более 70 тысяч рек протяженностью свыше 10 км, общей длиной 584,4 тысячи километров. Площадь, занимаемая озерами, составляет более 18 тысяч квадратных километров, а количество озер превышает 450 тысяч. Важной особенностью территории является широкое распространение болот.

Для рек рассматриваемой территории характерны весеннее половодье и продолжительная летне-осенняя и зимняя межень. Основными источниками питания большинства рек являются талые воды и летне-осенние дожди. Около 70 – 80% годового стока приходится на весну и лето (рисунок 1.7). Половодье

в реках в среднем длится 60 – 90 дней. Скорость течения большинства рек составляет 0,4 – 0,6 м/с. На реках встречаются заторные явления, связанные с разными сроками вскрытия рек от льда.

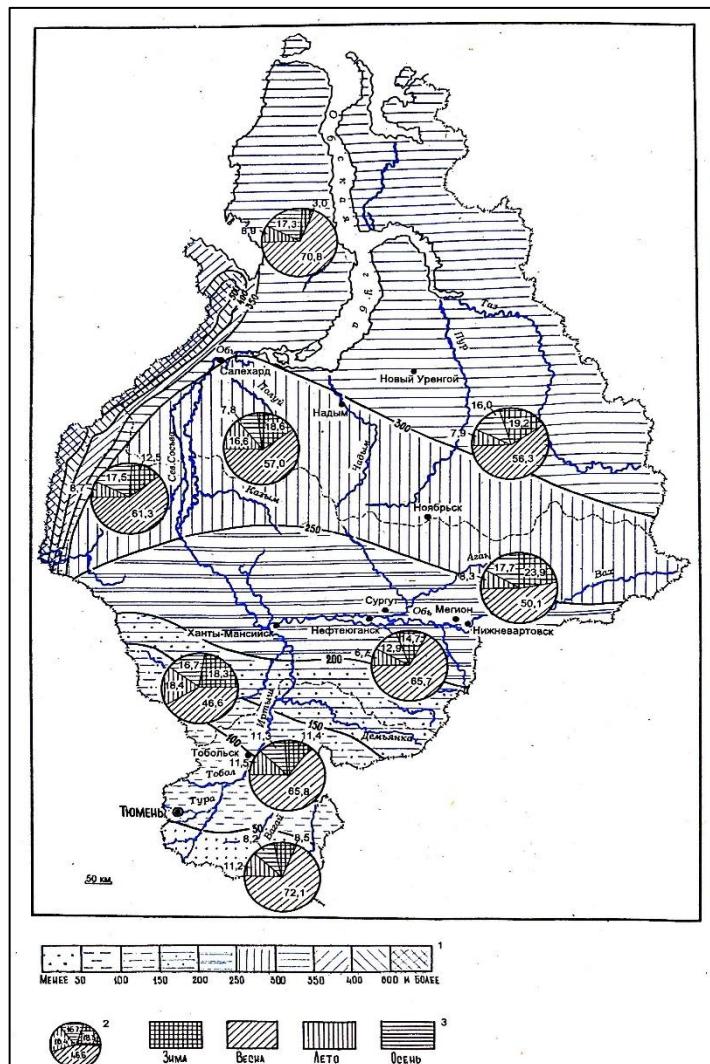


Рисунок 1.7 – Годовой сток Тюменской области и его внутригодовое распределение

Густота речной сети явно увеличивается от южных районов с недостаточным увлажнением и незначительными величинами стока к северным, избыточно увлажненным. В лесостепной зоне при среднегодовом стоке 3 – 4 л/с  $\text{км}^2$  густота речной сети составляет 0.05  $\text{км}/\text{км}^2$ . В равнинной части области высшие показатели стока имеют территории северной тайги (6 – 8), ле-

сотундры (8 – 10) и тундры 10 – 15 л/с км<sup>2</sup>. У большинства рек широкие долины, двусторонние поймы, извилистые русла и малые уклоны. Только у рек, берущих начало с Уральских гор, узкие долины с ясно выраженным характером, неширокие поймы, врезанные русла и значительные уклоны.

Наиболее значительными реками являются Обь (185 км<sup>3</sup>/год) и Иртыш (36.5 км<sup>3</sup>/год). Реки, стекающие с восточных склонов Урала и территории Казахстана (Тавда, Пышма, Тура, Исеть, Тобол, Ишим), ежегодно приносят на территорию области 26.8 км<sup>3</sup>/год. В пределах области формируется преобладающая часть ее водных ресурсов – 334 км<sup>3</sup>/год, или 57,4%. Суммарная величина стока рек 582 км<sup>3</sup>/год [1].

Долина средней Оби отличается обширной поймой, ширина которой достигает 30 – 40 км. Пойма расчленена многочисленными притоками. Характерной чертой средней Оби является широкое распространение подпорных явлений во время половодья и развитие приусտевых соров. Нижние течения Оби отличается крайне пологим руслом. Расходы и уровни половодий Оби после слияния с Иртышем резко возрастают. Средний ее расход ниже устья Иртыша составляет около 10000 м<sup>3</sup>/с, а максимальный до 27000. У Салехарда эти значения равны 12500 и 33000 м<sup>3</sup>/с. Ширина долины нижней Оби местами достигает 50 – 60 км. Реки Нижнего Приобья равнинные, слабо врезанные, весьма извилистые, с наличием большого количества старичных озер. У Салехарда глубина Оби достигает 40 м. Далее у мыса Ямсале начинается Обская губа – опресненный залив Карского моря [1].

Иртыш является второй рекой в Тюменской области по своей водности протяженности. После впадения крупных притоков – Ишима, Вагая, Тобола, Демьянки и Конды – долина Иртыша расширяется до 35 км. Протяженность реки в пределах области составляет 1039 км. Глубины его достигают 40 м.

Тобол и его крупные левобережные притоки – Исеть, Тура с Пышмой и Тавда берут свое начало с Уральских гор. Долины этих рек хорошо разработаны, поймы сопровождаются полосами песчаных террас с сосновыми борами

и крупными болотными массивами. Сток этих рек неравномерен по сезонам года. 65% его приходится на весенний период.

Бассейн реки Конда отличают особенности его рельефа. Верховья Конды и ее притоков расположены в пределах южного склона Северо-Сосьвинской возвышенности, имеют хорошо оформленные крутые долины и весомые уклоны. В пределах Кондинской низины реки сильно извилисты и заболочены.

Речная сеть бассейнов Надыма, Пура и Таза формируется в условиях северной тайги и лесотундры. Годовое количество осадков в низовьях этих рек составляет 400 мм, в верховьях до 550 мм. В зимний период мощность снегового покрова достигает 80 см. Значения среднегодового слоя стока в половодье здесь составляют 140 – 210 мм. Здесь также широко распространены многолетнемерзлые породы, препятствующие проникновению воды в подземные горизонты [1].

## 2 Изученность вопроса и методы исследования

### 2.1 Изученность вопроса

Говоря о гидрологических геоинформационных системах важно подчеркнуть, что подобных программных обеспечений не так уж и много, и даже те, что существуют, в большинстве своем труднодоступны рядовому инженеру и даже некрупной организации. Однако, если речь заходит о методиках применения и разработки ГИС в гидрологии, то они, безусловно, существуют. В пример можно привести работу Пьянкова Сергея Васильевича «Научно-методологические основы создания региональной гидрологической ГИС» [3], которая была сделана на примере бассейна Воткинского водохранилища и опубликована в 2006 году. Также здесь стоит упомянуть работу Орловой Елены Викторовны на тему «Определение географических и гидрологических характеристик водных объектов с использованием ГИС-технологий» [4], опубликованную в 2008 году. Две вышеупомянутых работы в полной мере предоставляют информацию о практической значимости использования геоинформационных технологий в гидрологии, подкрепляя это многолетним опытом исследований в данной сфере. При этом, не смотря на возраст данных работ, они остаются актуальными по сей день и могут быть использованы в роли методических рекомендаций.

В пример существующих ГИС проектов, так или иначе связанных с гидрологией, можно привести Веб – ГИС для визуализации и анализа погодно-климатических явлений в России под названием «Экстремальные погодно-климатические явления», выполненную сотрудниками Института географии Российской Академии Наук. В данной Веб – ГИС помимо погодных и климатических характеристик для территории России есть карта с расположением гидрологическим постов сети Росгидромет на территории РФ. Подобный ресурс дает возможность беспроблемно найти нужный гидрологический пост, а

также узнать о нем первичную необходимую информацию. Большим плюсом данного ресурса является актуальность предоставляемой информации.

Также необходимо упомянуть программный комплекс «Гидрорасчеты», в котором появился программный продукт под названием «ГИС – модуль Кarta», который служит для сбора и обработки ключевых гидрографических данных по всем наблюдательным пунктам, расположенным на территории Российской Федерации. Модуль обеспечивает визуализацию этих пунктов на карте, а также устанавливает связь между ними и информацией, хранящейся в региональных базах данных, что позволяет выполнять расчеты, опираясь на данные рек-аналогов. Это отличный пример гидрологической ГИС, которая включает в себя все возможности, которые она может выполнять лучшим образом. Но в данном случае отрицательным является недоступность этого продукта основной массе пользователей в связи с его дороговизной. Таким же является программно-информационный модуль «Гидрологическая ГИС России». Данное программное обеспечение также обеспечивает пользователя всем необходимым комплексом инструментов и возможностей. Минусом данного также является высокая цена.

Таким образом можно сделать вывод о том, что готовые ГИС для целей гидрологии существуют, их достаточно и они демонстрируют высокий уровень развития. Однако, их приобретение и использование затруднены для обычных специалистов и небольших компаний ввиду высоких цен. В то же время, вопросы методологии создания и внедрения таких ГИС освещены достаточно полно и освещаются по сей день.

Говоря про изученность вопроса в области статистической обработки гидрологической информации, стоит сказать, что данная сфера изучена в достаточноной мере утвердительно. Все применяемые методики и последовательность их применения отражены в СП 529.1325800.2023, в соответствии с которым был выполнен весь комплекс расчетов в данной работе.

## 2.2 Методы исследования

### 2.2.1 Статистическая обработка

#### 1) Приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду

Необходимость приведения к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов производится в связи недостаточностью данных гидрометрических наблюдений. При выборе пунктов-аналогов основным критерием является наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов – аналогов, которые количественно выражают через коэффициент парной или множественной корреляции между стоком в этих пунктах. В рамках данной работы был использован метод множественной линейной корреляции, представляющий собой расширение подхода линейной корреляции для случая, когда зависимая переменная определяется несколькими факторами. В основе метода лежит анализ данных о величине интересующей переменной  $Y$  и факторах, влияющих на нее ( $X_1, X_2, \dots, X_m$ ). На основе этих данных необходимо определить параметры уравнения множественной линейной регрессии, которое, согласно принципу наименьших квадратов, наилучшим образом отображает взаимосвязь между зависимой переменной и определяющими ее параметрами. Уравнение линейной регрессии в таком случае будет выглядеть следующим образом [5]:

$$(y - \bar{y}) = a_1(x_1 - \bar{x}_1) + a_2(x_2 - \bar{x}_2) + \dots + a_m(x_m - \bar{x}_m), \quad (2.1)$$

где  $a_1, a_2, a_m$  – коэффициенты регрессии;  $\bar{y}, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$  – средние значения соответственно независимой переменной и предикторов;  $m$  – число предикторов.

Для решения поставленной задачи требуется решить систему нормальных уравнений относительно коэффициентов  $a_1, a_2, a_m$ . Обычно эта задача решается на компьютере с использованием численных методов линейной алгебры.

Так же, как и в случае парной линейной корреляции, теснота связи при множественной линейной корреляции оценивается коэффициентом корреляции. В соответствии с действующими нормативными документами полученное уравнение множественной линейной регрессии должно удовлетворять требованиям:

$$n \geq 6; \quad R \geq 0,7; \quad R/\sigma \geq 2; \quad |a|/\sigma_a \geq 2 \quad (2.2)$$

## 2) Предварительный анализ исходных данных

Предварительный анализ исходных данных включал в себя проверку рядов на случайность, а также проверку на наличие линейного тренда.

Для проверки случайности в практике гидрологических расчетов наиболее часто используется критерий значимости коэффициента автокорреляции:

$$r < \sigma_r t_{2a}, \quad (2.3)$$

где  $r$  – коэффициент автокорреляции;

$\sigma_r$  – его абсолютная погрешность;

$t_{2a}$  – нормированная ордината нормального закона распределения при уровне значимости  $2a$  (обычно  $2a = 5\%$  или  $10\%$ ).

Значение  $\sigma_r$  рассчитывается по формуле:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 2}}. \quad (2.4)$$

Гипотеза о случайности ряда не опровергается, если выполняется неравенство (3).

Задача оценки значимости линейных уравнений регрессии рассматриваемой гидрологической характеристики во времени решается сведением к оценке значимости коэффициента корреляции  $R$ . При этом оценивается коэффициент корреляции  $R$  этой зависимости по отношению к случайной средней

квадратической ошибке  $\sigma_R$ . При 5%-ом уровне значимости или при 95%-ом доверительной границе  $\beta=2$  [5].

Тренд значим если:

$$|R| < t_{2\alpha} \sigma_R, \quad (2.5)$$

где:

$$\sigma_R = \frac{(1 - R^2)}{\sqrt{n - 1}}. \quad (2.6)$$

Здесь  $R$  – коэффициент корреляции,

$t_{2\alpha}$  – ордината стандартного распределения Стьюдента при уровне значимости  $2\alpha$  и числе степеней свободы ( $n-2$ ).

### 3) Анализ однородности и стационарности гидрологических рядов

Для оценки стационарности дисперсий (критерий Фишера) и средних значений (критерий Стьюдента) временной ряд разбивается на две или несколько выборок. Границы этих выборок рекомендуется привязывать к предполагаемым моментам изменения стационарности. В случае, если определить точные даты таких изменений не удалось, ряд разделяют на равных по объему части. Статистика Фишера вычисляется по следующей формуле [6]:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2} \quad (2.7)$$

где:  $D_1$  и  $D_2$  — соответственно дисперсии двух следующих друг за другом частей выборок объемом  $n_1$  и  $n_2$ .

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости  $\alpha$  (%), если расчетное значение статистики критерия меньше критического:

$$F^* < F_{2a} \quad (2.8)$$

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента определяется по формуле:

$$t = \frac{y_{cp1} - y_{cp2}}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2} \quad (2.9)$$

Гипотеза о стационарности средних принимается при заданном уровне значимости  $\alpha$  (%), если расчетное значение статистики критерия меньше критического:

$$|t^*| < t_{2a} \quad (2.10)$$

При оценке однородности автокоррелированных рядов следует использовать обобщенные критерии математической статистики.

Для критерия Фишера при объемах выборок  $n_1 > 25$  и  $n_2 > 25$  допустимо использовать классическое F – распределение с новыми степенями свободы, которые зависят от автокорреляции и асимметрии и определяются по формулам [6]:

$$v_1 = \frac{n_1 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[ 1 - \frac{1-r^{2n_1}}{n_1(1-r^2)} \right]} \quad (2.11)$$

$$v_2 = \frac{n_2 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[ 1 - \frac{1-r^{2n_2}}{n_2(1-r^2)} \right]} \quad (2.12)$$

где:  $n_1$  и  $n_2$  – соответственно длина первой и второй выборок;

$r$  – коэффициент автокорреляции;

$g$  – параметр, определяемый по таблице А.14 СП 529.1325800.2023.

Для критерия Стьюдента используется формула:

$$t'_{2a} = C_t t_{2a} \quad (2.13)$$

где:  $t'_{2a}$  – критическое значение статистики Стьюдента с учетом автокорреляции;  
 $t_{2a}$  – критическое значение статистики Стьюдента без учета автокорреляции;  
 $C_t$  – переходный коэффициент, определяемый по таблице А.16 СП 529.1325800.2023 [6].

Статистики критериев Диксона рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

а) для максимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки ( $Y_n$ ):

$$D1_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_1), \quad (2.14)$$

$$D2_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_2), \quad (2.15)$$

$$D3_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_2), \quad (2.16)$$

$$D4_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_3), \quad (2.17)$$

$$D5_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_1), \quad (2.18)$$

б) для минимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки ( $Y_1$ ):

$$D1_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_n), \quad (2.19)$$

$$D2_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_{n-1}), \quad (2.20)$$

$$D3_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-1}), \quad (2.21)$$

$$D4_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-2}), \quad (2.22)$$

$$D5_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_n), \quad (2.23)$$

где:  $Y_1 < Y_2 < \dots < Y_n$ , и  $n$  — объем выборки.

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности ( $Y_n$ ) рассчитывается по формуле:

$$G_n = (Y_n - Y_{cp})/\sigma, \quad (2.24)$$

и для минимального:

$$G_1 = (Y_{cp} - Y_1)/\sigma. \quad (2.25)$$

где:  $Y_{cp}$ ,  $\sigma$  – среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки.

#### 4) Расчет параметров распределения

Рассчитываются среднее значение ряда, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии. Расчет производился методом моментов по формулам:

$$m_x^* = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.26)$$

$$C_v^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (2.27)$$

$$C_s^* = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n - 1)(n - 2)(C_v^*)^3} 3. \quad (2.28)$$

Учитывая то, что коэффициент асимметрии и отношение  $C_s/C_v$  рассчитываются с большой погрешностью, соотношение  $C_s/C_v$  подбирался индивидуально по наилучшему соответствуию эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей [7].

#### 5) Расчет погрешностей параметров распределения

При использовании модели авторегрессии первого порядка относительные погрешности среднего значения и коэффициента вариации определяются по приближенным формулам:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} 100\%; \quad (2.29)$$

$$\sigma_{C_v} = \frac{1}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2}} \left(1 + \frac{3C_v r^2}{1+r}\right) 100\%, \quad (2.30)$$

где  $C_v$  – выборочный коэффициент вариации;

$r$  – коэффициент автокорреляции;

$n$  – длина выборки [7].

6) Построение эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей

Для построения эмпирической кривой обеспеченностей значения исходного ряда ранжируются в убывающем порядке. Затем для каждого члена ранжированного ряда рассчитывается эмпирическая обеспеченность по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (2.31)$$

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических обеспеченностей, как правило, применяют трехпараметрические распределения:

- Крицкого – Менкеля при любом отношении  $C_s/C_v$
- Пирсона III типа при  $C_s/C_v \geq 2$
- Трехпараметрическое логнормальное при  $C_s \geq (3C_v + C_v^3)$

При неоднородности ряда гидрометрических наблюдений допускается применение усеченных и составных кривых распределений вероятности.

Построение составной кривой обеспеченностей при наличии в каждом году наблюдений за всеми однородными элементами водного режима производится с использованием формулы:

$$P\% = [1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_k)]100 \quad (2.32)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_k$  – обеспеченности однородных элементов водного режима в долях единицы [7].

Построение составной кривой обеспеченностей при наличии в каждом году наблюдений только за одним однородным элементом водного режима производится с использованием формулы:

$$P_{\%} = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_j P_j}{n_1 + n_2 + \dots + n_j} \quad (2.33)$$

## 2.2.2 Геоинформационные технологии

ГИС – это информационная система для сбора, хранения, обработки, отображения и передачи данных, а также получения на их основе новой информации и знаний о пространственно-привязанных объектах и явлениях.

ГИС включает в себя пять компонентов: люди, программы, данные, оборудование, методы (рисунок 2.1).

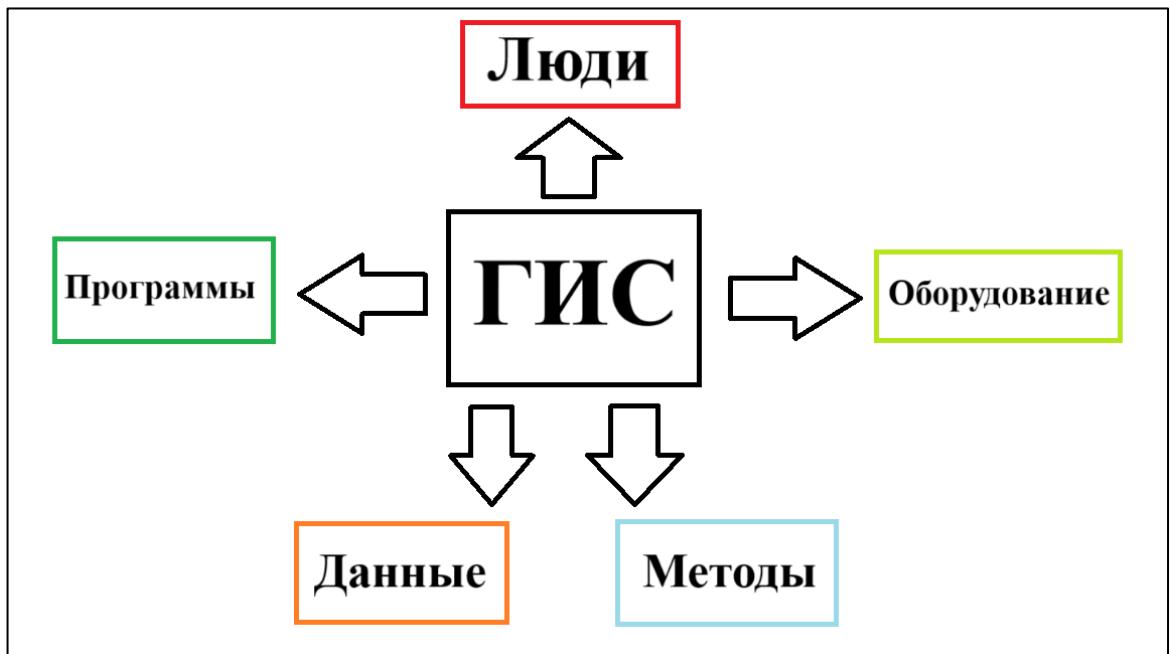


Рисунок 2.1 – Компоненты ГИС

В создании, поддержке и эксплуатации геоинформационных систем (ГИС) участвуют как специалисты, так и конечные пользователи.

Для обеспечения работы ГИС требуется специализированное программное обеспечение, ключевые компоненты которого включают:

- модуль ввода и обработки географических данных;
- система управления базами данных;
- инструменты для анализа, визуализации и выполнения пространственных и атрибутивных запросов;
- удобный графический интерфейс для работы с инструментами;
- интегрированная среда разработки для расширения программных возможностей.

Тематической основой любого ГИС-проекта служат данные, получаемые из трех основных источников: картографических материалов, статистических сведений и результатов дистанционного зондирования.

Основой аппаратной части ГИС является компьютер, обеспечивающий ее функционирование.

Для решения поставленных задач используются определенные методики и алгоритмы.

Для разработки гидрологической геоинформационной системы для территории Тюменской области, в качестве основы была выбрана настольная ГИС Quantum GIS (QGIS), представляющая собой бесплатную и универсальную геоинформационную систему. QGIS предоставляет широкие возможности для работы с геоданными, включая их создание, изменение, отображение, анализ и распространение. Благодаря встроенным инструментам и расширениям, QGIS поддерживает выполнение множества стандартных задач геоинформатики, инструменты для производства которых будут детально рассмотрены далее [8].

## 1) Данные в QGIS

### 1.1) Векторные и растровые данные

В геоинформационных системах информация представлена в двух основных форматах: векторном и растровом.

Векторный формат описывает объекты посредством координат, формирующих их геометрию – это могут быть точки, линии или многоугольники. Векторные данные обычно включают не только координаты точек, линий и многоугольников, привязанных к геоиду – это определяет их пространственную метрику, но и информацию об объектах, то есть атрибутивные сведения. Наиболее популярным векторным форматом считается шейп-файл (shapefile), который активно применяется в QGIS. Независимо от того, какие объекты представлены, таблица атрибутов шейп – файла сохраняется в формате dBASE с расширением .dbf. Редактировать эту таблицу можно как в QGIS, так и в программах для работы с табличными данными, например, в Microsoft Excel. Примером таких данных могут быть водотоки с информацией о их названии и морфометрических данных в атрибутивной таблице. Или точечный слой с гидрологическими постами.

Растровый формат же представляет собой сетку пикселей, где каждый пиксель характеризуется определенным значением, например, высотой над уровнем моря в цифровой модели рельефа. Разрешение растровых данных напрямую зависит от величины пикселей. GeoTIFF – наиболее популярный и широко используемый растровый формат данных в геоинформационных системах. Как правило, спутниковые изображения и продукты предоставляются именно в этом формате, который включает в себя информацию о привязке к географическим координатам [8].

### 1.2) Форматы семантических данных

Содержательные данные о картографических объектах также имеют несколько форматов. В QGIS реализованы форматы short integer, long integer, float, double, text, date. Short и long integer – короткие и длинные числа; float – числа с плавающей запятой; double – числа двойной точности; text – текстовой

набор символов; date – даты, для которых информация представляется в виде «мм/дд/гггг чч:мм:сс».

Текстовое представление данных в семантическом формате принципиально отличается от цифровых способов обработки информации. Для любого географического объекта текстовая запись легко доступна для извлечения и восприятия, как, к примеру, сведения о гидрологических постах (название поста, номер поста, площадь водосбора реки в створе поста, дата открытия и т.д.).

В то же время, числовые форматы предлагают значительно расширенные возможности. Например, можно задать запрос к семантической базе данных, чтобы получить максимальное зарегистрированное значение расхода воды, не превышающее установленный порог. Кроме того, числовые данные позволяют выполнять базовые математические вычисления с использованием инструментов, интегрированных в геоинформационную систему.

## 2) Картографическое отображение атрибутивных данных

В QGIS визуальное представление картографических объектов, такое как условные обозначения, как правило, определяется на основе одной или нескольких их атрибутивных характеристик, содержащихся в таблице данных. Простейшим вариантом обозначения служат символы, которые делятся на несколько видов: маркеры – для отображения точек, линейные символы – для линий и контуров, символы заливки – для заполнения полигонов, а также текстовые обозначения (подписи). Каждый вид объектов в QGIS организован в отдельный слой (например, слой, содержащий точки, обозначающие центры водосборных площадей рек).

## 3) Картографические проекции в QGIS

Для отображения объектов с заданными сферическими координатами (географическими) на плоской карте применяется картографическая проекция. В связи с этим, при переносе данных с эллипсоида на плоскость необходимо преобразовать координаты, выраженные в десятичных градусах. В QGIS доступно около 2700 различных проекций. Параметры проекции можно задать как глобально, чтобы они применялись ко всем векторным слоям без указания

собственной проекции, так и индивидуально для каждого проекта. Также предусмотрена возможность создания и добавления собственных проекций и реализовано перепроектирование как для векторных, так и для растровых слоёв. Благодаря этим инструментам можно корректно отображать одновременно несколько слоёв, использующих разные проекции [8].

#### 4) Запросы и вычисления векторных и растровых данных по семантике

В ГИС запрос представляет собой один из наиболее доступных, но при этом действенных методов работы с пространственными данными. Он позволяет извлекать нужные сведения из геоинформационных слоев – векторных или растровых – без внесения изменений ни в сами данные, ни в их структуру.

Запрос – это конструкция, написанная на специальном языке и включающая логические связки, названия слоев и полей, из которых производится отбор. Результатом выполнения запроса является полученный набор данных.

Используя атрибутивные таблицы векторных слоев, можно формировать разнообразные запросы, опираясь на стандартные логические операторы (например, "И", "НЕ", "ИЛИ"). Так, при работе с векторным слоем, отображающим русла рек, можно выделить, скажем, только небольшие водотоки, такие как ручьи. Такой запрос будет иметь определенную форму. В одном запросе можно задать несколько критериев отбора. Возможен поиск объектов по числовым параметрам, а сами запросы могут быть любой длины, сочетая в себе различные условия, основанные как на текстовых идентификаторах, так и на числовых значениях, хранящихся в атрибутивной базе данных.

Помимо запросов по количественным признакам в атрибутивной базе данных векторных объектов можно делать вычисления, результаты которых будут записываться в виде новых признаков. В качестве примера можно привести расчетные параметры водосбора.

Например, средняя высота водосбора, определяемая по формуле:

$$\bar{H} = (f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots + f_n h_n) / A, \quad (2.34)$$

Где  $f_1, f_2, \dots, f_n$  – частные площади, заключенные между горизонталями;  $h_1, h_2, \dots, h_n$  – средняя высота между горизонталями;  $A$  – площадь бассейна.

### 5) Цифровые модели рельефа

Цифровые модели рельефа (ЦМР, или digital elevation model, DEM) отражают дневную поверхность Земли либо в растровой форме, либо в векторной форме TIN.

Цифровая модель поверхности (ЦМП, или digital surface model, DSM), которая строится не только по абсолютным отметкам над уровнем моря дневной поверхности Земли, но и по верхним отметкам растительности, зданий, сооружений и других объектов, возвышающихся над отметками поверхности земли.

Цифровую модель рельефа можно получить следующими способами:

- Интерполяция оцифрованных точек и изолиний высот с топографических карт;
- Методы дистанционного зондирования;
- Поиск и скачивание через сеть Интернет готовых ЦМР.

В рамках данного исследования в QGIS использовалась общедоступная цифровая модель местности Copernicus DEM — это цифровая модель поверхности (DSM), которая отображает земную поверхность, включая постройки, инфраструктуру и растительный покров. Данная DSM была получена из модифицированной DSM под названием WorldDEM, включающей выравнивание водоемов и постоянных речных потоков. Также проводилось редактирование береговых линий, специальных объектов, таких как аэродромы, и нереалистичных форм рельефа. Эта ЦМП применялась в двух вариантах пространственного разрешения: 30 и 90 метров [8].

### 6) Интерполяция

Интерполяция – это метод определения значений параметра в местах, где отсутствуют данные, путем анализа значений в точках, где измерения были проведены.

Обычно она применяется для создания растров, в которых для каждого пикселя вычисляется значение, опираясь на анализ окружающих пикселей с известными параметрами. Как правило, эти исходные точки расположены в пространстве нерегулярно. Полученный растр можно визуализировать как поверхность, где высота каждого пикселя отражает его значение. Ярким примером является цифровая модель рельефа, где каждый пиксель представляет собой высоту местности в абсолютных или относительных единицах. Другой пример – растр, отображающий среднемесячную температуру воздуха в каждом пикселе. Такие интерполяционные модели часто формируются на основе многолетних наблюдений за определенными характеристиками или данных, полученных в ходе полевых исследований.

В данной работе в роли метода интерполяции был выбран метод сплайна (spline), который являясь точным локальным интерполятором, создает поверхность с минимальной кривизной, точно проходящей через заданные точки. Другими словами, сплайн сгибает лист резины, который проходит через входные точки при сведении к минимуму общей кривизны поверхности. Лучше всего данный метод подходит для несильно меняющихся поверхностей, например уровней грунтовых вод [8].

## 7) Пространственное моделирование

Пространственный анализ геоданных может быть усовершенствован с помощью пространственного моделирования, при котором изменяются собственные параметры объектов. Для этого применяются геомодели – последовательности операций, объединенная в одну удобную функцию, запускаемую одним действием. В QGIS геомодели представлены в виде отдельных плагинов, а для их разработки используется специальный модуль «The model designer».

Широко распространенным методом пространственного анализа являются оверлейные операции, позволяющие анализировать данные путем наложения различных слоев объектов, что приводит к созданию новых объектов и

записи их в выходной слой. К этому же типу относятся и операции по формированию буферных зон вокруг точечных, линейных и полигональных векторных объектов. Кроме того, важным видом обработки геоданных является построение плотностных моделей, которые позволяют оценить распределение и концентрацию объектов на определенной территории.

Примером в области гидрологии могут являться геомодели, например, для построения водосборных площадей водотоков и их характеристики или построения карт глубин.

### 3 Оценка статистических характеристик среднемноголетнего годового стока и его изменчивости

#### 3.1 Формирование базы данных

Исходными данными послужили ряды среднемноголетних модулей стока рек Тюменской области. В частности, использовались данные с рек, приуроченных к водосборному бассейну Верхней и Средней Оби. Основная доля необходимых рядов наблюдений до 2008 года была получена из материалов Государственного водного кадастра (ГВК), хранящихся в библиотеке Государственного Гидрологического Института (ГГИ). В список использованных ресурсов вошли следующие: гидрологические ежегодники, основные гидрологические характеристики и ресурсы поверхностных вод СССР [9]. Ряды наблюдений с 2008 по 2022 год были получены из автоматизированной информационной системы государственного мониторинга поверхностных вод (АИС ГМВО).

В итоге была сформирована база данных, состоящая из 55 гидрологических постов с рядами среднемноголетних модулей годового стока. Из них 19 постов на данный момент закрыты. Остальные являются действующими. Средняя продолжительность исходных рядов составила 36 лет, а минимальная 12 лет. В связи с этим ряды были приведены к многолетнему периоду. Покрытие территории ХМАО сетью наблюдений за гидрологическим режимом является удовлетворительной, но с наличием пробелов. Наблюдениями хорошо освещены бассейны таких рек, как: Северная Сосьва, Конда, Большой Юган. В особенной степени удовлетворительную освещенность наблюдениями имеют бассейны таких рек, как: Тромеган, Вах, Пим, Казым, Лямин. Основная масса постов сосредоточена в центральной части региона, а также в ее крайней северо – западной части. Территория между центральной и северо – западной почти не имеет освещенности наблюдениями. В крайне восточной части наблюдения отсутствуют вовсе.

Всего в ХМАО постов 1-го класса, которые участвуют в данной работе 41 (таблица 3.1) (рисунок 3.1). Из них 24 действующих и 17 закрытых постов. Больше всего гидрологических постов в приурочено к бассейнам средних рек и составляет 66%, постов на малых реках 12%, а на больших 22% (таблица 3.2).

Таблица 3.1 – Список гидрологических постов Ханты – Мансийского автономного округа

Наименование поста	Код поста	Категория поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Высота, м	Действует / Закрыт
р. Лямин - факт. Горшково	10502	1	166	12800	35.1	Закрыт
р. Пим - с. Пим	10501	1	66	11800	36.71	Закрыт
р. Малый Юган - юрты Кинямины	10507	1	112	8130	39	Закрыт
р. Аган - п. Аган	10500	1	87	29700	37.7	Закрыт
р. Северная Сосьва - с. Кимкъясуй	11541	1	390	35700	12.48	Закрыт
р. Нягань-Юган - п. Нягань	11533	1	15	2350	17.74	Закрыт
р. Большой Юган - с. Рыскины	10504	1	236	18300	42	Закрыт
р. Северная Сосьва - с. Хулимсунт	11539	1	509	27300	19.24	Закрыт
р. Хулга - д. Ясунт	11549	1	12	9010	40	Закрыт
р. Щекурья - с. Щекурья	11550	1	1	1810	17.69	Закрыт
р. Вах - с. Лобчинское	10494	1	253	56400	39.93	Закрыт

Продолжение таблицы 3.2

Наименование поста	Код поста	Категория поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Высота, м	Действует / Закрыт
р. Тром-Юган - п. Кочевые	10496	1	341	5860	66.89	Закрыт
р. Тром-Юган - с. Ермаково	10498	1	160	13500	43.11	Закрыт
р. Аган - с. Варьеган	10499	1	276	15500	54.97	Закрыт
р. Сеуль - п. Таватьях		1				Закрыт
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Курт	—	1	—	—	—	Закрыт
р. Конда - пгт Междуреченский	—	1	—	—	—	Закрыт
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	11061	1	20	1650000	17.22	Действует
р. Обь - д. Белогорье	10031	1	1152	2690000	14.07	Действует
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	11544	1	254	69100	10.8	Действует
р. Конда - с. Болчары	11524	1	164	65400	26.75	Действует
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	11538	1	652	9850	32.77	Действует
р. Ляпин - с. Саранпауль	11548	1	148	18500	13.58	Действует
р. Конда - с. Алтай	11526	1	72	68600	19.63	Действует
р. Большой Юган - с. Угут	10505	1	166	22100	31.38	Действует
р. Конда - с. Чантырья	11520	1	735	13900	41.43	Действует

Продолжение таблицы 3.3

Наименование поста	Код поста	Категория поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Высота, м	Действует / Закрыт
р. Северная Сосьва - пгт Игрим	11545	1	147	87800	7.43	Действует
р. Амня - с. Казым	11536	1	14	7100	19.2	Действует
р. Конда - г. Урай	11521	1	674	23400	41.52	Действует
р. Супра - пос. Супра	11527	1	6	1630	58.44	Действует
р. Большой Юган - д. Таурова	10503	1	485	13000	47	Действует
р. Казым - д. Юильск	11534	1	417	7540	67.37	Действует
р. Назым - с. Кышик	10511	1	36	11500	20.64	Действует
р. Шома-Я - изба Шома-Я	11551	1	23	468	17.19	Действует
р. Большой Салым - с. Лемпино	10509	1	15	12500	21.96	Действует
р. Тром-Юган - д. Русскинская	10497	1	267	8800	55.49	Действует
р. Ляпин - с. Ломбовож	11568	1	57	26800	11.07	Действует
р. Юконда - с. Шугур	11622	1	184	3750	10	Действует
р. Вандрас - пос. Салым	10693	1	13	1740	38.4	Действует
р. Вах - пос. Ваховск	10694	1	276	56200	40.65	Действует
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	11542	1	324	65200	12.18	Действует

Таблица 3.4 – Гидрологическая изученность Ханты-Мансийского автономного округа по категориям рек

Категория реки	Количество гидрологических постов	Продолжительность лет наблюдений
Малая	5	12 – 43
Средняя	27	12 – 66
Большая	9	32 – 81
Всего	41	12 – 81

Покрытие территории Ямало-Ненецкого автономного округа сетью наблюдений за гидрологическим режимом водотоков является неудовлетворительной. Гидрологические посты в основном приурочены к бассейнам р. Пур в его верховье и р. Надым. В остальном это единичные и разрозненные по территории региона гидрологические посты. Неосвещенным наблюдениями остается бассейн р. Таз и Тазовской губы в целом. Также можно отметить слабую освещенность правобережья верхней Оби, верховья р. Надым и Пякупур. Полностью неосвещенными наблюдениями остаются полуострова Ямал, Тазовский и Гыданский. Всего в ЯНАО постов 1-го класса, которые участвуют в данной работе 14 штук (таблица 3.4, рисунок 3.1). Из них 12 действующих и 2 закрытых. Больше всего гидрологических постов в приурочено к бассейнам средних рек и составляет 50%, постов на малых реках 22%, а на больших 28% (таблица 3.3).

Таблица 3.5 – Список гидрологических постов Ямало-Ненецкого автономного округа

Наименование поста	Код поста	Категория поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Высота, м	Действует / Закрыт
р. Надым - г. Надым (речпорт)	11805	1	110	48000	7.59	Действует
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	11574	1	2.9	31400	15.27	Действует
р. Пур - пгт Уренгой	11571	1	244	80400	5.82	Действует
р. Собь - пгт Харп	11556	1	128	1240	66.66	Действует
р. Полуй - ТДС Полуй	11558	1	189	15100	5.67	Действует
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халясавэй	11575	1	108	6600	57.83	Действует
р. Сыня - с. Овгорт	11555	1	88	9880	5.01	Действует
р. Щучья - д. Лаборовая	11563	1	484	1680	38.2	Действует
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	11612	1	159	1200	41	Действует
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	11626	1	243	2080	45.98	Действует
р.Пур - пос.Самбург	11807	1	86	95100	-2.12	Действует
р. Обь - г. Салехард	11801	1	287	2950000	0.44	Действует
р. Полуй - факт. Глухариное	11573	1	301	10700	8	Закрыт
р. Таз - п. Сидоровск	11808	1	259	100000	2.83	Закрыт

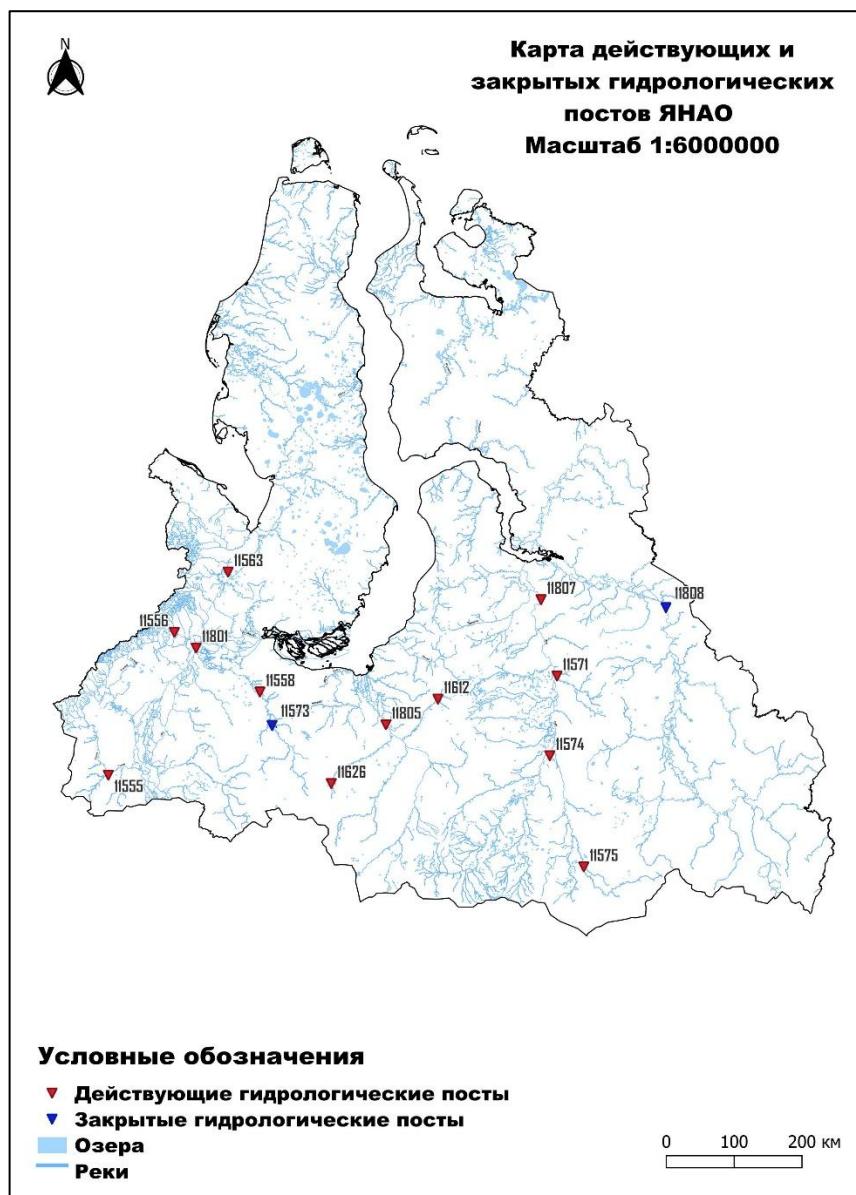


Рисунок 3.1 – Карта действующих и закрытых гидрологических постов  
ХМАО и ЯНАО

Таблица 3.6 – Гидрологическая изученность Ямало-Ненецкого автономного  
округа по категориям рек

Категория реки	Количество гидрологических постов	Продолжительность лет наблюдений
Малая	3	13 – 66
Средняя	7	12 – 66
Большая	4	28 – 81
Всего	14	12 – 81

### 3.2 Приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду

Средняя длина рядов наблюдений рядов среднемноголетних годовых модулей стока оказалась недостаточной для дальнейшей статистической обработки исходных. Поэтому в соответствии с СП 529.1325800.2023 было выполнено приведение их к многолетнему периоду. Для этого был использован метод множественной линейной корреляции, который был реализован в программном комплексе «Гидрорасчеты». К многолетнему периоду приводились величины среднемноголетних годовых модулей стока с использованием рек – аналогов. Максимальное количество рек – аналогов при восстановлении ряда равнялось трем.

Средняя продолжительность наблюдений исходных рядов составила 36 лет. Минимальная длина 12 лет (р. Пим – с. Пим, 10501). Максимальная 81 год (р. Северная Сосьва – д. Сартынья, 11544).

После приведения коротких рядов к многолетнему периоду средняя длина ряда увеличилась на 10 лет. Средняя длина ряда после восстановления составила 82 года. Минимальное количество лет, на которое было произведено восстановление составило 4, а максимальное 74 года. В итоге максимальная длина ряда после восстановления составила 93 года (р. Вандрас – пос. Салым – 10693), а минимальная 60 лет (р. Малый Юган – юрты Кинямины – 10507).

Средняя эффективность восстановления составила 194%. Средняя погрешность восстановления равна 0.39. Средний коэффициент корреляции между расчетной рекой и реками – аналогами колебался от 0.8 до 1.

Результаты приведения коротких рядов среднемноголетних годовых модулей стока представлены в приложении А.

### 3.3 Предварительный анализ исходных данных

Для выявления в рядах наблюдений аномалий, линейных трендов, подозрений на неоднородность и выбросов был выполнен предварительный анализ

исходных данных. В предварительный анализ вошло построение хронологических графиков хода среднемноголетних годовых модулей стока и их визуальная оценка, построение суммарных интегральных кривых, а также проверка рядов наблюдений на наличие тренда.

На первом этапе предварительного анализа исходных данных для каждого ряда был построен хронологический график хода среднемноголетних годовых модулей стока. По каждому из них была произведена визуальная оценка на наличие различных аномалий в виде выбросов, видимых подозрений на неоднородность по дисперсии или по среднему ряда, а также линейного тренда. По результатам визуальной оценки можно отметить то, что в почти 50% рядов наблюдается явная неоднородность. Среди них наблюдаются неоднородные ряды как по среднему, так и по дисперсии. Тренд наблюдается у 60% рядов и в большей массе он направлен на повышение. У 30% рядов отмечаются выбросы в области как минимальных, так и максимальных значений.

В данной главе в пример приведены показательные хронологические графики (рисунок 3.2, рисунок 3.3) по одному из 55 исследуемых рядов.



Рисунок 3.2 – Хронологический график хода среднегодовых модулей стока р. Малый Юган – юрты Кинямины

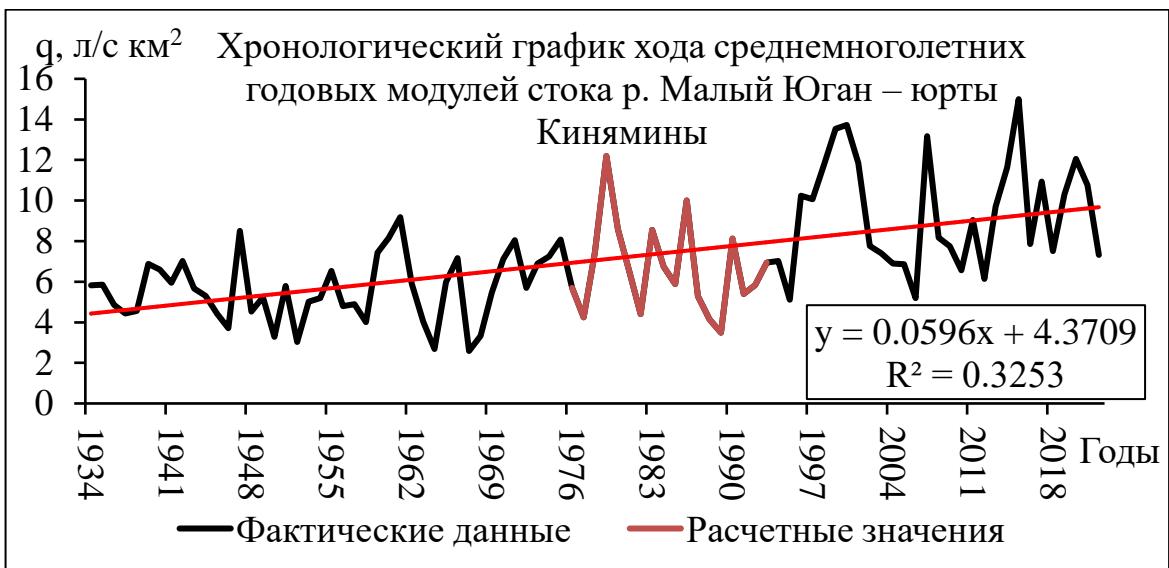


Рисунок 3.3 – Хронологический график хода среднегодовых модулей стока р. Малый Юган – юрты Кинямины

На втором этапе предварительного анализа исходных данных по каждому ряду были построены суммарные интегральные кривые, по которым выполнялась оценка отклонения кривой от условной прямой линии. По итогам оценки по каждому ряду была определена значимость линейного тренда, а также примерный год перелома (таблица 3.5), указывающий на нарушение однородности ряда. В пример приведена показательная суммарная интегральная кривая (рисунок 3.4) по одному из 55 исследуемых рядов.

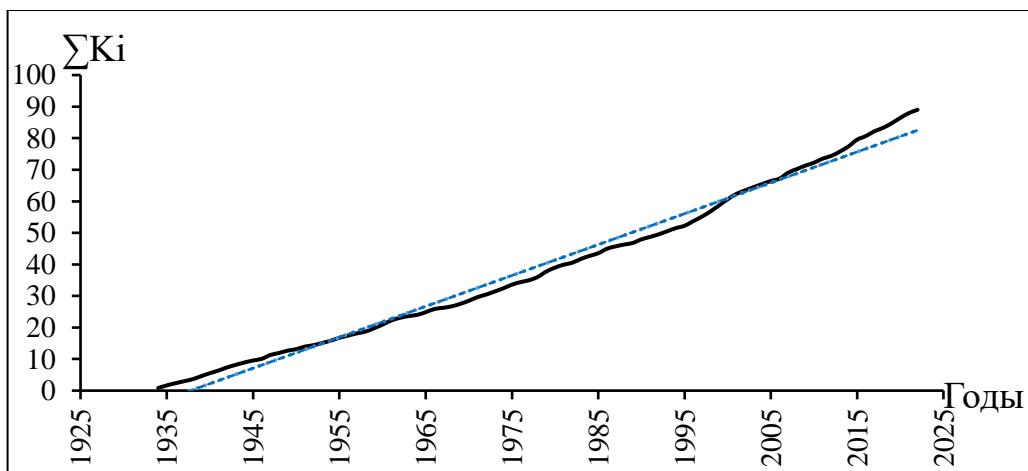


Рисунок 3.4 – Суммарная интегральная кривая среднемноголетнего годового модуля стока р. Малый Юган – юрты Кинямины

Таблица 3.7 – Результаты оценки значимости линейного тренда и годы переломов гидрологического режима

Река - пост	Код поста	Оценка	Переломный год
р. Пур - пгт Уренгой	11571	Значим	1989
р. Пур - с. Самбург	11807	Значим	1998
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	11574	Значим	1989
р. Надым - г. Надым	11805	Значим	1989
р. Щучья - пос. Щучье	11564	Незначим	1996
р. Сыня - с. Овгорт	11555	Незначим	1989
р. Собь - пгт Харп	11556	Значим	1986
р. Полуй - ГМС Полуй	11558	Незначим	1987
р. Щучья - д. Лаборовая	11563	Значим	1986
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	11612	Незначим	1980
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	11626	Значим	1989
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	11575	Значим	1969
р. Таз - п. Сидоровск	11808	Незначим	1980
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	11061	Значим	1952
р. Обь - д. Белогорье	10031	Значим	1996
р. Обь - г. Салехард	11801	Значим	1976
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	11544	Незначим	1980
р. Конда - с. Болчары	11524	Значим	1989
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	11538	Значим	1989
р. Ляпин - с. Саранпауль	11548	Незначим	1980
р. Конда - с. Алтай	11526	Значим	1989
р. Большой Юган - с. Угут	10505	Незначим	1981
р. Конда - с. Чантырья	11520	Значим	1989
р. Северная Сосьва - пгт Игрик	11545	Значим	1989
р. Амня - с. Казым	11536	Незначим	1980

Продолжение таблицы 3.8

Река - пост	Код поста	Оценка	Переломный год
р. Конда - г. Урай	11521	Значим	1982
р. Супра - пос. Супра	11527	Значим	1982
р. Большой Юган - д. Таурова	10503	Значим	1992
р. Казым - д. Юильск	11534	Значим	1994
р. Назым - с. Кышик	10511	Значим	1978
р. Шома-Я - изба Шома-Я	11551	Незначим	1981
р. Большой Салым - с. Лемпино	10509	Незначим	1989
р. Тром-Юган - д. Руссинская	10497	Незначим	1989
р. Ляпин - с. Ломбовож	11568	Значим	1997
р. Юконда - с. Шугур	11622	Незначим	1979
р. Вандрас - пос. Салым	10693	Незначим	1981
р. Вах - пос. Ваховск	10694	Значим	1988
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	11542	Незначим	1980
р. Лямин - факт. Горшково	10502	Значим	1997
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	—	Незначим	1997
р. Вах - с. Лобчинское	10494	Значим	1989
р. Аган - с. Варьеган	10499	Незначим	1989
р. Тром-Юган - с. Ермаково	10498	Незначим	1997
р. Пим - с. Пим	10501	Значим	1970
р. Сеуль - п. Таватьях	—	Значим	1989
р. Конда - пгт Междуреченский	—	Значим	1989
р. Обь - д. Прохоркино	11573	Незначим	1980
р. Аган - п. Аган	10500	Незначим	1980
р. Северная Сосьва - с. Кимкясуй	11541	Значим	1989
р. Нягань-Юган - п. Нягань	11533	Значим	1989
р. Большой Юган - с. Рыскины	10504	Значим	1989

Продолжение таблицы 3.9

Река - пост	Код поста	Оценка	Переломный год
р. Хулга - д. Ясунт	11549	Значим	1987
р. Северная Сосьва - с. Хулимсунт	11539	Незначим	1989
р. Щекурья - с. Щекурья	11550	Незначим	1980
р. Малый Юган - юрты Кинямины	10507	Значим	1997

Результаты оценки рядов среднемноголетних годовых модулей стока на значимость линейного показали то, что значимыми оказались 33 из 55 рядов (рисунок 3.5). То есть большинство имеющихся. Результаты оценки приведены в приложении Б.

Анализ суммарных интегральных кривых дал возможность выявить средний год перелома, который указывал на нарушение однородности ряда. Средний год перехода стационарного гидрологического режима в нестационарный – 1985 год. Превалирующим переломным годом для рядов с значимым линейным трендом стал 1989 год. Таким образом, исходя из анализа суммарных интегральных кривых и применяя один из климатических сценариев, годом разделения длинного ряда наблюдений на две части был выбран 1990 год.

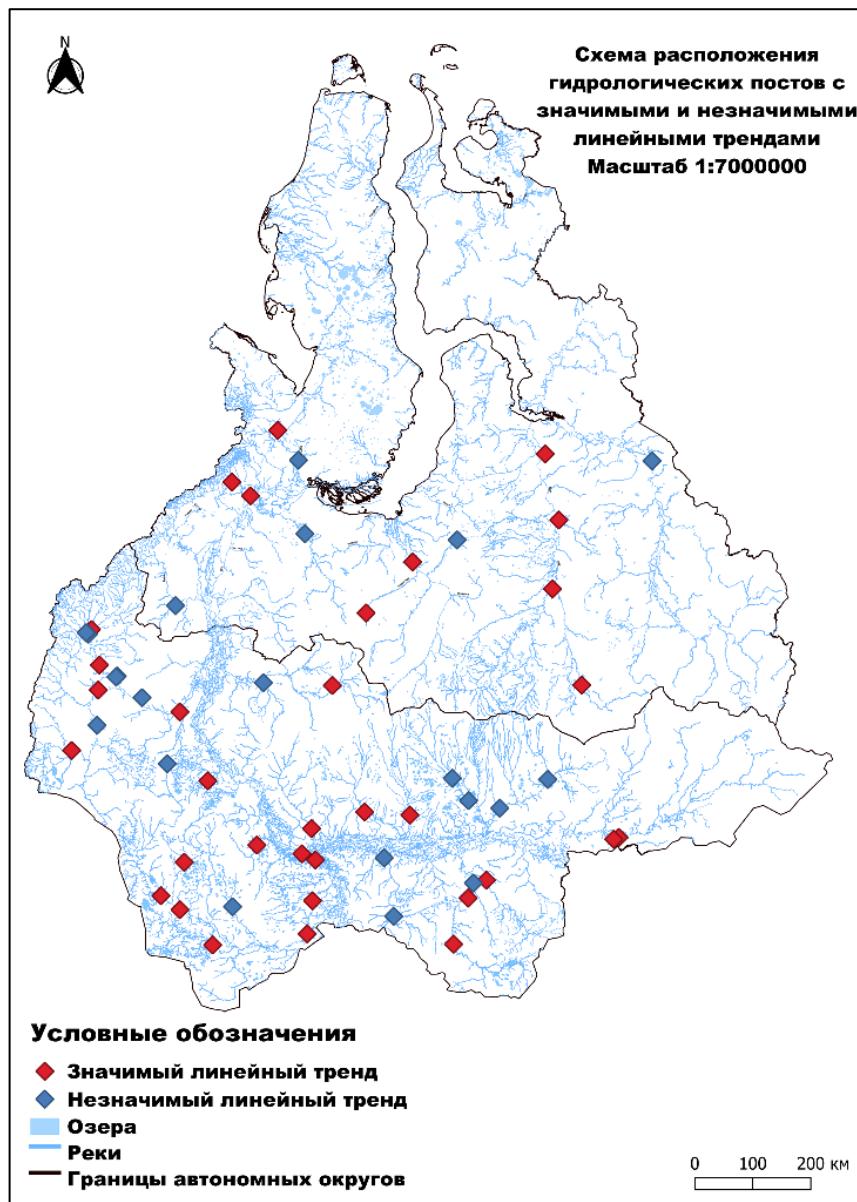


Рисунок 3.5 – Схема расположения гидрологических постов с значимыми и незначимыми линейными трендами

Основная масса гидрологических постов с значимым линейным трендом сконцентрирована в бассейнах таких рек как: Конда, Надым, Пур, Большой Юган и Вах. Также встречаются единичные посты с значимым трендом среди массы постов с отсутствием значимости. Из 33 постов здесь 1 относится к бассейну малой реки, 16 к бассейнам средних и 16 к бассейнам больших рек.

Гидрологические посты с незначимым линейным трендом приурочены к бассейнам таких рек как: Тромеган, Аган, Большой Салым. В бассейне р. Северная Сосьва соотношение постов с значимым и незначимым линейными

трендами примерно равно. В остальном посты с наличием значимого линейного тренда единичны и появляются в некоторых речных бассейнах. Из 22 поста здесь 2 относится к бассейну малых рек, 14 к бассейнам средних и 6 к бассейнам больших рек.

### 3.4 Анализ однородности и стационарности гидрологических рядов

Анализ однородности гидрологических рядов был выполнен для полноценного ряда наблюдений, а также для его частей до 1990 года и с 1990 по 2022 год. Проверка на однородность была осуществлена в программном комплексе «Гидрорасчеты». Был выполнен учетом автокорреляции рядов среднегодовых модулей стока при уровне значимости 5%. Проверка рядов на случайность показала то, что 75% рядов среднемноголетних годовых модулей стока принадлежит модели авторегрессии первого порядка. Ввиду больших случайных погрешностей расчета коэффициента автокорреляции по индивидуальным рядам наблюдений за основными гидрологическими характеристиками обычно оценка этого параметра производится по группе рек аналогов с наиболее продолжительными наблюдениями в однородном гидрологическом районе, или по данным, приведенным к многолетнему периоду. В данной работе по итогам оценки по группе рек с наиболее продолжительными наблюдениями применялся районный коэффициент автокорреляции равный  $r(1) = 0.33$ . Ряды среднемноголетних годовых модулей стока были проверены по критериям резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении (критерии Смирнова–Граббса и Диксона) и по критериям однородности выборочных дисперсий (критерий Фишера) и выборочных средних (критерий Стьюдента).

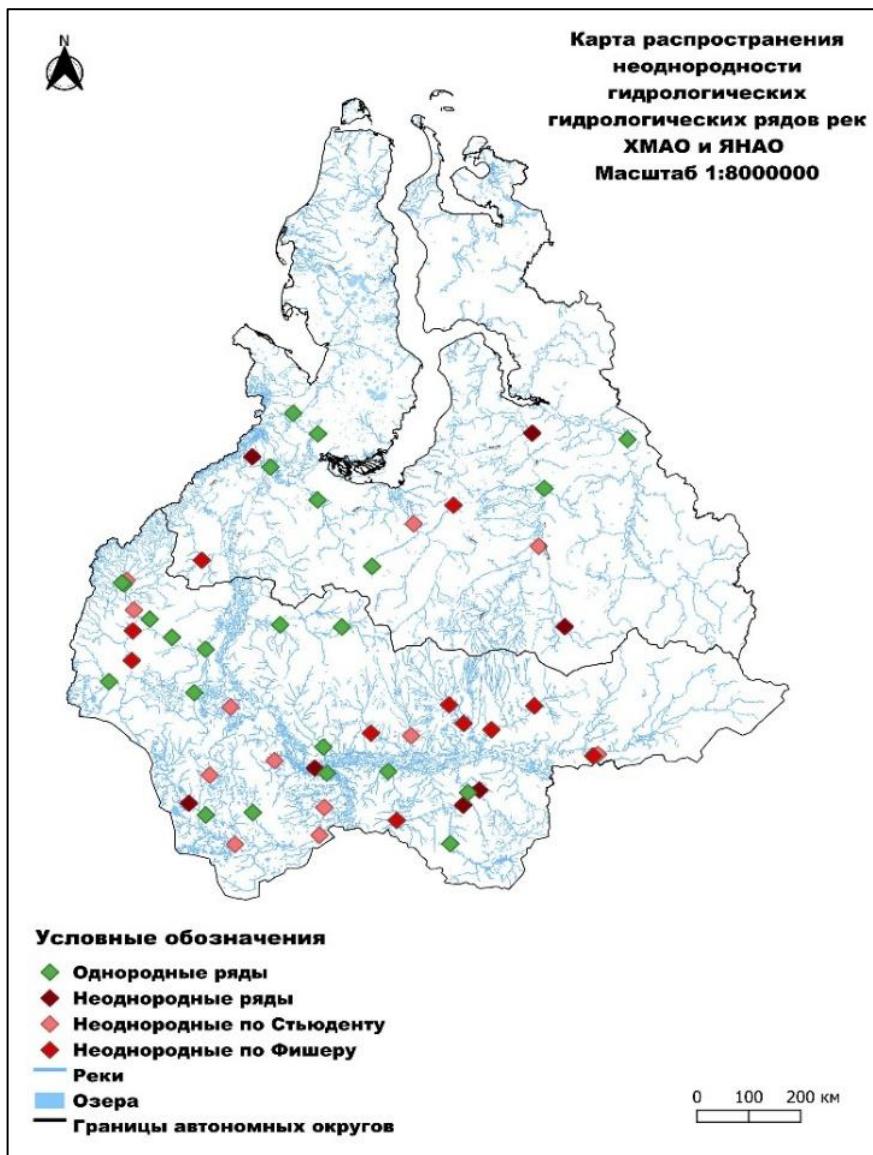


Рисунок 3.6 – Карта распространения неоднородности гидрологических рядов рек ХМАО и ЯНАО по всей длине ряда

В результате анализа однородности рядов среднемноголетних годовых модулей стока выявлено то, что 30 из 55 рядов являются неоднородными (таблица 3.6). 7 из 55 неоднородны по обоим критериям. 18 из 55 неоднородны по Фишеру и 19 по Стьюденту. Неоднородность в рядах наблюдений для всей длины ряда отмечается почти во всех крупных бассейнах рек Средней Оби и Верхней Оби. Исключением стали реки Таз, Казым, Назым, Щучья, Собь, Хейги-Яха.

При оценке однородности для первой половины ряда до 1990 года 13 из 55 рядов оказались неоднородными (таблица 3.6). Из 13 по Фишеру 8, по Стьюденту 5. Полностью неоднороден 1 ряд.

При оценке однородности с 1990 года по 2022 год 7 из 55 рядов оказались неоднородными (таблица 3.6). Из 7 по Фишеру 5, а по Стьюденту 2 ряда.

Таблица 3.10 – Итог анализа однородности рядов среднемноголетнего годового модуля стока по критериям Стьюдента и Фишера при уровне значимости 5% по всем расчетным периодам

Оценка / Период	Весь период	До 1990 года	С 1990 по 2022 год
Всего	55	55	55
Однородны полностью	25	43	48
Неоднородны полностью	7	1	–
Неоднородны по Фишеру	18	8	5
Неоднородны по Стьюденту	19	5	2

При оценке рядов среднемноголетних годовых модулей стока по критериям резко отклоняющихся экстремальных значений (критерии Смирнова – Граббса и Диксона) по всей длине ряда следует отметить то, что 17 из 55 рядов оказались неоднородными. Больше всего отклоняющихся значений замечено по четвертому критерию Диксона (таблица 3.7). В области минимальных 8 случаев, в максимальных 6.

При оценке по первой половине ряда до 1990 года 15 из 55 рядов оказались неоднородными. Больше всего отклоняющихся значений замечено по второму и третьему критериям Диксона – 11 (таблица 3.7). У второго в области минимальных 4 случая, в максимальных 7. У третьего 8 и 3 случаев соответственно.

При оценке по второй половине ряда с 1990 по 2022 года 9 из 55 рядов оказались неоднородными. Больше всего отклоняющихся значений замечено по четвертому критерию Диксона (таблица 3.7). В области минимальных 5 случаев, в максимальных 2.

В большинстве своем наличие резко отклоняющихся экстремальных значений как в области минимальных, так в области максимальных значений связаны с результатами приведения коротких рядов к многолетнему периоду, так как при восстановлении расчетные ряды имеют свойство перенимать на себя значения с рек – аналогов. Причины выбросов в областях минимальных и максимальных значений в рядах с продолжительным числом лет наблюдений могут иметь различные причины. Например, этими причинами могут быть как погрешности в измерениях, так события редкой вероятности появления.

Таблица 3.11 – Итоги анализа однородности рядов среднемноголетнего годового модуля стока по критериям Диксона и Смирнова – Граббса при уровне значимости 5% по всем расчетным периодам

Весь период			
Критерий	Частота		
	Всего	Min	Max
Диксон 1	11	7	4
Диксон 2	9	6	3
Диксон 3	13	8	5
Диксон 4	14	8	6
Диксон 5	12	7	5
Смирнов-Граббс	9	7	2
До 1990 года			
Диксон 1	9	2	7
Диксон 2	11	4	7
Диксон 3	11	8	3

### Продолжение таблицы 3.12

Критерий	Весь период		
	Всего	Min	Max
Диксон 4	10	7	3
Диксон 5	7	4	3
Смирнов-Граббс	7	6	1
С 1990 по 2022 год			
Диксон 1	5	3	2
Диксон 2	6	4	2
Диксон 3	6	4	2
Диксон 4	7	5	2
Диксон 5	6	5	1
Смирнов-Граббс	2	2	0

### 3.5 Построение эмпирических и аналитических кривых обеспеченностей и расчет параметров распределения

Расчет параметров распределения производился методом моментов. Реализация метода моментов была осуществлена в программном комплексе «Гидрорасчеты». Для аппроксимации истинных распределений рядов среднемноголетних годовых модулей стока использовались такие аналитические кривые обеспеченностей как кривая Крицкого – Менкеля и кривая Пирсона третьего типа. Для неоднородных рядов использовались составные кривые обеспеченностей, рекомендуемые действующими в России нормативными документами. Их реализация была осуществлена в программном комплексе «HydroStatCalc». Расчет был выполнен как для полноценного ряда наблюдений, так и для его частей до 1990 года и с 1990 по 2022 года.

В результате было получено три таблицы с расчетными параметрами распределений для 55 рядов среднемноголетних годовых модулей стока, которые представлены в приложении В. В таблицах представлены следующие параметры: среднее значение, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии и отношение коэффициента вариации к коэффициенту асимметрии.

Рассматривая полученные параметры распределений, которые были рассчитаны по всей длине можно сказать, что среднее значение исследуемых рядов колеблется от 1.79 до 18.19 л/с км<sup>2</sup>. Коэффициент вариации варьируется от 0.15 до 0.39. Коэффициент асимметрии от 0.1 до 1.2. Отношение коэффициента вариации к коэффициенту асимметрии изменяется от 0.5 до 6.

Говоря про параметры, рассчитанные по первой половине ряда до 1990, можно сказать, что среднее значение исследуемых рядов колеблется от 1.61 до 24.87 л/с км<sup>2</sup>. Коэффициент вариации варьируется от 0.12 до 0.47. Коэффициент асимметрии от -0.4 до 1.29. Отношение коэффициента вариации к коэффициенту асимметрии изменяется от -2.5 до 6.

В случае с параметрами, полученными по второй половине ряда с 1990 по 2022 год, можно сказать, что среднее значение исследуемых рядов колеблется от 1.91 до 17.92 л/с км<sup>2</sup>. Коэффициент вариации варьируется от 0.14 до 0.38. Коэффициент асимметрии от -0.51 до 1.56. Отношение коэффициента вариации к коэффициенту асимметрии изменяется от -1.5 до 6.

Сравнивая изменение полученных параметров за оба периода следует отметить то, что сток в целом увеличился на 11.5%. Коэффициент вариации увеличился на 7.5%. Коэффициент асимметрии уменьшился на 3%.

### 3.6 Картирование параметров распределений и анализ полученных карт

На данном этапе было произведено построение карт изолиний стока и его статистических характеристик, которые были получены в результате выполнения комплекса статистической обработки рядов среднемноголетних годовых модулей стока. Итогом обработки стали расчетные параметры распределений исследуемых рядов, которые далее были подвергнуты картированию,

а также дальнейшему анализу. Реализация методики картирования статистических характеристик в ГИС описана в главе 4.

Линии равных значений стока создаются на основе данных об стоке рек с зональным характером, поскольку они отображают зональные вариации этой характеристики, что соответствует изменениям зональных геоморфологических условий в изучаемом районе. В зависимости от анализируемого параметра стока, к рекам с зональным режимом относят водотоки с разной площадью водосборного бассейна. Эти значения определяются путем анализа графиков, показывающих соотношение между модулем стока и размером водосбора. Данная взаимосвязь демонстрирует, как объем питания реки при определенном уровне влажности зависит от глубины вреза ее русла и от уровня грунтовых вод, являющихся источником питания. Распределение глубины залегания грунтовых вод также следует принципам географической зональности. Поэтому площадь водосбора, при которой водный режим рек проявляет зональные особенности, меняется в зависимости от географического положения. Таким образом был построен график связи среднемноголетних годовых модулей стока с площадями водосборов соответствующих рек (рисунок 3.7) [5].

Сток воды в данном створе реки является интегральной характеристикой стока с бассейна реки. Поэтому при построении карты изолиний стока она относится к центру тяжести водосбора, что было также учтено при составлении карт. Описание методики определения центра тяжести водосбора также описана в главе 4.

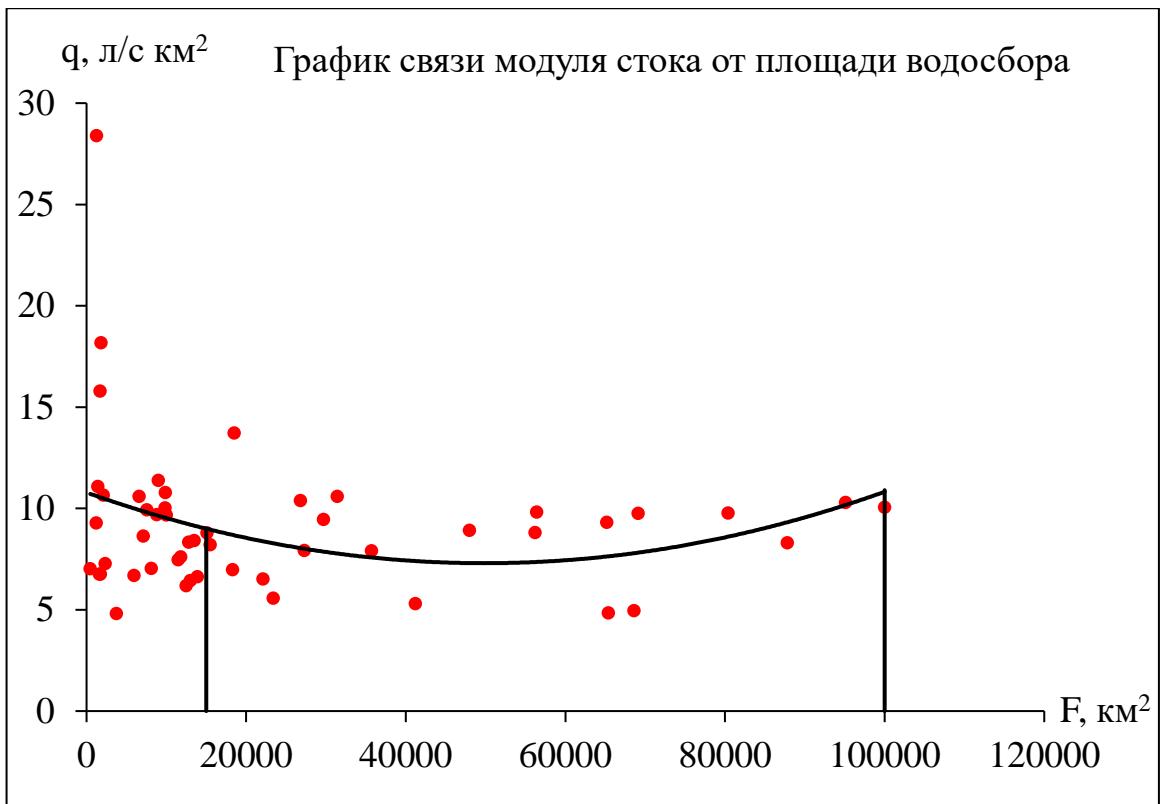


Рисунок 3.7 – График связи модуля стока рек территорий ХМАО и ЯНАО от площади водосбора

После построения графика связи модуля стока от площади водосбора был сделан вывод о том, что нижним пределом для используемых в картировании рек будет площадь равная  $15000 \text{ км}^2$ , а верхним пределом  $100000 \text{ км}^2$ . Таким образом в картировании применялись 18 гидрологических постов (таблица 3.8). Из них 6 рек относятся к категории средних, оставшиеся 12 к категории больших рек.

Таблица 3.13 – Гидрологические посты применяющиеся в картировании

Наименование поста	F, км <sup>2</sup>	Категория реки
р. Полуй - ГМС Полуй	15100	Средняя
р. Таз - п. Сидоровск	100000	Большая
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	69100	Большая

Продолжение таблицы 3.14

Наименование поста	F, км <sup>2</sup>	Категория реки
р. Ляпин - с. Саранпауль	18500	Средняя
р. Большой Юган - с. Угут	22100	Средняя
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	65200	Большая
р. Аган - с. Варьеган	15500	Средняя
р. Северная Сосьва - с. Хулимсуз	27300	Большая
р. Пур - пгт Уренгой	80400	Большая
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	31400	Средняя
р. Надым - г. Надым	48000	Большая
р. Конда - с. Болчары	65400	Большая
р. Северная Сосьва - пгт Игриш	87800	Большая
р. Конда - г. Урай	23400	Большая
р. Ляпин - с. Ломбовож	26800	Средняя
р. Вах - с. Лобчинское	56400	Большая
р. Конда - пгт Междуреченский	41200	Большая
р. Северная Сосьва - с. Кимкъясуй	35700	Большая

В результате были построены карты среднемноголетнего годового стока, а также коэффициента вариации среднемноголетнего годового стока рек территорий ХМАО и ЯНАО. Отдельно получены карты за период до 1990 года. Отдельно за период с 1990 по 2022 год.

По результатам построенной карты изолиний среднемноголетнего годового стока рек территорий ХМАО и ЯНАО за период до 1990 года можно сказать следующие (рисунок 3.8). Сток по территории распространен в целом равномерно. Особенность это заметно на территории ХМАО. Здесь, начиная с крайней южной точки, отмечается зона с модулем стока равного 5 л/с км<sup>2</sup>. Далее с юга на север он увеличивается, достигая значения в 9 л/с км<sup>2</sup> почти на границе

двух округов. Здесь же происходит смена природных зон. После чего отчетливо видно смещение изолиний в сторону западного склона Уральских гор. Здесь же изолинии сгущаются и здесь же отмечается наибольшее значение стока равное  $13 \text{ л/с км}^2$ . Также отмечается отдельная изолиния равная  $10 \text{ л/с км}^2$ , которая приурочена к среднему течению р. Таз. Остальная территория в виде крайнего севера остается неосвещенной в связи с отсутствием на ней сети наблюдений.

Говоря про построенную карту изолиний коэффициента вариации среднемноголетнего годового стока рек территорий ХМАО и ЯНАО за период до 1990 года, можно сказать следующие (рисунок 3.9). Общая тенденция в направлении изменения коэффициента вариации по территории, в общем и целом, схожа с изолиниями стока. Здесь также отмечается направление с юга на север, но по мере отдаления от юга изолинии начинают свое смещение на северо – восток, а затем на восток. Коэффициент вариации в общем уменьшается также с юга на север, начиная со значения равного 0,36 в крайней южной точке территории и заканчивая значением равным 0,18 в среднем течении р. Таз.

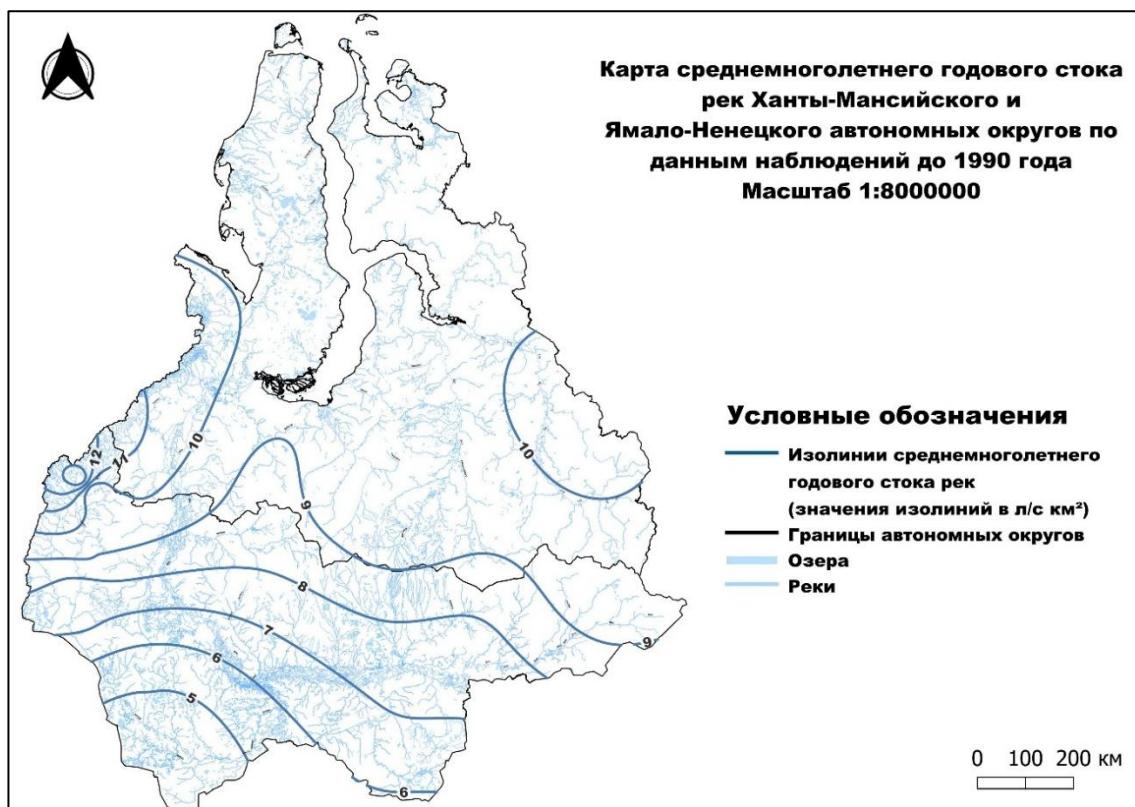


Рисунок 3.8 – Карта среднемноголетнего годового стока рек ХМАО и ЯНАО по данным до 1990 года

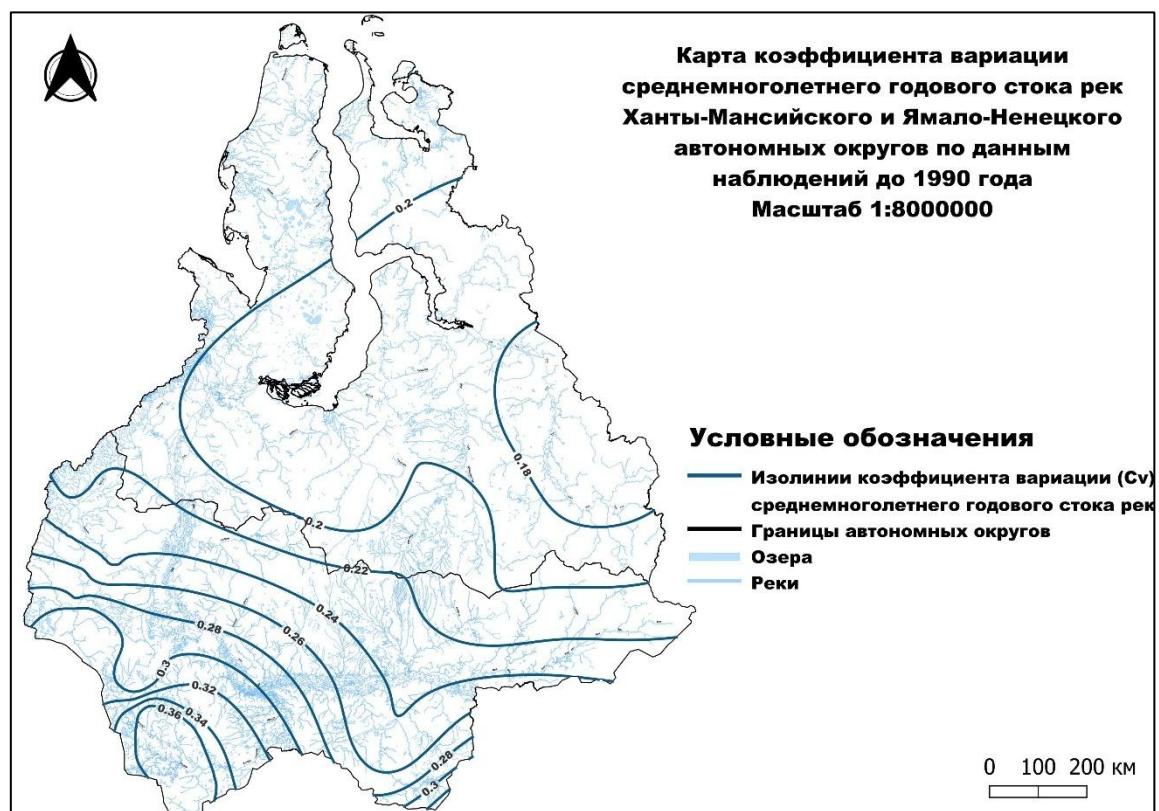


Рисунок 3.9 – Карта среднемноголетнего годового стока рек ХМАО и ЯНАО по данным до 1990 года

По результатам построенной карты изолиний среднемноголетнего годового стока рек территорий ХМАО и ЯНАО за период с 1990 по 2022 год можно сказать следующие (рисунок 3.10). Сток по территории за данный период по сравнению с прошлым периодом распространен уже не так равномерно. Крайняя изолиния, расположенная на крайней южной точке территории ранее отступила на юг и теперь на ее месте располагается изолиния равная 6 л/с км<sup>2</sup>. Остальные изолинии также продвинулись с юга на север. Тенденция к общему изменению сохранилась и также направлена с юга на север, оставляя смещение изолиний в сторону западного склона Уральских гор. Здесь также отмечается сгущение изолиний с максимальным значением стока равным 14 л/с км<sup>2</sup>. В этом периоде также отмечается отдельная изолиния равная 10 л/с км<sup>2</sup>, которая теперь приурочена к крупным верховьям правобережных притоков р. Таз. Говоря о неравномерности нынешнего распространения стока по территории следует отметить то, что изолинии равные 9 и 10 л/с км<sup>2</sup> получили в своем распространении локальное продвижение на север в бассейн р. Полуй и р. Надым. Также появилась выбивающаяся из общей массы изолиния равная 11 л/с км<sup>2</sup> и приуроченная ко всему бассейну р. Пур.

Говоря про построенную карту изолиний коэффициента вариации среднемноголетнего годового стока рек территорий ХМАО и ЯНАО за период с 1990 по 2022 год, можно сказать следующие (рисунок 3.11). Здесь тенденция в направлении изменения коэффициента вариации по территории претерпела весомые изменения. Теперь изменение происходит, грубо говоря, из центра рассматриваемой территории. Начиная с изолинии равной 0.15 л/с км<sup>2</sup> в районе, которая начинается с верховья р. Аган, охватывая верховья р. Пур, р. Полуй и низовья Оби, и уходит, не замкнувшись в район Уральских гор. Таким образом распространение в целом идет во все стороны до изолинии равной 0.22. Здесь общая масса уходит в сторону юго-востока. Также образуется сгусток изолиний в бассейнах рек Ляпин и Северная Сосьва с максимумом равным 0.38 л/с км<sup>2</sup>, а также в бассейне р. Пур и Таз. Весомые значения также располагаются в бассейнах рек Вах и Большой Юган.

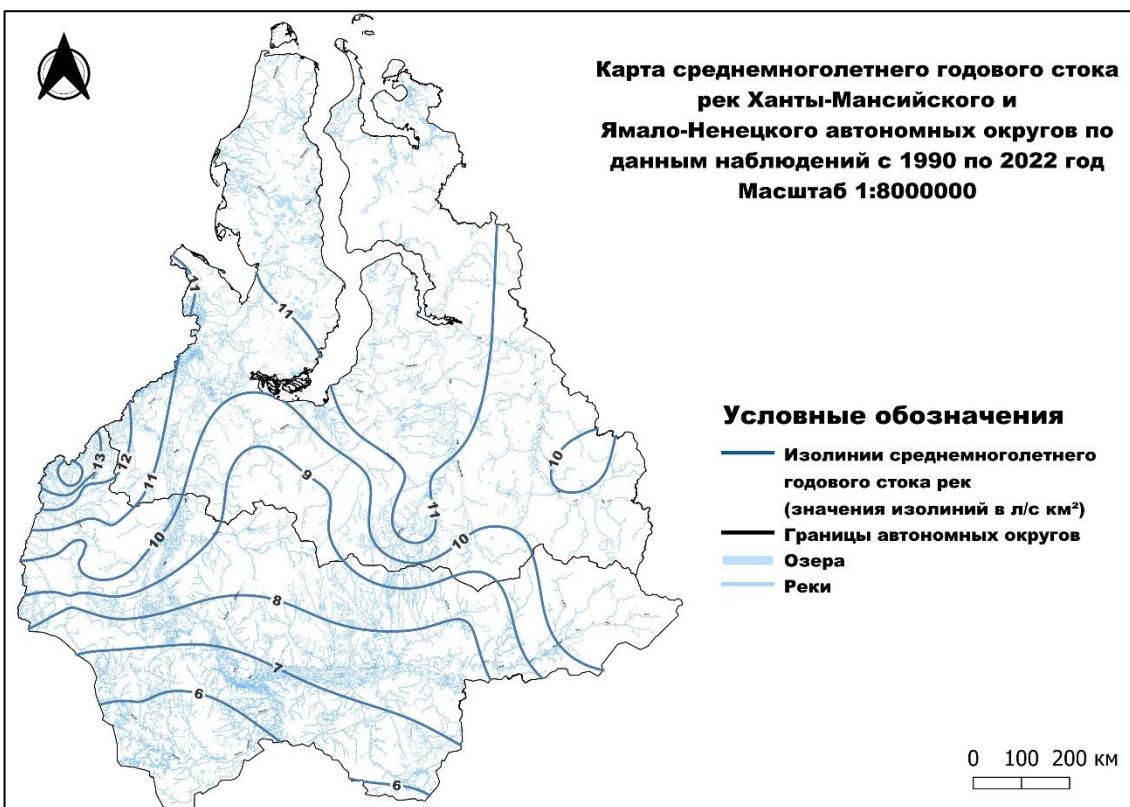


Рисунок 3.10 – Карта среднемноголетнего годового стока рек ХМАО и ЯНАО по данным с 1990 по 2022 год

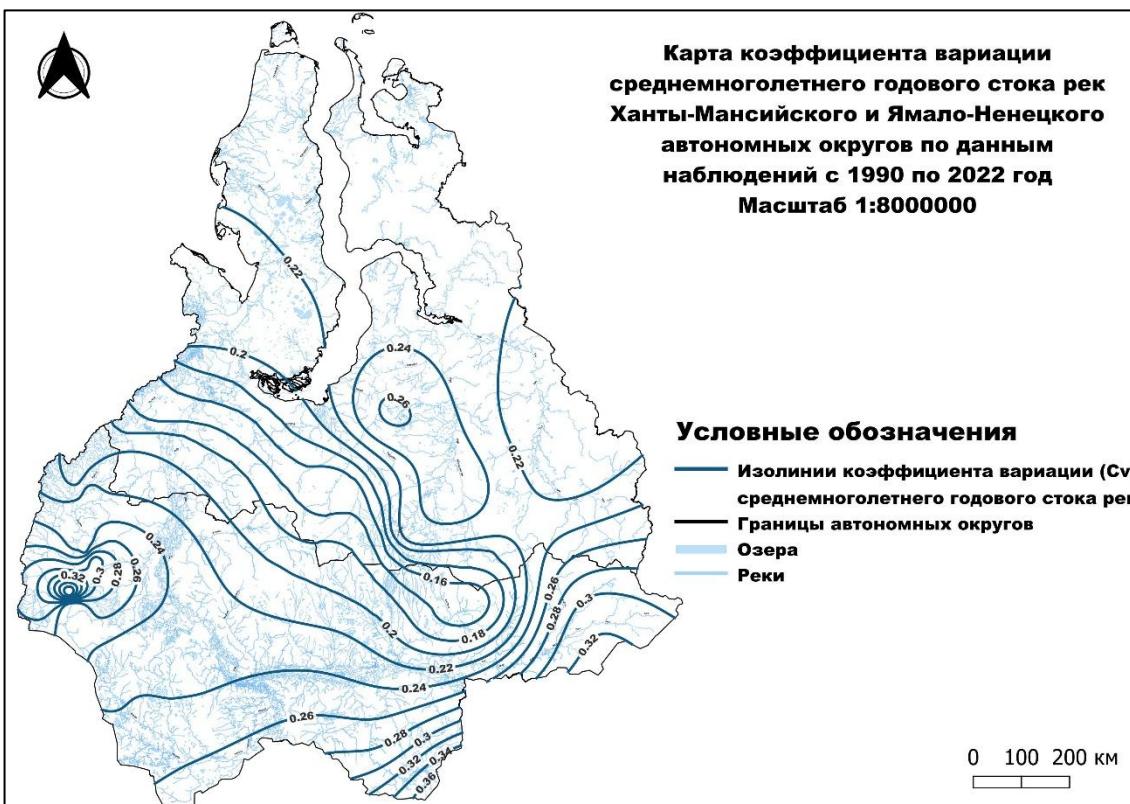


Рисунок 3.33 – Карта среднемноголетнего годового стока рек ХМАО и ЯНАО по данным до 1990 года

## 4 Создание гидрологической ГИС для территории Тюменской области

### 4.1 Создание базового ГИС проекта

На первом этапе создания гидрологической ГИС необходимо установить необходимую версию QGIS, создать новый проект и найти местоположение исследуемого района. Далее наполнить проект всеми необходимыми векторными данными и подготовить цифровую модель рельефа.

#### 4.1.1 Установка QGIS и создание нового проекта

Для установки QGIS необходимо перейти на официальный сайт программного обеспечения «qgis.org» (рисунок 4.1) [10]. Как уже упоминалось ранее QGIS — это геоинформационная система с открытым исходным кодом, которая абсолютно бесплатна для пользователей. Далее, нажимая на кнопку «Download», расположенную в нижнем левом углу, перейти на страницу загрузки программы (рисунок 4.2).

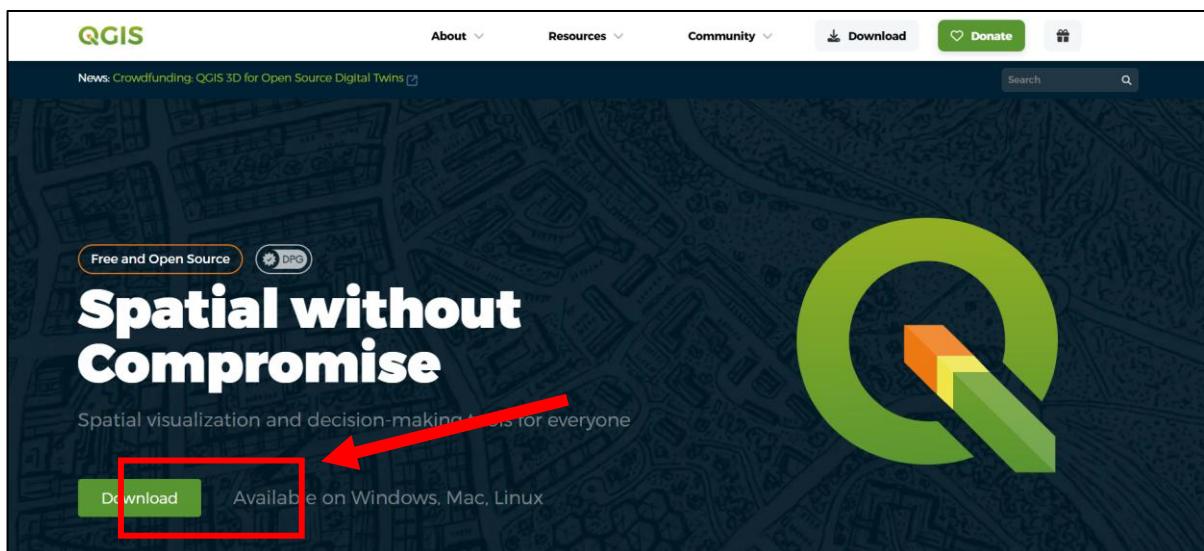


Рисунок 4.1 – Главная страница сайта QGIS

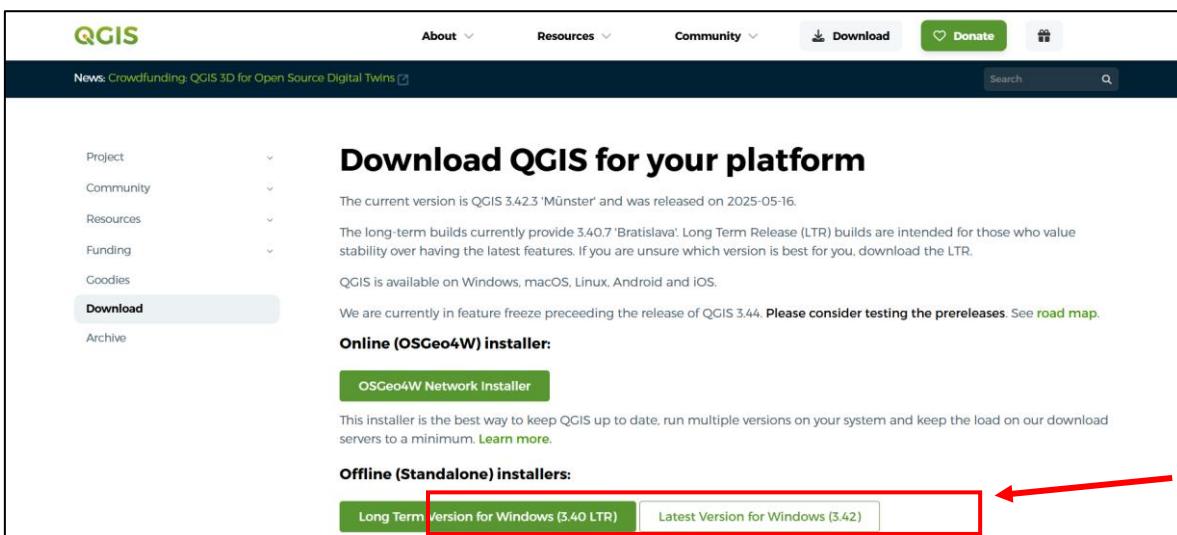


Рисунок 4.2 – Страница загрузки QGIS

На данной странице есть возможность установки программного обеспечения. Нажимая на одну из кнопок «Long Term Version for Windows (3.40 LTR)» или «Latest Version for Windows (3.42)» начнется установка загрузчика программы (рисунок 4.3). Здесь есть возможность установки различных версий. Как самых поздних, так и много ранних. Как показывает опыт лучше всего использовать версию, предшествующую самой ранней по той причине, что новые версии могут содержать всему различного рода сбои и некорректность в работе. Здесь же можно выбрать то, на какую платформу и на какую операционную систему будет установлен QGIS (рисунок 4.3).

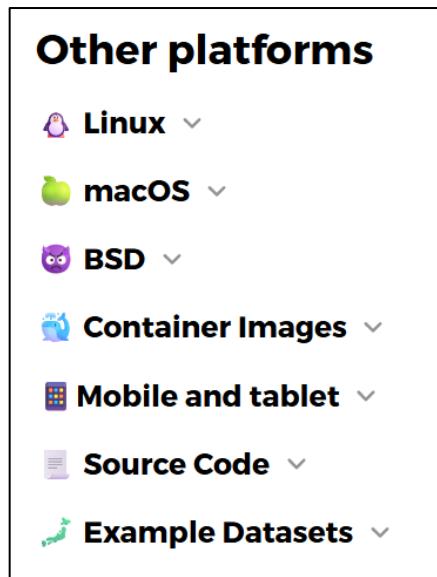


Рисунок 4.3 – Вариации платформ и операционных систем для QGIS

После открытия, скаченного установщик QGIS производим установку программы. Установка не отличается ничем особым от установок иных подобных программ для персонального компьютера (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Установка QGIS

После окончания установки на рабочем столе компьютера появится папка с соответствующим программным обеспечением. После открытия папки следует запустить программу (рисунок 4.5).

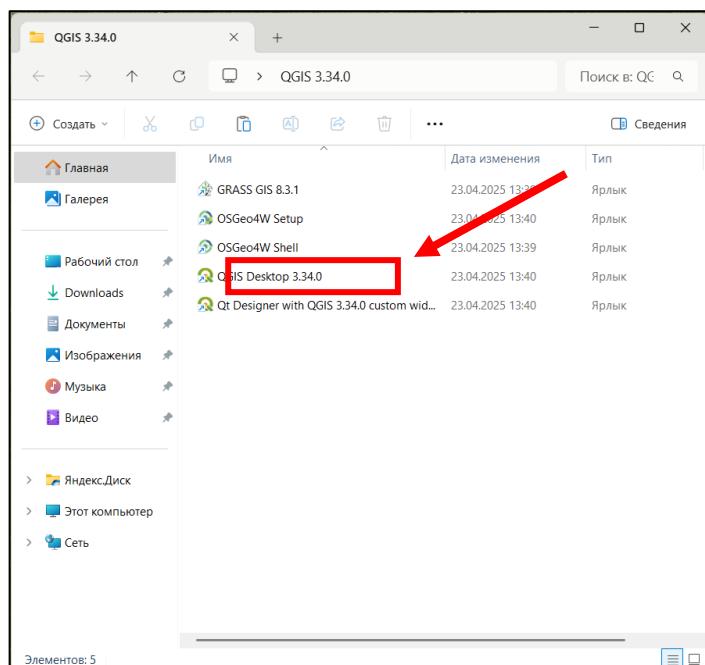


Рисунок 4.5 – Запуск QGIS

В открывшемся окне программы следует нажать «Создать пустой проект» (рисунок 4.6). После чего проект будет создан, откроется рабочее пространство программы.

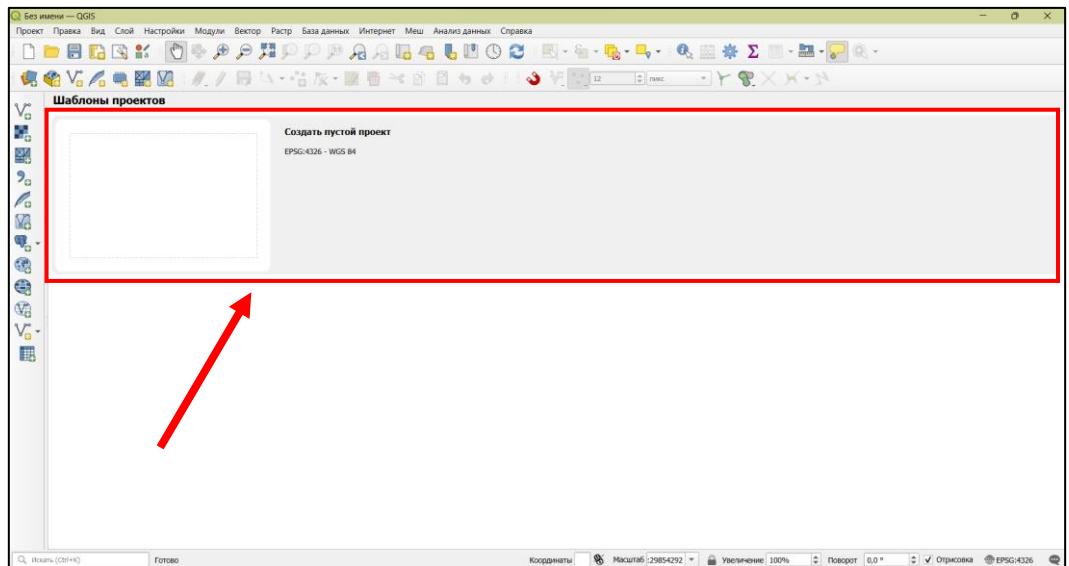


Рисунок 4.6 – Создание нового проекта в QGIS

После создания нового проекта требуется загрузить картографическую подложку, которая необходима для ориентации в пространстве. Загрузка той или иной картографической подложки производится при помощи модуля «QuickMapServices». В дальнейшем данный модуль станет неотъемлемым инструментом в создаваемой гидрологической ГИС.

Загрузка сторонних модулей производится через отдельную вкладку «Модули». Последовательность доступа к ней следующая «Модули – Управление модулями» (рисунок 4.7). Далее во вкладке «Все» предстает весь список всех существующих модулей доступных для загрузки. Удобнее всего пользоваться данным сервисом при помощи поиска. Введя в поисковой строке «QuickMapServices» в списке появится нужный модуль. Нажав на него, откроется окно с подробной информацией о модуле. Нажав на кнопку «Установить модуль» модуль будет установлен и добавлен в библиотеку (рисунок 4.8).

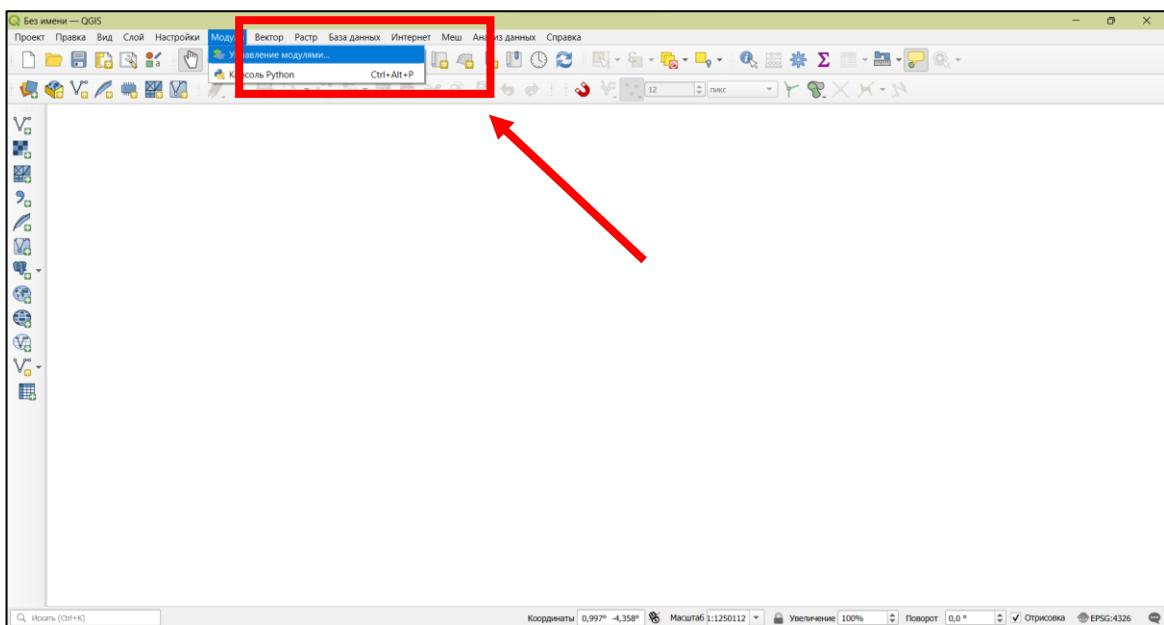


Рисунок 4.7 – Доступ к установке модулей в QGIS

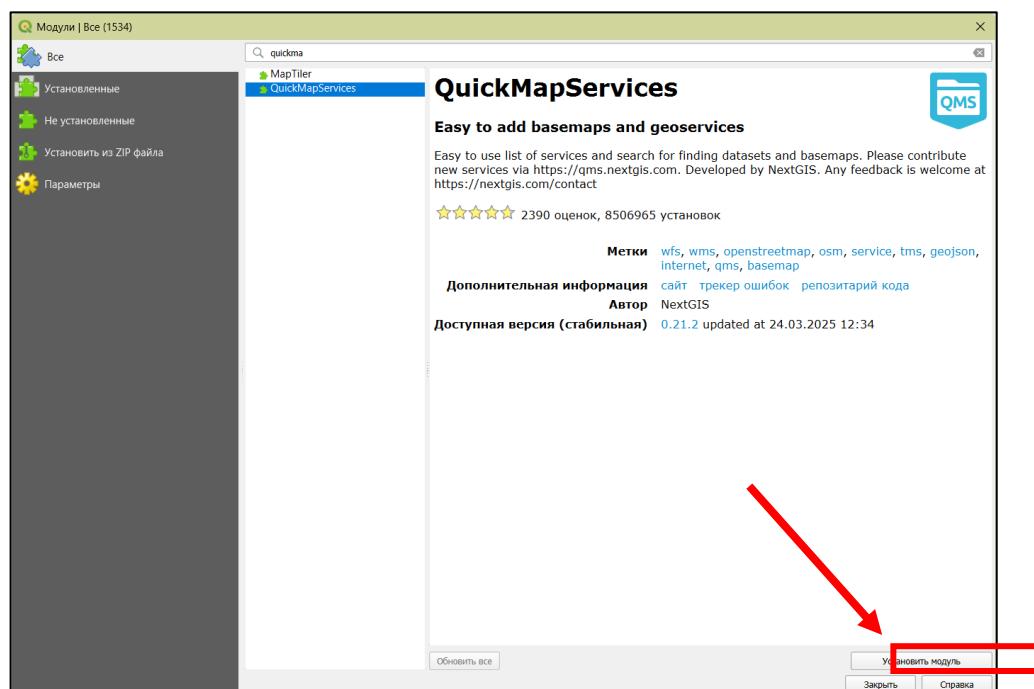


Рисунок 4.8 – Установка модуля

После установки данный модуль появится во вкладке «Панели». Доступ к ней можно получить, нажав левой кнопкой мыши в пространстве инструментов на рабочем пространстве. Далее нужно единожды нажать строку на «QuickMapServices», а также на строку «Слои», которая понадобится в последствии (рисунок 4.9). После чего на рабочем пространстве появится еще одно

окно, представляющее собой сам модуль справа и окно со слоями слева. В модуле имеется поисковая строка, посредством которой выполняется поиск необходимой картографической подложки. Написав в ней запрос, например, «Yandex» мы получим список из различных подложек от данного производителя. Выбрать необходимую следует одним нажатием на кнопку «Добавить» (рисунок 4.10). После чего выбранная подложка откроется в рабочем пространстве, а также в окне слоев.

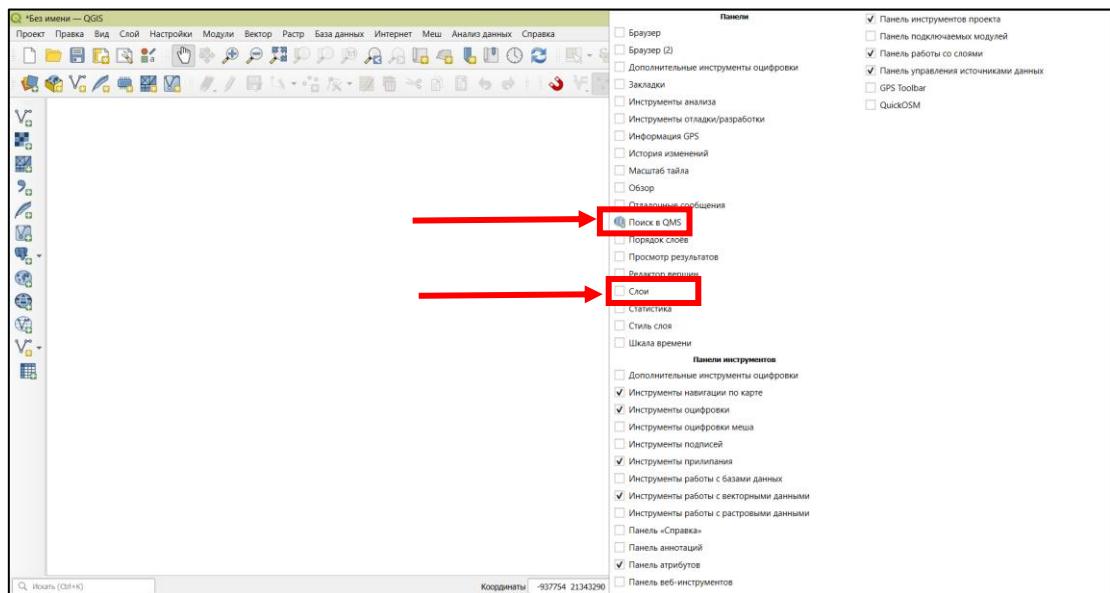


Рисунок 4.9 – Выбор необходимых панелей

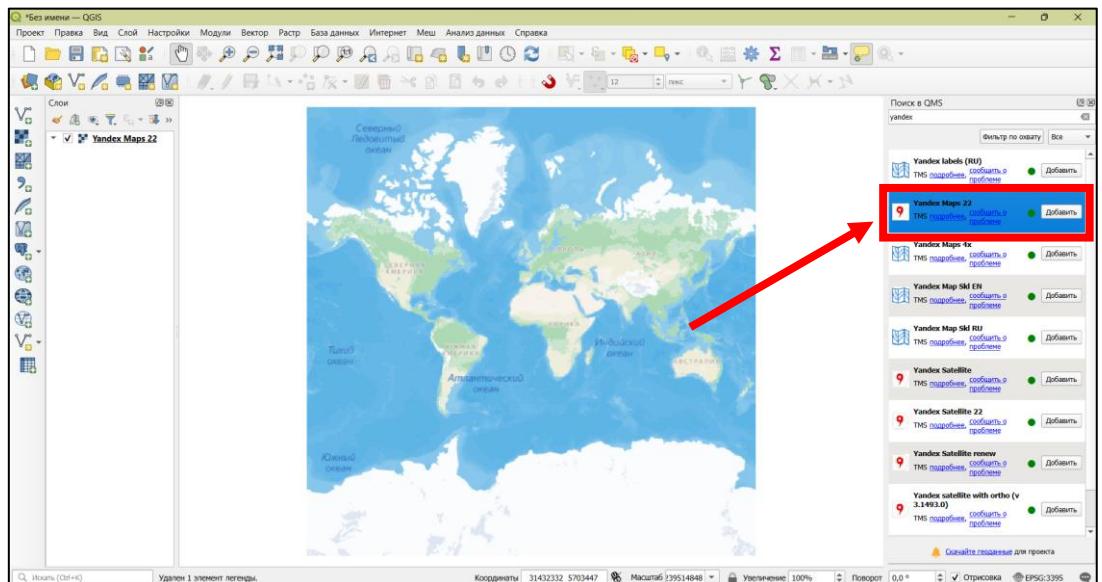


Рисунок 4.10 – Добавление слоя картографической подложки

#### 4.1.2 Местоположение исследуемого района и система координат

На этом этапе следует найти район исследования, а также установить правильную систему координат.

Поиск района исследования производится путем передвижения по добавленной на прошлом этапе подложке. В данной работе районом исследования является территория Тюменской области.

Далее необходимо определиться с системой координат. Для перехода в настройку системы координат необходимо нажать на кнопку в нижнем правом углу рабочего пространства. В открывшемся окне есть поисковая строка, в которой можно найти многие проекции (рисунок 4.11). В случае с региональными исследованиями лучше всего использовать такие системы координат как WGS 84 или Gauss – Kruger определенных зон, приуроченных к району исследования. При наличии специальных требований к системе координат в QGIS есть возможность установки сторонних систем. Например таких, как МСК, часто использующихся на территории нашей страны. Для территории Тюменской области в роли системы координат была выбрана WGS 84 / UTM zone 42N.

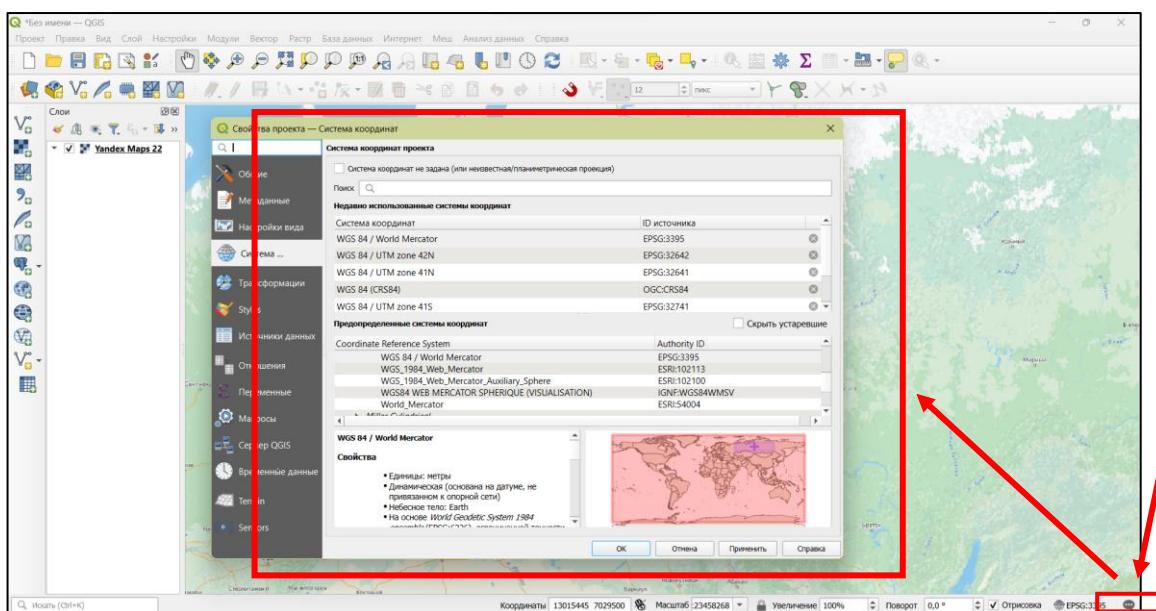


Рисунок 4.11 – Выбор системы координат проекта

#### 4.1.3 Загрузка векторных слоев

На этом этапе следует загрузить в проект векторные слои, наполненные атрибутивными данными. Другими словами, наполнить ГИС проект базой данных. В гидрологической ГИС для территории Тюменской области первостепенно будут использоваться следующие слои:

1. Реки и озера
2. Границы субъектов РФ
3. Гидрологические посты (ХМАО и ЯНАО)

Слои, объявленные в пунктах №1 и №2 были приобретены на ресурсе «NextGIS» [11]. Данный сервис предоставляет доступ к достаточно объемной массе векторных данных, которые прикреплены к субъектам РФ. Таким образом были скачаны векторные слои рек, озер и субъектов РФ для территории Тюменской области, а также для входящих в нее ХМАО и ЯНАО. Данные слои наполнены атрибутивными данными в виде наименований рек, озер и субъектов РФ соответственно. Данные были получены в формате shp.

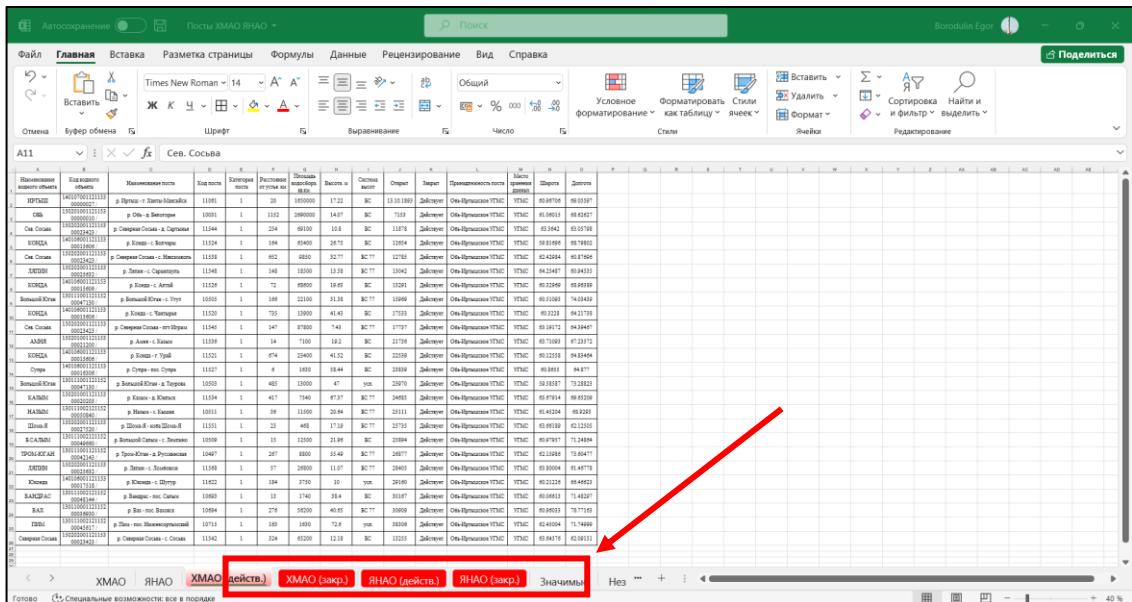
Данные для векторного слоя «Гидрологические посты» из пункта №3 были собраны из различных источников. Интернет-ресурс «ExtremeClimate» предоставил информацию о местоположении действующих гидрологических постов [12]. В связи с отсутствием возможности удобного скачивания информации, координаты выписывались вручную. Ресурс «АИС ГМВО» предоставил атрибутивную базу данных все для тех же действующих постов. В нее вошла следующая информация [13]:

- Наименование водного объекта
- Код водного объекта
- Наименование поста
- Код поста
- Расстояние от устья, км
- Площадь водосбора, км<sup>2</sup>
- Высота, м

- Система высот
- Даты открытия и закрытия поста
- Широта и долгота

Данные с «АИС ГМВО» были практически скачаны в табличном формате.

Информация о закрытых гидрологических постах была выписана вручную из литературного источника «Основные гидрологические характеристики, том 15, выпуск 1, Верхняя и Средняя Обь». В итоге было собрано четыре группы гидрологических постов. Закрытые гидрологические посты для территорий ХМАО и ЯНАО, а также действующие гидрологические посты все для тех же территорий. Далее в программе для работы с электронными таблицами «Microsoft Excel» все собранные данные были сформированы в единый табличный файл, подразделенный на основные имеющихся группы гидрологических постов.



Скриншот Microsoft Excel, отображающий таблицу с данными гидрологических постов. Таблица имеет следующую структуру:

Номер поста	Название поста	Код поста	Азимут	Длина	Высота на	Система	Гидрологический пост	Место	Стиль	Датчик	
1	р. Пурга - г. Пурга	11501	1	20	1850000	17.22	ВС	13.01.1881	Сев. Сосьва	Действует	01.09758
2	р. Обь - г. Новосибирск	10001	1	1102	2480000	14.07	ВС	11.03.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09811
3	р. Обь - г. Бийск	11502	1	254	69100	10.8	ВС	11.07.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09842
4	р. Сосьва Сосьва - Аргаяш	11504	1	164	85400	28.73	ВС	10.05.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09793
5	р. Кама - г. Каменск	11514	1	162	95200	32.77	ВС	12.05.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09816
6	р. Сосьва Сосьва - с. Некрасово	11513	1	140	18500	13.18	ВС	10.04.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09814
7	р. Лена - с. Сарыагаш	11508	1	72	68900	19.49	ВС	11.09.1872	Сев. Сосьва	Действует	01.09817
8	р. Кама - Амур	11509	1	168	22100	31.18	ВС	10.09.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09819
9	р. Башкир-Орда - Чура	10000	1	755	138000	41.43	ВС	11.09.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09823
10	р. Кама - Чепца	11520	1	147	87000	7.43	ВС	11.07.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09772
11	р. Сосьва Сосьва - Тюмень	11541	1	14	7100	13.2	ВС	21.07.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09847
12	р. Амур - Кама	11530	1	674	25400	41.52	ВС	22.05.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09810
13	р. Кама - г. Тобольск	11521	1	37	16500	38.44	ВС	22.05.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09818
14	Сосьва	11527	1	8	16500	38.44	ВС	20.05.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09813
15	р. Борисов-Южный - г. Тюмень	10000	1	482	13000	47	Чел	26.07.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09817
16	р. Кама - г. Каменск	11514	1	417	7540	47.37	ВС	11.09.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09814
17	р. Иня - г. Каменск	10011	1	38	11000	20.84	ВС	21.11.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09324
18	р. Шексна - г. Вологда	11551	1	23	468	17.10	ВС	27.05.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09519
19	р. Салда - г. Салда	11552	1	10	12200	21.98	ВС	20.08.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09717
20	р. Башкир-Салда - г. Тюмень	10000	1	287	8800	53.40	ВС	24.07.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09446
21	р. Тюмень-Кама - г. Тюмень	10040	1	37	28000	11.07	ВС	24.05.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09544
22	р. Лена - Томь	11508	1	174	3750	10	Чел	24.05.1873	Сев. Сосьва	Действует	01.09554
23	р. Кама - г. Тюмень	11522	1	13	1740	33.84	ВС	30.07.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09453
24	р. Вагай - пос. Сычево	10000	1	279	56200	40.65	ВС	30.09.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09513
25	р. Вагай - пос. Волчанск	10004	1	140	1630	72.6	Чел	30.08.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09504
26	р. Бии - г. Ишембургский	10711	1	140	1630	72.6	Чел	30.08.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09469
27	р. Сосьва Сосьва - с. Сосьва	11542	1	324	65200	12.18	ВС	31.05.18	Сев. Сосьва	Действует	01.09476

Рисунок 4.12 – Формирование таблиц для гидрологических постов

После загрузки векторных слоев следует добавить их в проект. Порядок действий для добавления векторного слоя следующий:

В крайнем левом столбце рабочего пространства нажать на кнопку «Добавить векторный слой» (рисунок 4.13).

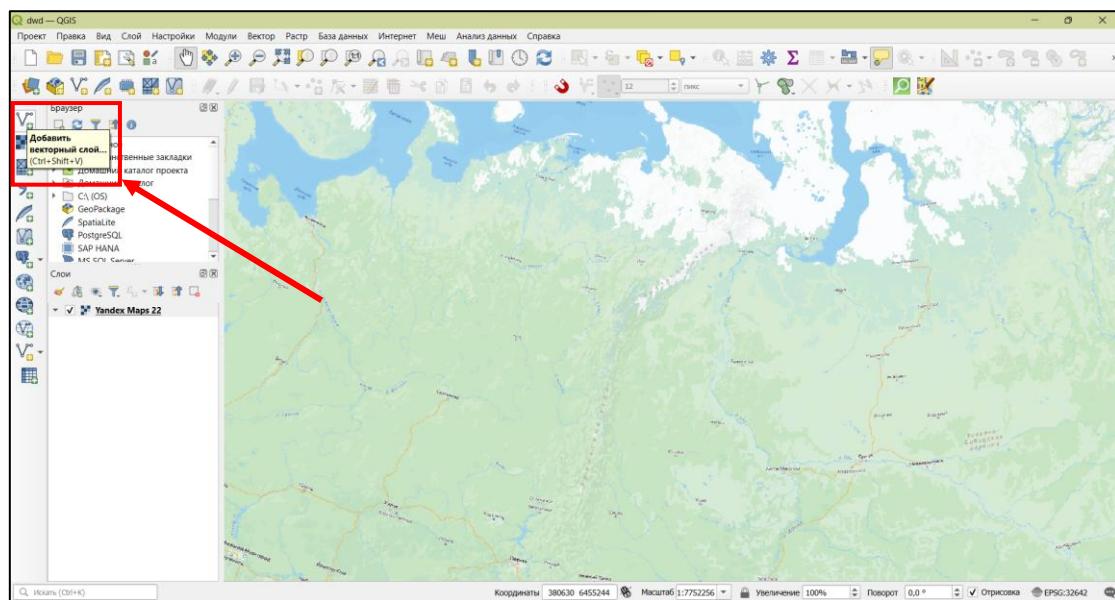


Рисунок 4.13 – Добавление векторных слоев

Далее откроется окно выбора векторных данных. Нажатие на троеточие вызывает окно с поиском необходимых данных на вашем персональном компьютере (рисунок 4.14).

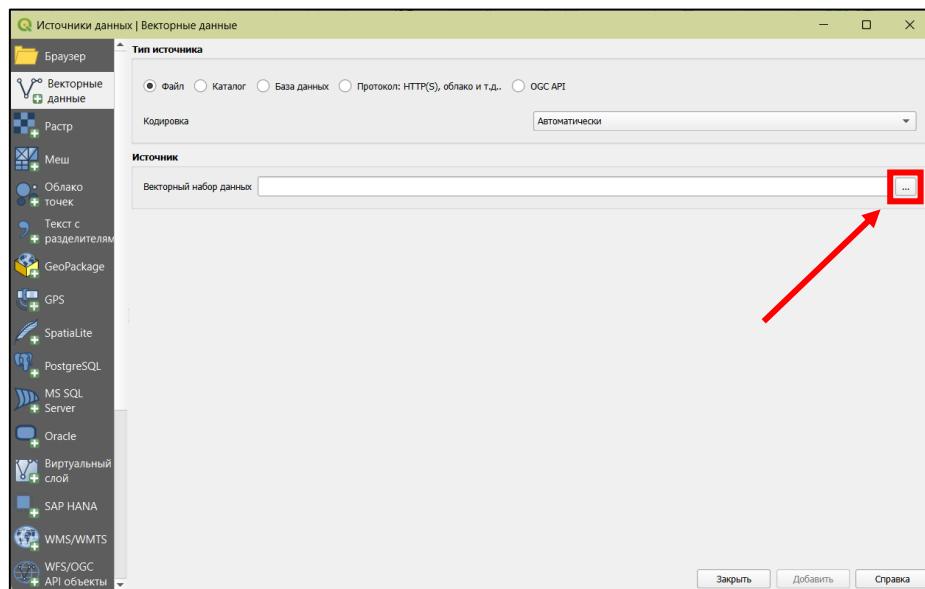


Рисунок 4.14 – Поиск векторных слоев

В данном случае все необходимые слои были собраны в единую папку. Выделив необходимые слои нажать на «Открыть» (рисунок 4.15). После чего слои появятся на рабочем пространстве, а также в окне слоев (рисунок 4.16).

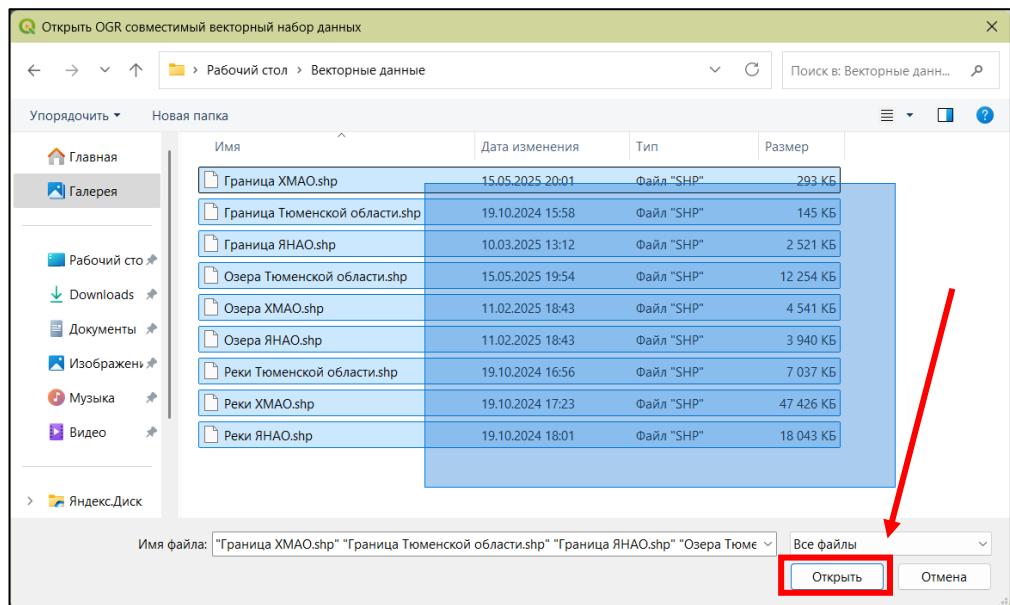


Рисунок 4.15 – Загрузка векторных слоев в проект

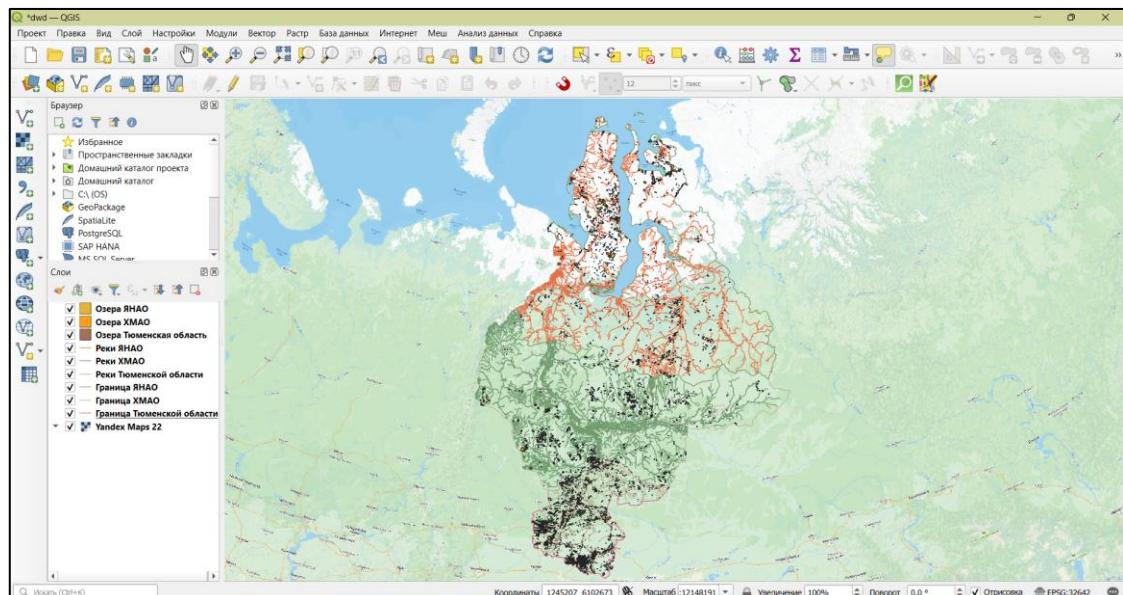


Рисунок 4.16 – Результаты загрузки векторных слоев в проект

После того как слои были добавлены следует настроить их отображение и привести к единому стилю, а также разместить все слои по группам в окне слоев. Последние даст возможность сэкономить место в окне слоев и сделает доступ к необходимым слоям наиболее практичным.

Для настройки стиля слоя требуется нажать на клавишу «F7» на клавиатуре, после чего слева откроется окно «Стиль слоя», в котором производится выбор цвета, прозрачности, размеров того или иного векторного слоя (рисунок 4.17). Нажимая на кнопку «Добавить группу», в окне слоев появится группа, в

которую можно добавлять нужные слои, которые в последствии будут выпадать в раскрывающемся списке (рисунок 4.17). В результате стилизации и группировки слоев наглядное изображение и практическое расположение слоев (рисунок 4.18).

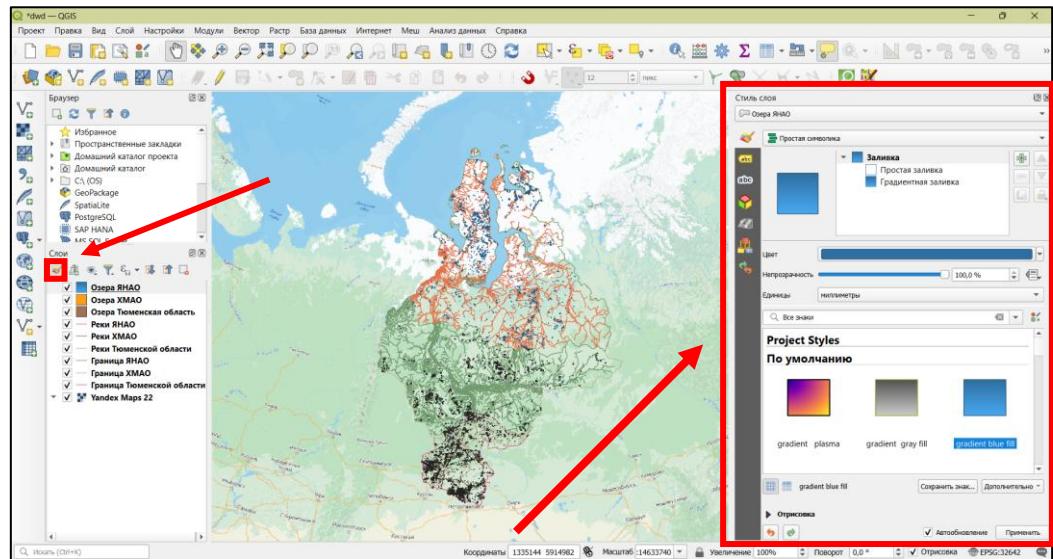


Рисунок 4.17 – Стилизация векторных слоев

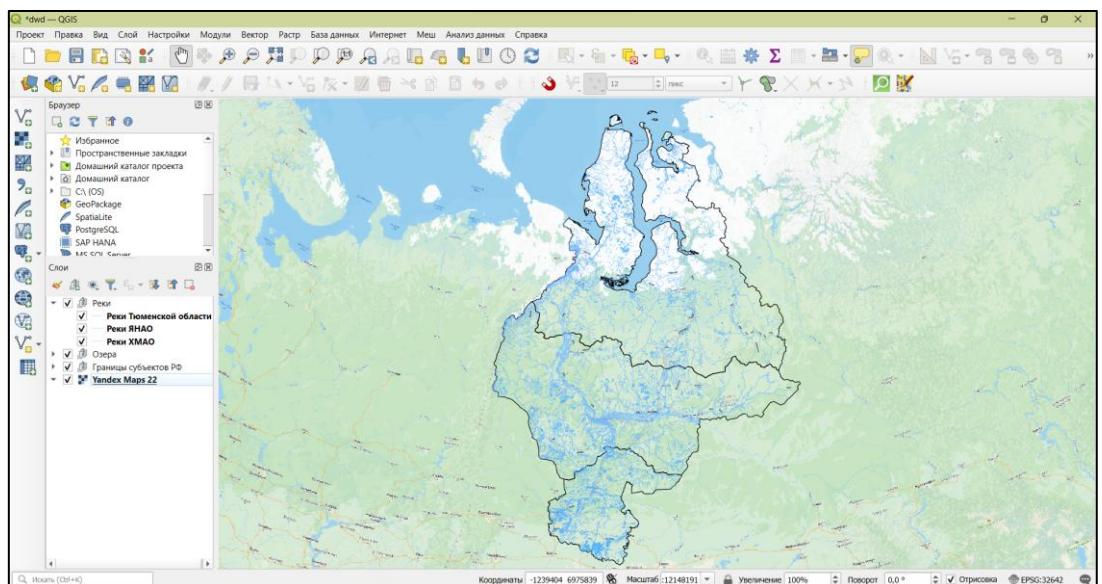


Рисунок 4.18 – Результаты стилизации и группировки слоев

Для добавления слоя гидрологических постов в проект потребуется дополнительный модуль, позволяющий добавлять данные из табличных форматов. Используя «Управление модулями», описанное в этой главе, требуется установить модуль «Spreadsheet Layers». После установки кнопка его запуска

появится в левом крайнем столбце рабочего пространства программы. Его запуск производится одним нажатием, после чего откроется новое окно, в котором сразу же нажать на «Выбрать», после чего откроется окно пространства компьютера, в котором нужно найти заранее подготовленный файл в табличном формате и выбрать его также, как с слоями рек, озер и границ субъектов РФ (рисунок 4.20).

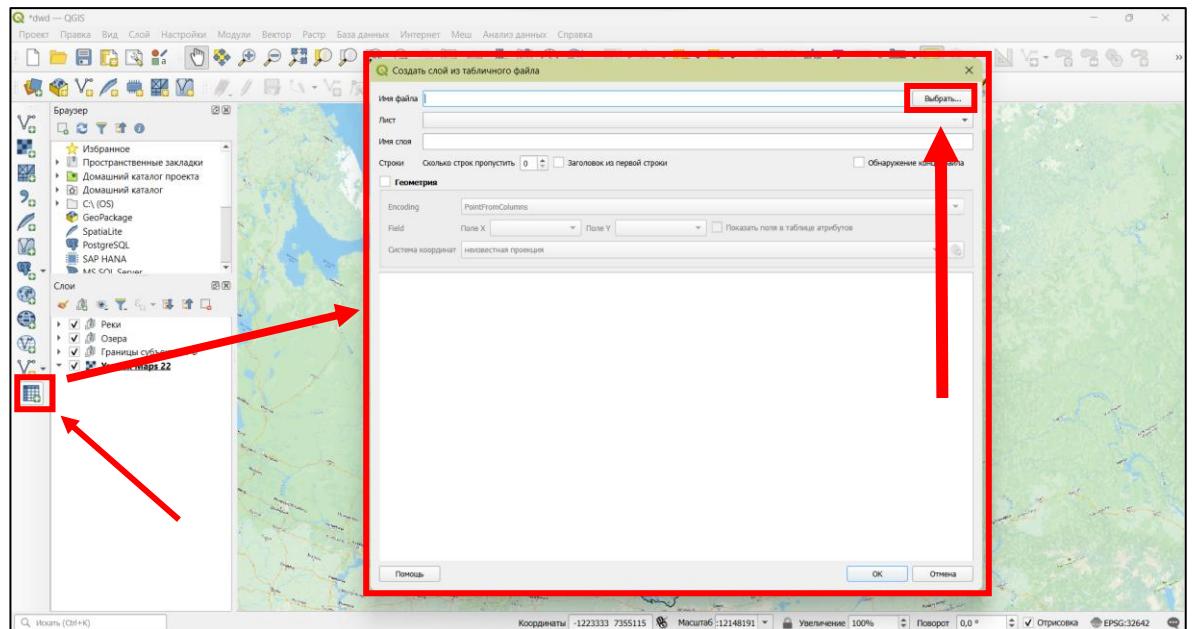


Рисунок 4.20 – Загрузка слоя гидрологических постов

После выбора файла в окне появится информация, содержащаяся в файле. В строке «Лист» находится выбор листа, на котором находится нужная информация. В данном случае гидрологические посты были поделены на четыре группы и четыре листа соответственно. Поэтому выбираем первый «ХМАО (действ. 1)». Следующая строка, расположенная ниже отвечает за выбор названия для будущего слоя. Далее следует добавить галочку у надписи «Геометрия». Таким образом мы подтверждаем то, что добавляемая информация содержит некое геометрическое содержимое. В данном случае это точки, приуроченные к гидрологическим постам. Подставленной галочкой находятся поля для выбора столбца с широтой и долготой, а также поле для выбора

системы координат, в которой находится будущий слой. Выбрав все необходимое следует нажать кнопку «OK» после чего, слой будет добавлен в проект. После добавления следует также настроить необходимую стилизацию слоев, добавить подписи, которые находятся в окне «Стиль слоя», а также разместить их в соответствующие группы (рисунок 4.20).

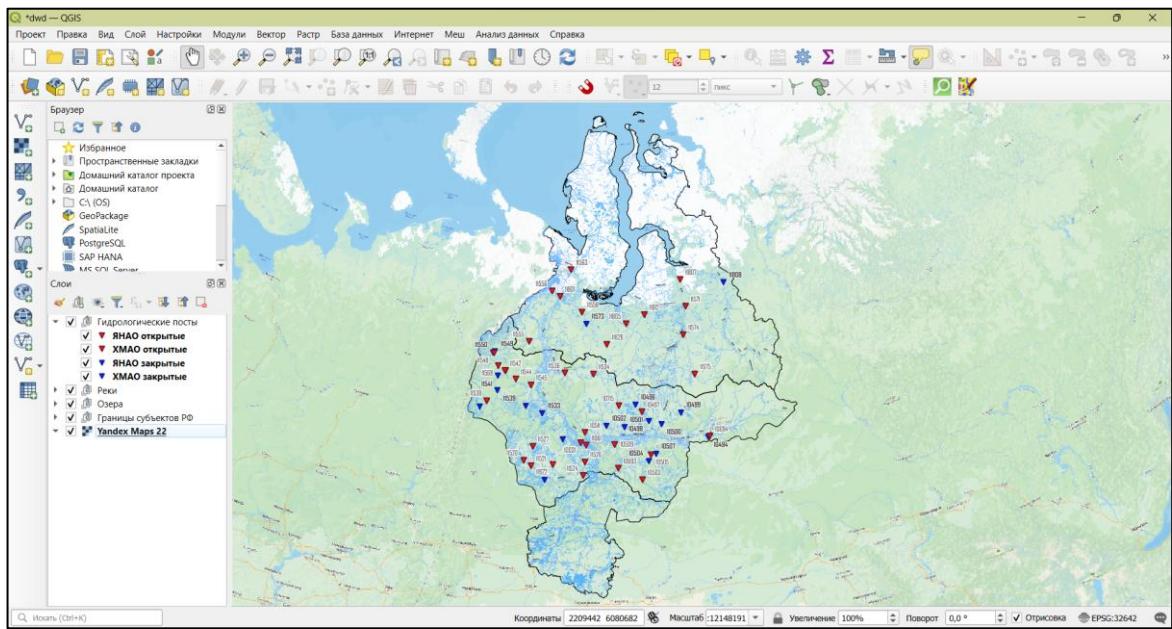


Рисунок 4.20 – Слои гидрологических постов

#### 4.1.4 Загрузка и подготовка цифровой модели поверхности

Для загрузки цифровой модели рельефа или как в данном случае цифровой модели поверхности потребуется установить модуль «OpenTopography DEM Downloader». Данный модуль дает возможность загружать различные ЦМР и ЦМП не выходя из QGIS, что дает высокий уровень практичности, а также экономии времени. OpenTopography DEM Downloader предоставляет к загрузке следующие ЦМР и ЦМП [14]:

- SRTM 90m
- SRTM 30m
- ALOS World 3D 30m
- SRTM GL1 Ellipsoidal 30m

- Global Bathymetry SRTM15+ V2.1
- Copernicus Global DSM 30m
- Copernicus Global DSM 90m
- NASADEM Global DEM
- Europe DTM 30m
- GEDI L3 Grid 1km
- GEBCOIceTopo Bathymetry 500m
- GEBCOSubIceTopo Bathymetry 500m

После загрузки модуль появится во вкладке «Растр» (Рисунок 4.21).

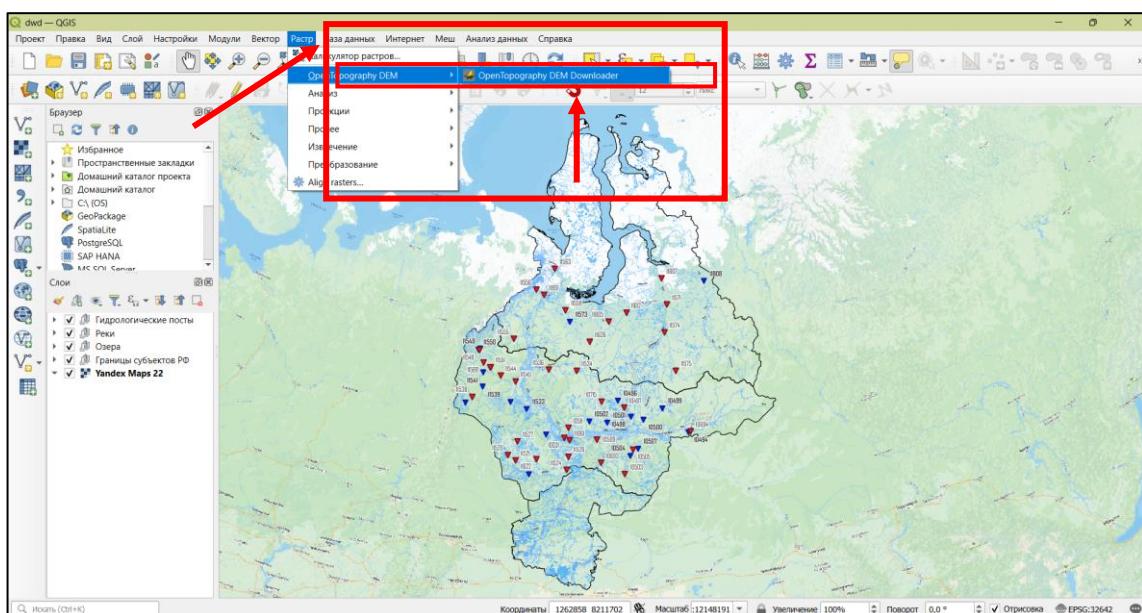


Рисунок 4.21 – Запуск OpenTopography DEM Downloader

После запуска откроется рабочее окно модуля. Для доступа к загрузке данных потребуется заранее пройти регистрацию на сайте [«opentopography.org»](http://opentopography.org) и получить ключ доступа, который потребуется скопировать и вставить в соответствующую строку в модуле (рисунок 4.22).

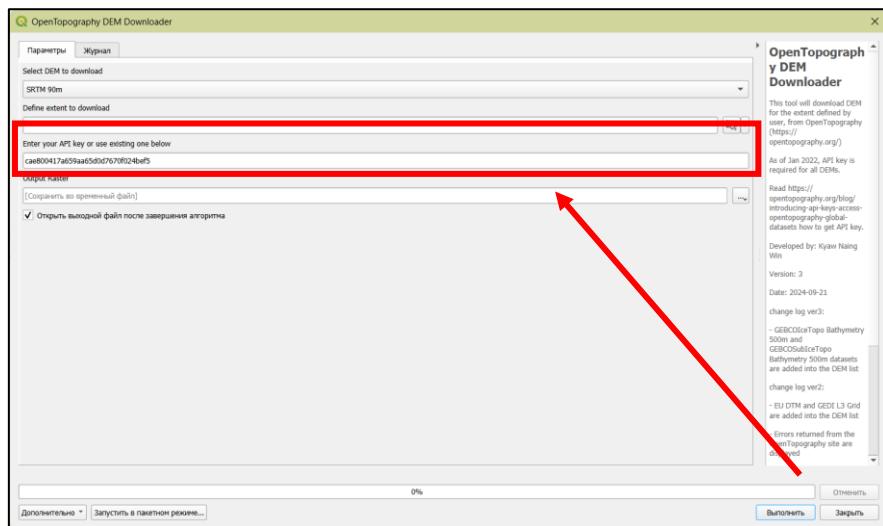


Рисунок 4.22 – Окно модуля OpenTopography DEM Downloader

В первой строке находится выбор интересующей ЦМР или ЦМП. Стока ниже отвечает за выбор площади, для которой будет скачиваться выбранная цифровая модель. Площадь удобнее всего выбирать вручную. После выбора следует нажать «Выполнить». Далее начнется загрузка. Продолжительность загрузки будет зависеть от выбора точности ЦМ, а также от площади, на которую она скачивается.

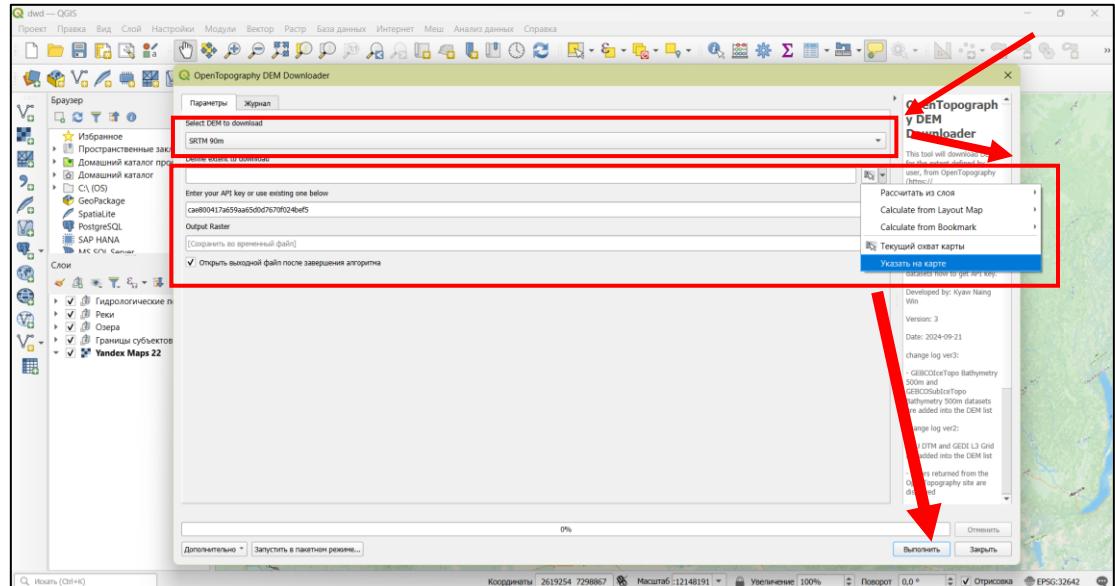


Рисунок 4.23 – Загрузка цифровой модели

В данной работе применялась цифровая модель поверхности «Copernicus DEM» в разрешении 90 и 30 метров. Разрешение 90 метров использовалось для крупных водосборных площадей, а также для загрузки в базу данных для всей изучаемой территории. Ввиду ее грубого разрешения она является легкой в обработке и не требует особых вычислительных мощностей персонального компьютера. Она отлично зарекомендовала себя в построении на ее основе водосборных площадей средних и крупных рек. Разрешение 30 метров использовалось для водосборных площадей малых рек, а также для уточнения водосборных площадей средних рек.

После загрузки любой ЦМР требуется произвести ее перепроектирование для того, чтобы она была в той же системе координат, что и проект. Перевод растрового слоя из одной проекции в другую производится при помощи инструмента «Деформация (перепроектирование)» (рисунок 1.44).

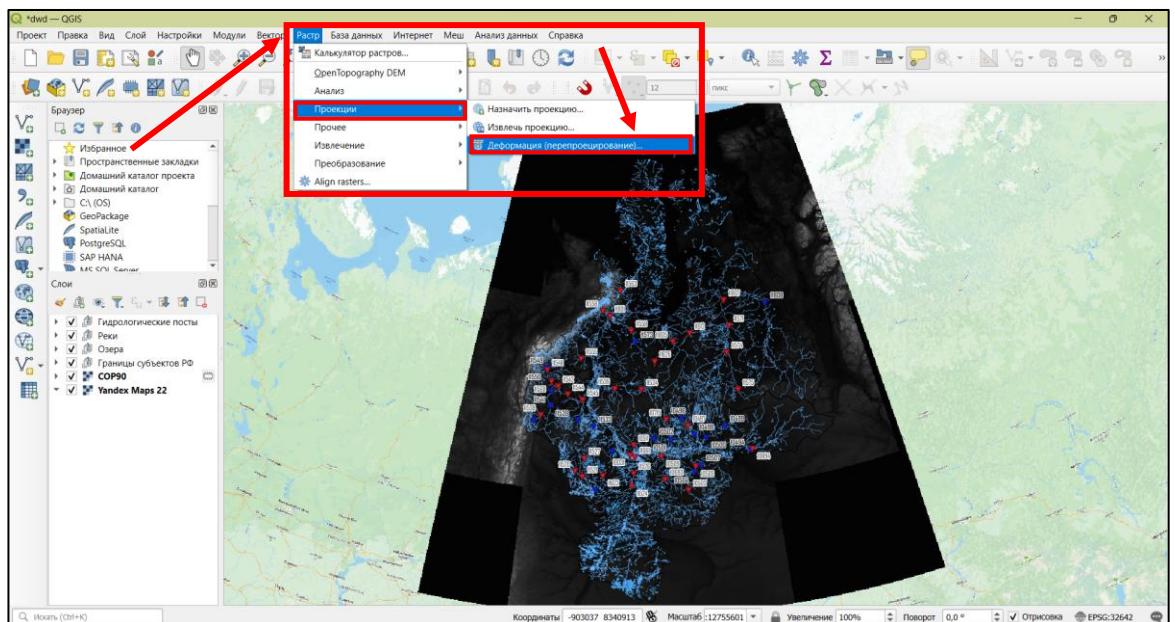


Рисунок 4.24 – Перепроектирование ЦМР

После открытия инструмента в первой строке следует выбрать слой, который будет подвержен перепроектированию. А также выбрать целевую систему координат в строке номер три (рисунок 4.25). Целевой системой координат является система координат проекта. После выбора следует нажать на

кнопку «Выполнить». После выполнения появится новый слой в новой проекции.

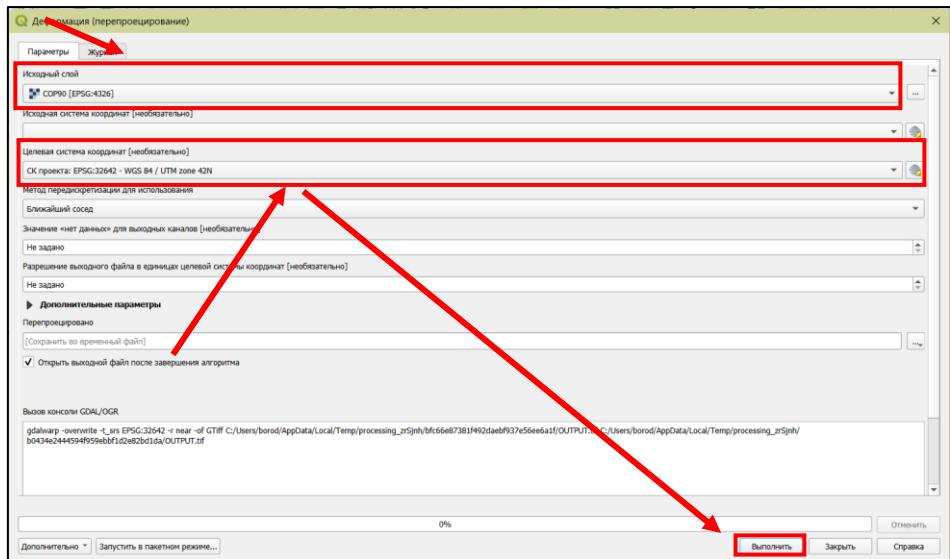


Рисунок 4.25 – Выбор параметров перепроектирования

## 4.2 Создание геомоделей для гидрологической ГИС

Для разработки геомоделей в QGIS используется модуль «Model Designer». Его можно найти на панели «Анализ данных (рисунок 4.26).

Любая геомодель строится на основе трех ключевых компонентов:

1. входных данных (input),
2. алгоритмов (algorithms)
3. выходных данных (output).

Входные данные (input) — это информация, которую мы предоставляем модели для обработки. Без них алгоритмы не смогут функционировать. Например, для расчета площади, периметра и соотношения периметра к площади территорий, необходим слой с этими территориями, так как без него невозможно определить, какую площадь мы измеряем.

Алгоритмы (algorithms) представляют собой функции и операции, которые применяются к данным. Это может быть создание буферов, вычисление разности, обрезка по маске или любые расчеты, производимые с помощью

калькулятора полей. Количество алгоритмов может быть различным, главное, чтобы входные данные (input) позволяли их использовать.

Выходные данные (output) – это либо конечный результат работы модели, либо результат работы конкретного алгоритма. Это могут быть новые столбцы в таблице атрибутов слоя, растровый слой с измененными параметрами, либо любой новый слой или набор слоев [15].

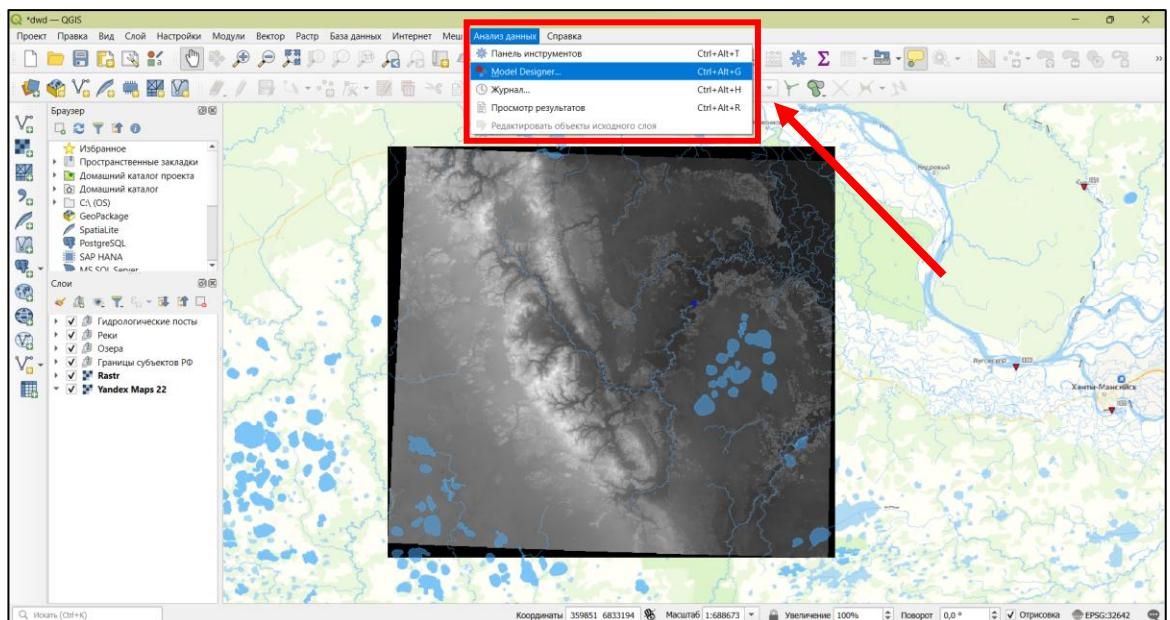


Рисунок 4.26 – Модуль «Model Designer»

#### 4.2.1 Создание геомодели «Водосбор»

Входными данными в геомодели для построения водосборной площади будут являться цифровая модель рельефа и точка местоположения створа, для которого эта площадь будет строиться.

Основных алгоритмов для построения будет четыре. Это «r. watershed», «r. water.outlet», алгоритм «Создание полигонов (растр в вектор)» и «Средние координаты».

Алгоритм «r. watershed», который используется для всестороннего анализа водосборных бассейнов. Входом для данного будет служить ЦМР. Для настройки его достаточно будет введения минимальной водосборной площади

бассейна, от которой будет зависеть густота русловой сети на выходе. На выходе требуется получить два слоя. Первый это «Drainage direction», то есть направление стока и «Stream segments» – русловая сеть (рисунок 4.27).

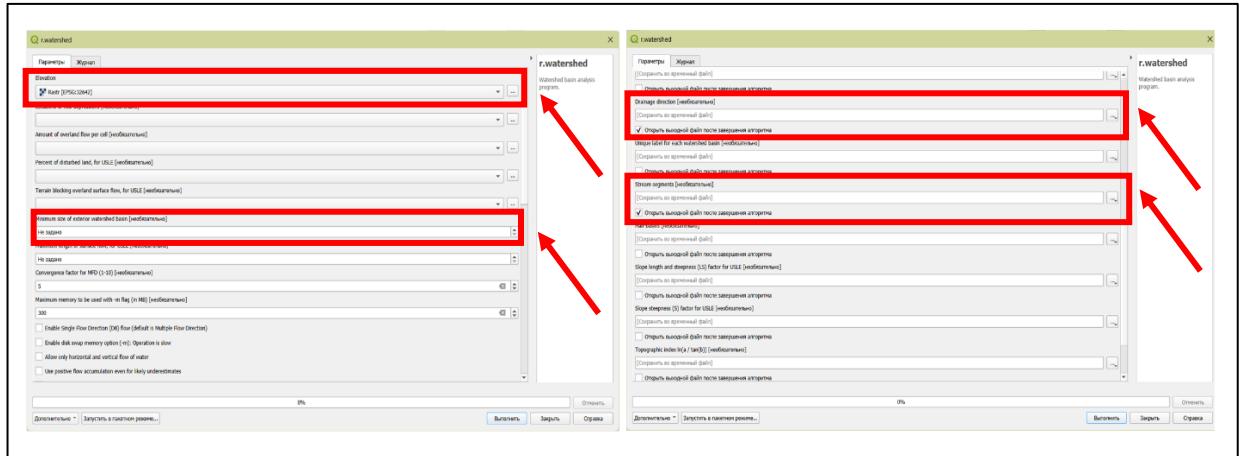


Рисунок 4.27 – Алгоритм «r. watershed»

Алгоритм «r. water.outlet», участвующий в непосредственном построении водосборной площади. Он используется на основе слоя «Drainage direction», полученного при помощи алгоритма «r. watershed», а также точки с координатами, которая выставляется вручную и определяет местоположение створа, для которого будет построена водосборная площадь (рисунок 4.28). На выходе после применения данного алгоритма выдается водосборная площадь.

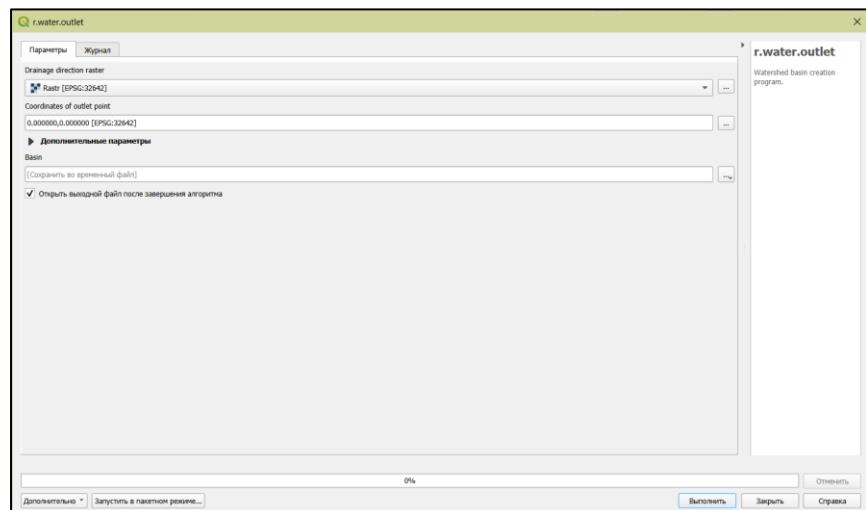


Рисунок 4.28 – Алгоритм «r. water.outlet»

Также будет применяться алгоритм «Создание полигонов (растр в вектор)». Данный применяется в связи с тем, что выходной слой алгоритма «gr. water.outlet» выдается в растровом формате. Для перехода в векторное представление используется данный алгоритм. Входом является водосборная площадь и ее центр (рисунок 4.29).

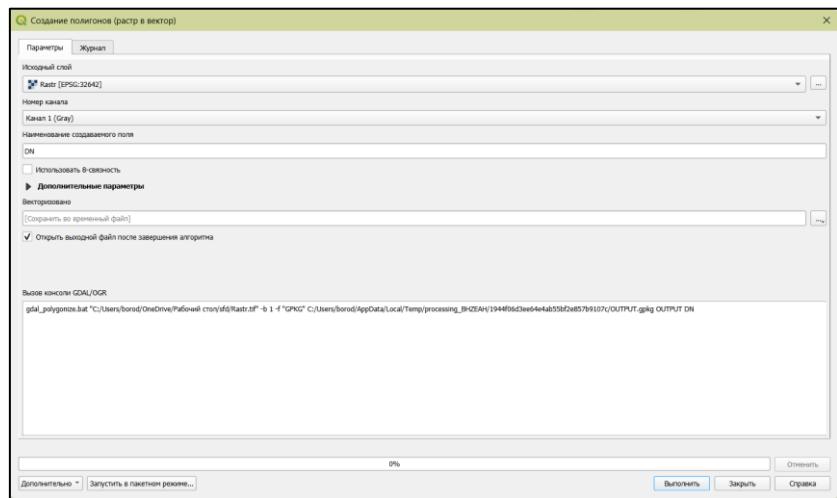


Рисунок 4.29 – Алгоритм «Создание полигонов (растр в вектор)»

Последний применяемый алгоритм в данной геомодели отвечает за определение центров водосборных площадей. Производится это при помощи алгоритма «Средние координаты», который вычисляет точечный слой с центром масс геометрии во входном слое (рисунок 4.30).

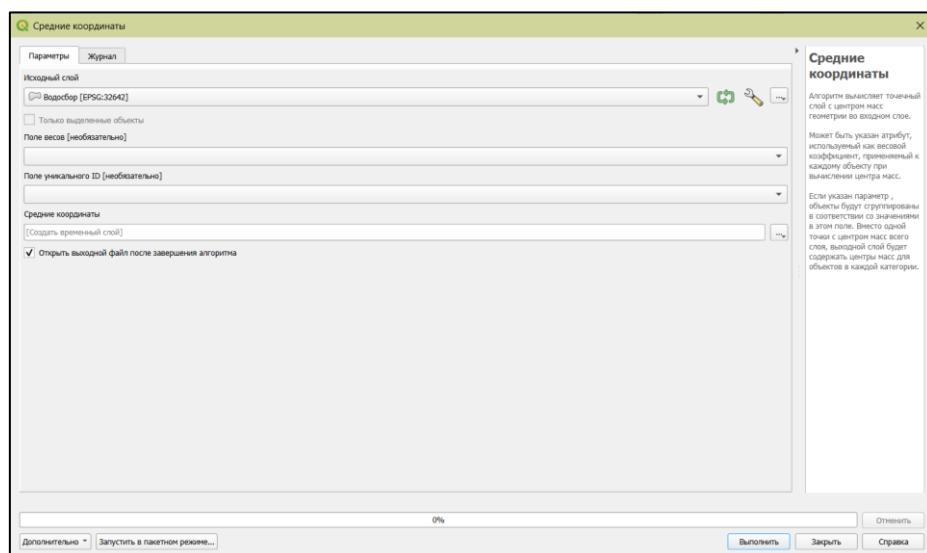


Рисунок 4.30 – Алгоритм «Средние координаты»

Для построения геомодели использовался модуль «Model Designer». По итогу построения была получена следующая схема (рисунок 4.31). На схеме видно: входные параметры, комплекс основных и второстепенных алгоритмов, а также выходной результат в виде водосборной площади.

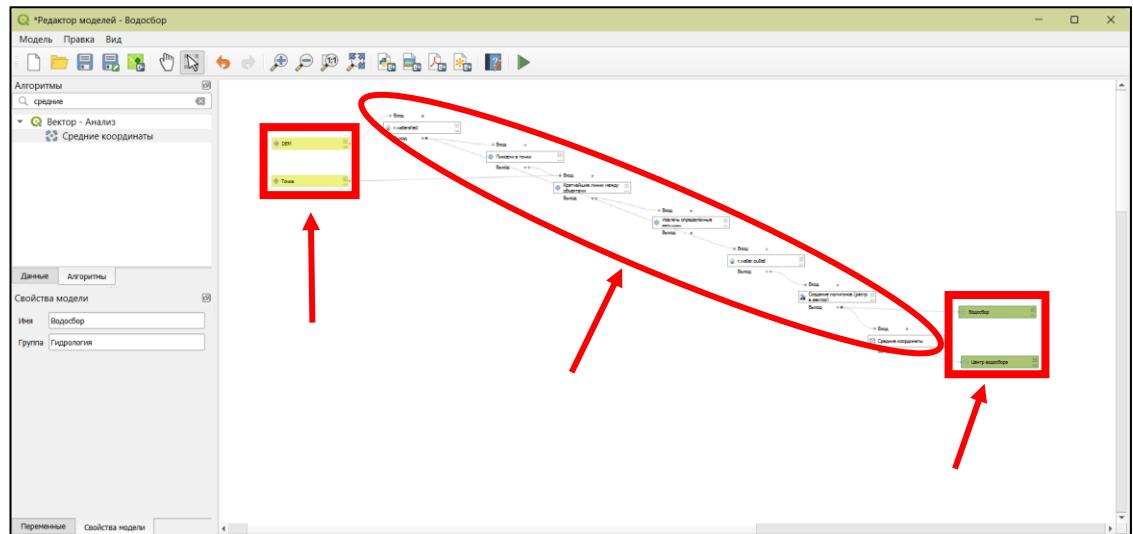


Рисунок 4.31 – Схема модели для построения водосборной площади

Построенная модель будет располагаться в окне «Инструменты анализа», которое вызывается через кнопку «Панель инструментов» на рабочем пространстве (рисунок 4.32). Модель вызывается двумя нажатиями.

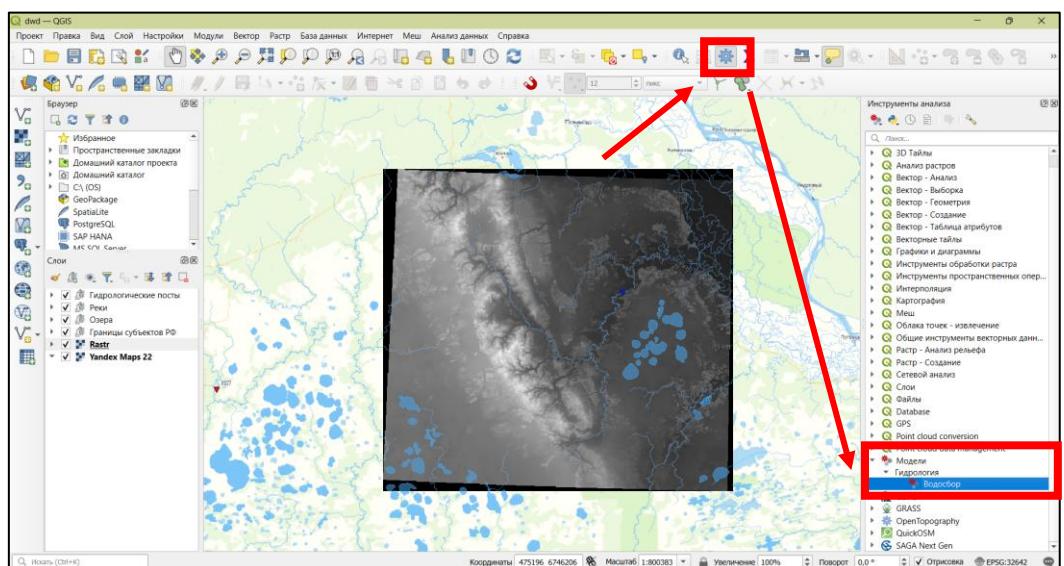


Рисунок 4.32 – Вызов геомодели «Водосбор»

В окне геомодели расположено две строки, которые отвечают за входные параметры геомодели. В первой строке выбирается местоположение створа, для которого будет построена водосборная площадь. Во второй выбирается цифровая модель рельефа, по которой будет производиться построение (рисунок 4.33).

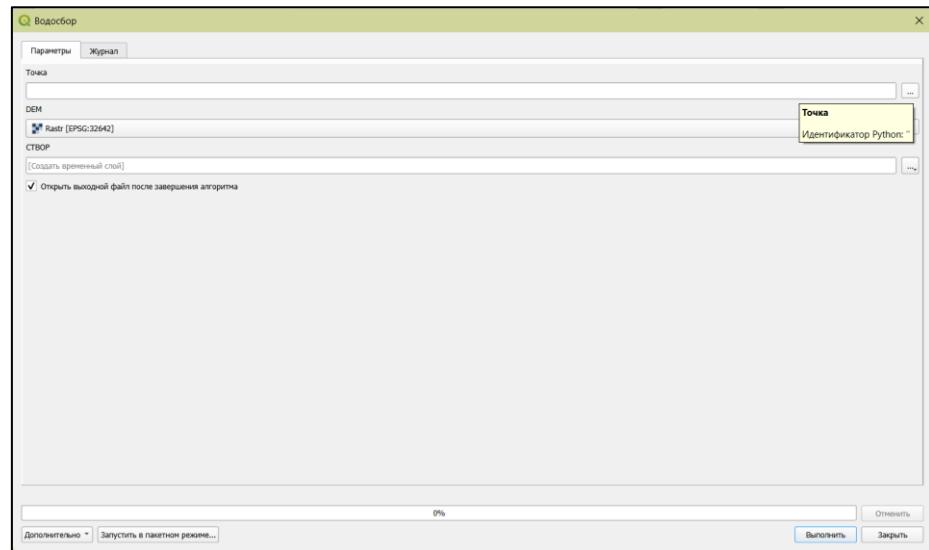


Рисунок 4.33 – Окно геомодели «Водосбор»

Введя входные параметры и запустив геомодель получаем на выходе векторный слой с площадью водосбора и его центром (рисунок 4.34).

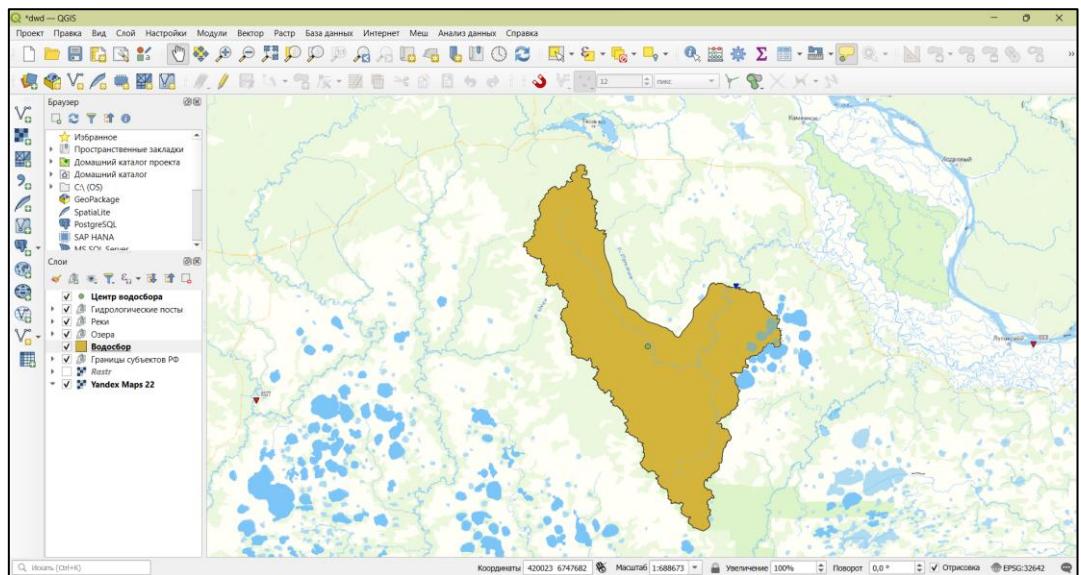


Рисунок 4.34 – Результат применения геомодели «Водосбор»

В конечном итоге геомодель «Водосбор» была апробирована на построении водосборных площадей для всех 55 гидрологических постов, которые участвуют в данной работе. Средняя ошибка расчета площади водосбора составила 1.4%. Результаты погрешностей представлены в Приложении Г. Результатом стала база данных, содержащая в себе слои с 55 водосборными площадями и их центрами для территории ХМАО и ЯНАО, входящих в Тюменскую область (рисунок 4.35).

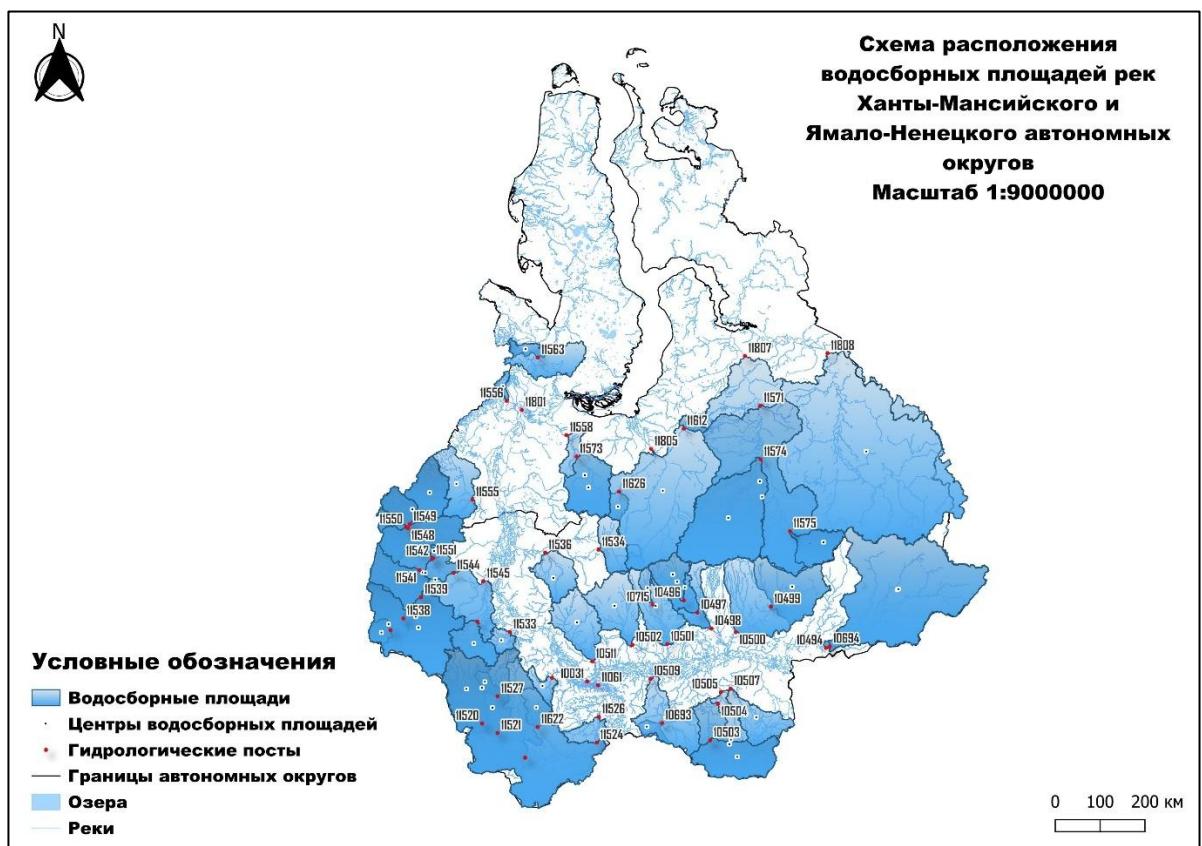
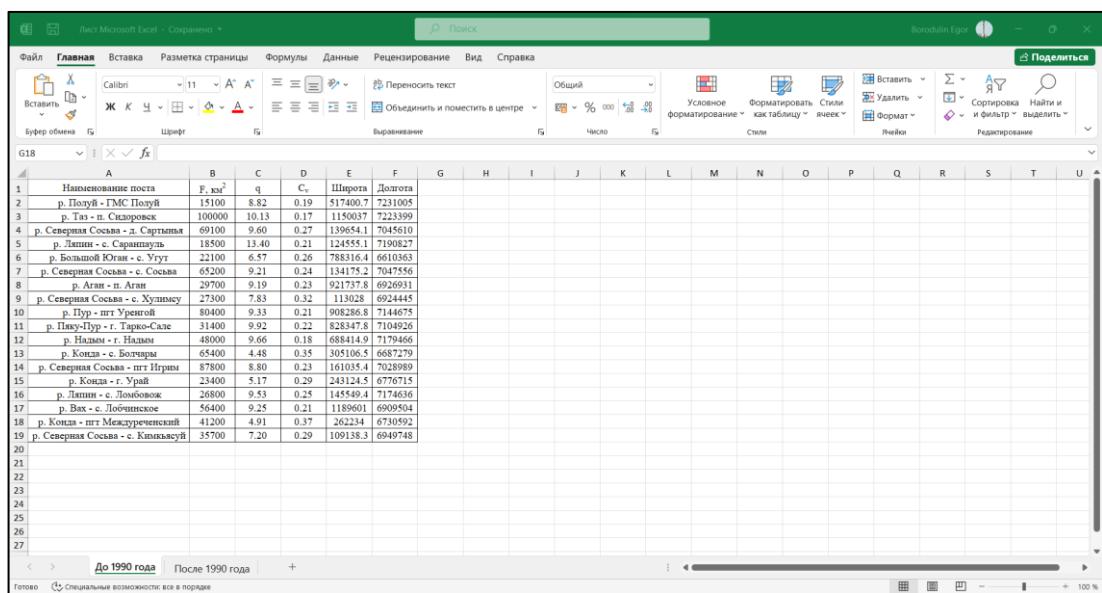


Рисунок 4.35 – Схема расположения водосборных площадей рек Ханты – Мансийского и Ямало – Ненецкого автономных округов

#### 4.2.2 Создание геомодели «Картирование»

Входными данными в геомодели для построения карт изолиний стока будут являться центры водосборных площадей с атрибутивными данными и граница региона. Центры водосборных площадей были определены на прошлом этапе. Атрибутивные данные, по которым будет выполняться построение карт были получены путем статистической обработки рядов среднемноголетнего годового стока, которая была описана в главе 3. Атрибутивные данные представляют из себя средние значения среднемноголетних годовых модулей стока рек, а также их коэффициенты вариации (рисунок 4.36). Данные о центрах водосборных площадей и статистических характеристиках гидрологических рядов были объединены в общий табличный файл и загружены в проект при помощи модуля «Spreadsheet Layers».



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1.	Наименование поста	F, км <sup>2</sup>	q	C <sub>v</sub>	Широта	Долгота															
2.	р. Полуб - ТМС Полуб	15100	8.82	0.19	517400.7	7231005															
3.	р. Таз - п. Сыровецк	100000	10.13	0.17	1150037	7223399															
4.	р. Северная Сосьва - д. Сартымы	69100	9.60	0.27	139654.1	7045610															
5.	р. Липин - с. Сарангуль	18500	13.40	0.21	124555.1	7190827															
6.	р. Большой Юган - с. Угут	22100	6.57	0.26	788316.4	6610363															
7.	р. Северная Сосьва - с. Сосьва	65200	9.21	0.24	134175.2	7047556															
8.	р. Агын - п. Агын	29700	9.19	0.23	921737.8	6926931															
9.	р. Северная Сосьва - с. Худымы	27300	7.83	0.32	113024	6924445															
10.	р. Пур - пгт Уренгой	80400	9.33	0.21	908286.8	7144675															
11.	р. Паку-Пур - г. Тарко-Салы	31400	9.92	0.22	828347.8	7104926															
12.	р. Надым - г. Надым	48000	9.66	0.18	688414.9	7179466															
13.	р. Кондя - с. Болота	65400	4.48	0.35	305106.5	6687279															
14.	р. Северная Сосьва - пгт Игирзы	87800	8.80	0.23	161035.6	7028989															
15.	р. Конда - г. Урай	23400	5.17	0.29	243124.5	6776715															
16.	р. Липин - с. Ломболов	26800	9.53	0.25	145549.4	7174636															
17.	р. Вах - с. Лобчинское	56400	9.25	0.21	1189601	6909504															
18.	р. Конда - пгт Междуреченский	41200	4.91	0.37	262234	6730592															
19.	р. Северная Сосьва - с. Кимыкансай	35700	7.20	0.29	109138.3	6949748															
20.																					
21.																					
22.																					
23.																					
24.																					
25.																					
26.																					
27.																					

Рисунок 4.36 – Данные для центров водосборных площадей

Основных алгоритмов для построения карт изолиний стока будет два. Это «Multilevel B-spline» и «Создать изолинии».

Алгоритм «Multilevel B-spline» производит интерполяцию (рисунок 4.37). Входными данными для него служит векторный точечный слой с центрами водосборов и данными о стоковых характеристиках в его атрибутивной таблице, которые выбираются в первой строке. Далее выбирается атрибут, по

которому будет выполняться интерполяция. В третьей строке выбирается поле, в границах которого будет выполняться интерполяция. В его роли можно выбрать любой линейный объект. В данном случае был выбран слой с границей Тюменской области. В четвертой строке выбирается итоговый размер ячейки которой будет обладать выходной растровый слой.

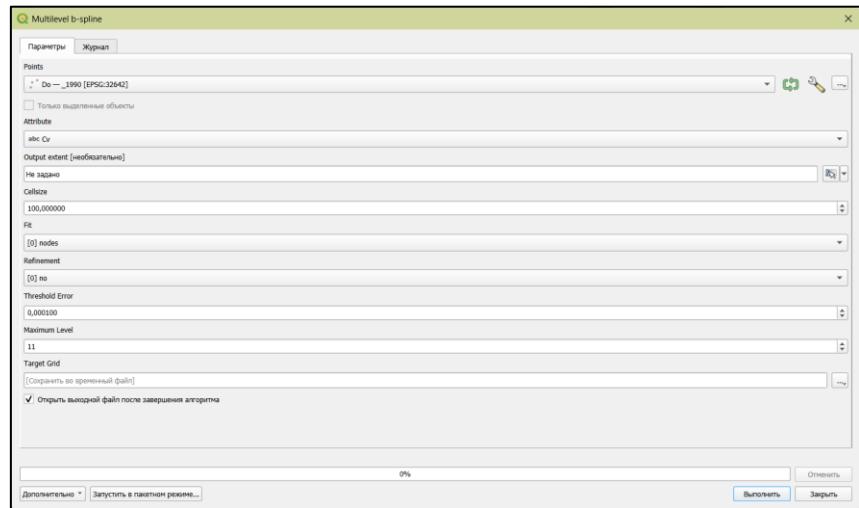


Рисунок 4.37 – Алгоритм «Multilevel B-spline»

Алгоритм «Создать изолинии» выполняет построение изолиний (рисунок 4.38). В роли входного слоя для него служит полученный слой интерполяции, расположенныйный в первой строке. В строке номер три выбирается шаг изолиний.

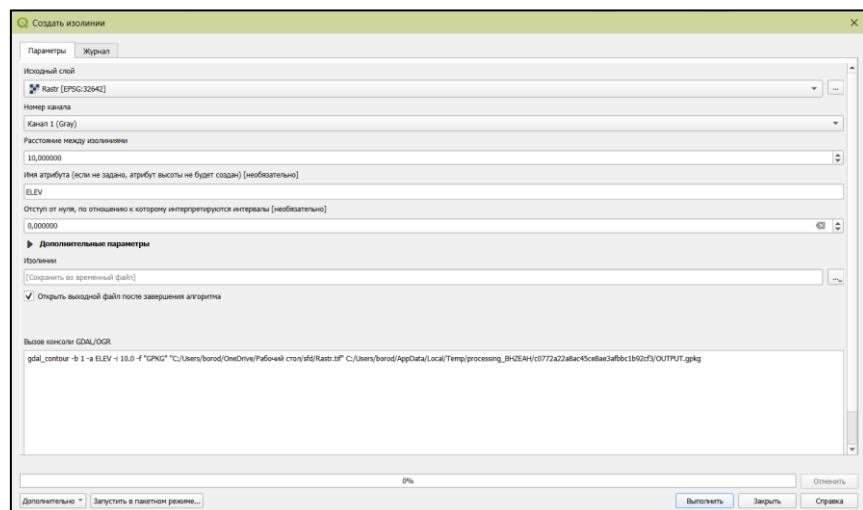


Рисунок 4.38 – Алгоритм «Создать изолинии»

По итогу построения была получена следующая схема (рисунок 4.39). На схеме видно: входные параметры, комплекс основных и второстепенных алгоритмов, а также выходной результат в виде изолиний.

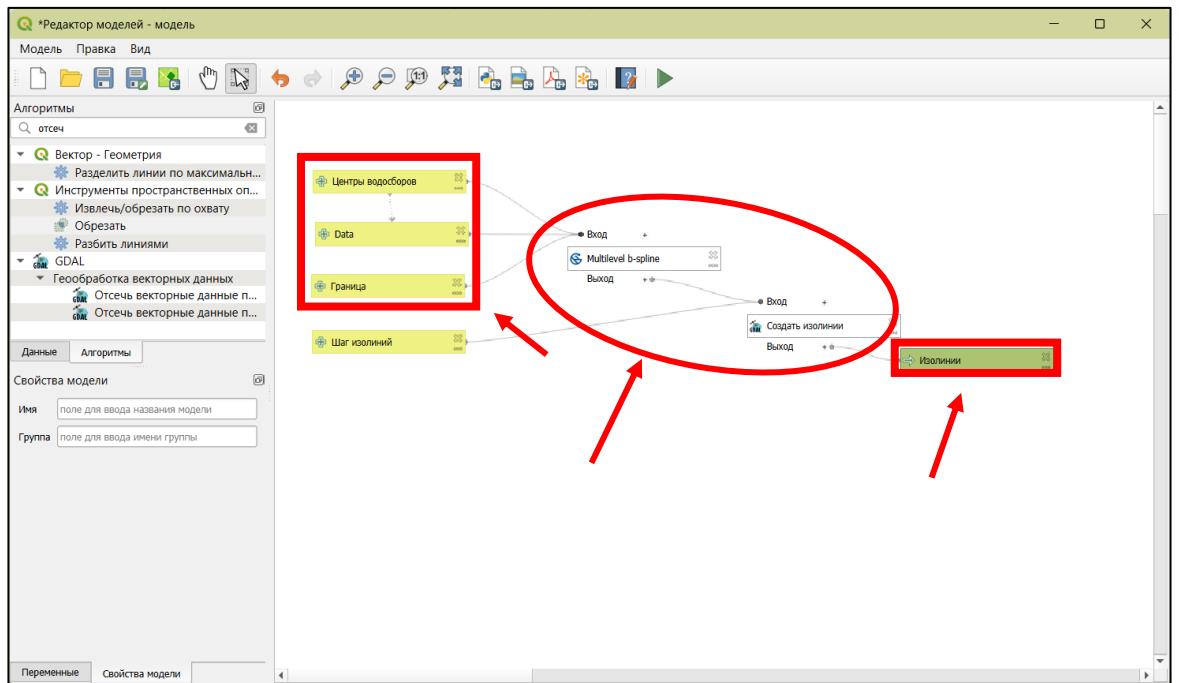


Рисунок 4.39 – Геомодель «Картрирование»

В конечном итоге геомодель «Картрирование» была апробирована на построении карт изолиний среднемноголетнего годового модуля стока, а также его коэффициента вариации для рек территорий ХМАО и ЯНАО входящих в Тюменскую область. Результатом стали четыре карты. Две карты за период наблюдений до 1990 года, и две карты за период с 1990 по 2022 год. Построенные карты и их анализ приведены в главе 3.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы была составлена гидрологическая геоинформационная система для территории Тюменской области и входящих в нее Ханты – Мансийского и Ямalo – Ненецкого автономных округов. Составление данного ГИС проекта производилось на базе свободной ГИС – QGIS. В гидрологической ГИС для территории Тюменской области было осуществлено следующие:

1. Сформирована база данных
2. Настроен интерфейс
3. Загружены необходимые модули
4. Построена геомодель «Водосбор»
5. Построена геомодель «Картирование»

Для осуществления всего вышеперечисленного была выполнена комплексная статистическая обработка рядов среднемноголетних годовых модулей стока рек Тюменской области. В данный комплекс работ вошли: сбор данных, приведение коротких рядов к многолетнему периоду, предварительный анализ данных, проверка рядов на однородность и стационарность, построение эмпирических и аналитических кривых, а также расчет параметров распределений. Конечным итогом стали параметры распределения, которые были применены в картировании. Таким образом были построены карты изолиний среднемноголетнего годового модуля стока, а также его коэффициента вариации. Карты были выполнены для периода наблюдений до 1990 года, а также с 1990 по 2022 год. В итоге была сделана оценка изменчивости среднемноголетнего годового стока рек Тюменской области. По результатам картирования и анализа карт были сделаны следующие выводы:

Карты изолиний среднемноголетнего годового стока рек территорий ХМАО и ЯНАО показали, что сток тенденция к общему изменению стока по территории сохранилась и осталась также направлена с юга на север, оставляя

смещение изолиний в сторону западного склона Уральских гор. В общем же сток увеличился на 10%. Минимальное значение и максимальные значения стока сменились ровно на 1 л/с км<sup>2</sup>

Анализ карт изолиний коэффициента вариации среднегодового стока рек в ХМАО и ЯНАО выявил явную смену направления изменений этого показателя на территории. С 1990 года тенденция сместились, по сути, от центральных районов. Начиная с изолинии в 0.15 л/с км<sup>2</sup>, берущей начало в верховьях реки Аган и распространяющейся на верховья рек Пур, Полуй, а также на низовья Оби, она простирается, не достигая Уральских гор. Таким образом, распространение охватывает все стороны до изолинии в 0.22. Зафиксировано также изменение коэффициента вариации на 10%.

Подобного рода апробация показала, что QGIS это мощный, функциональный и что самое главное доступный ресурс для выполнения всестороннего анализа и моделирования гидрологических процессов и даже явлений. Возможность беспрепятственного создания своей собственной гидрологической ГИС дает возможность улучшить качество выполнения как инженерных гидрологических расчетов, так и научно – прикладных исследований.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области / Учебное пособие. – Сред. – Урал. Кн. изд–во, 1996. – 240 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь, Гидрометиздат, 1973 г.
3. Пьянков С.В., Научно-методологические основы создания региональной гидрологической ГИС, 2006
4. Орлова Е.В., Определение географических и гидрологических характеристик водных объектов с использованием ГИС-технологий, 2008.
5. Владимиров А.М., Гидрологические расчеты / Учебник. – Гидрометиздат, 1996. – 365 с.
6. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным, Санкт-Петербург, Государственное учреждение «Государственный гидрологический институт» ГУ «ГГИ», 2010.
7. Сикан А.В., Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / Учебник. – СПб.: изд. РГГМУ. 2007. – 279 с.
8. Зольников И.Д., Глушкова Н.В., Введение в геоинформационные системы и дистанционное зондирование / Учебное пособие для вузов. – Москва.: изд. ООО «Издательство Юрайт». 2024. – 118 с.
9. Основные гидрологические характеристики, Т.15 Алтай и Зап. Сибирь Вып.3 Н. Иртыш и Н. Обь, 1963 – 1970.

### Интернет – ресурсы

10. QGIS [Электронный ресурс] // qgis.org. URL: <https://qgis.org/download/> (дата обращения: 15.09.2024)
11. NextGIS [Электронный ресурс] // nextgis.ru URL: <https://data.nextgis.com/ru/> (дата обращения: 16.09.2024)

12. ExtremeClimate [Электронный ресурс] // [extremeclimate.ru](http://extremeclimate.ru/monitoring) URL: <http://extremeclimate.ru/monitoring> (дата обращения: 17.09.2024)
13. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс] // [gmvo.skniivh.ru](https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=717) URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=717> (дата обращения: 20.09.2024)
14. OpenTopography [Электронный ресурс] // <https://opentopography.org/> URL: <https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSDEM.032021.4326.3> (дата обращения: 26.03.2025)
15. Картетика [Электронный ресурс] // [cartetika.ru](https://cartetika.ru/tpost/mhzvua6bo1-avtomatiziruem-qgis-s-pomoschyu-geomodel) URL: <https://cartetika.ru/tpost/mhzvua6bo1-avtomatiziruem-qgis-s-pomoschyu-geomodel> (дата обращения: 01.03.2025)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А – Результаты приведения коротких рядов к многолетнему периоду

Таблица А.1 – Результаты приведения коротких рядов среднемноголетнего годового модуля стока к многолетнему периоду

Река - пост	Кол-во факт.	Кол-во восст.	Эффект. восст. %	Средн. погр. восст.	Стд. откл. исх.	Стд. откл. восст.	Критерий Фишера	Средн. исх. ряда	Средн. восст. ряда	Критерий Стьюдента
р. Пур - пгт Уренгой	43	30	69.77	0.25	2.14	2.41	1.27	10.18	9.16	1.89
р. Пур - с. Самбург	48	36	75.00	0.18	1.77	2.96	2.79	9.71	11.08	-2.63
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	62	22	35.48	0.81	2.11	3.15	2.24	10.42	11.07	-1.06
р. Надым - г. Надым	43	34	79.07	0.28	1.85	2.04	1.21	9.14	8.90	0.52
р. Щучья - пос. Щучье	19	65	342.10	0.41	2.14	3.25	2.32	10.18	9.54	0.79
р. Сыня - с. Овгорт	40	31	77.50	0.34	3.20	3.04	1.11	10.64	11.10	-0.61
р. Собь - пгт Харп	66	4	6.10	1.70	6.37	1.92	11.04	28.57	25.52	0.94
р. Полуй - ГМС Полуй	66	17	25.76	0.94	1.64	1.87	1.30	8.84	8.70	0.31
р. Щучья - д. Лаборовая	29	49	168.97	0.32	2.62	3.23	1.52	15.69	15.74	-0.07
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	13	69	530.80	0.28	1.09	1.73	2.50	9.72	9.14	1.16
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	23	49	213.04	0.50	3.05	3.44	1.27	10.33	10.83	-0.59
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	38	46	121.10	0.53	2.72	2.70	1.02	10.56	10.67	-0.18
р. Таз - п. Сидоровск	28	56	200.00	0.25	1.40	1.99	2.02	10.47	9.85	1.44
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	32	61	190.60	0.06	0.38	0.41	1.19	1.77	1.68	0.99
р. Обь - д. Белогорье	68	25	36.80	0.09	0.60	1.06	3.07	3.77	4.25	-2.73
р. Обь - г. Салехард	50	35	70.00	0.51	2.10	2.97	2.00	9.63	9.93	-0.55

Продолжение таблицы А.2

Река - пост	Кол-во факт.	Кол-во восст.	Эффект восст. %	Средн. погр. восст.	Стд. откл. исх.	Стд. откл. восст.	Критерий Фишера	Средн. исх. ряда	Средн. восст. ряда	Критерий Стьюдента
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	81	6	7.40	0.37	1.48	1.79	1.45	4.74	6.37	-2.53
р. Конда - с. Болчары	66	18	27.27	1.07	2.55	3.41	1.80	10.09	9.88	0.28
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	43	42	97.67	0.99	2.45	3.06	1.56	13.42	14.06	-1.04
р. Ляпин - с. Саранпауль	54	34	63.00	0.17	1.37	1.71	1.56	5.15	4.66	1.47
р. Конда - с. Алтай	53	29	54.70	0.25	1.74	1.82	1.09	6.37	6.80	-1.04
р. Большой Юган - с. Угут	42	26	61.91	0.20	1.56	2.93	3.50	5.67	8.23	-4.62
р. Конда - с. Чантырья	61	23	37.70	0.54	2.10	2.64	1.57	8.28	8.37	-0.16
р. Северная Сосьва - пгт Игрим	52	32	61.50	0.43	1.35	1.65	1.50	8.69	8.59	0.30
р. Амня - с. Казым	31	56	180.60	0.26	1.54	1.47	1.10	5.93	5.38	1.62
р. Конда - г. Урай	40	44	110.00	0.35	1.61	2.09	1.69	7.17	6.31	2.08
р. Супра - пос. Супра	26	62	238.50	0.24	1.77	2.24	1.62	6.14	6.57	-0.85
р. Большой Юган - д. Таурова	23	59	256.50	0.50	2.70	3.18	1.38	10.27	10.13	0.18
р. Казым - д. Юильск	46	30	65.20	0.36	1.87	3.25	3.00	7.62	7.11	1.00
р. Назым - с. Кышик	43	39	90.70	0.39	1.92	2.32	1.46	7.07	6.98	0.19
р. Шома-Я - изба Шома-Я	19	50	263.16	0.22	1.94	2.23	1.32	5.98	5.87	0.19
р. Большой Салым - с. Лемпино	19	66	347.37	0.23	2.30	3.17	1.89	9.03	9.88	-1.07
р. Тром-Юган - д. Руссинская	16	56	350.00	0.34	2.62	2.64	1.02	10.38	10.38	0.00
р. Ляпин - с. Ломбовож	32	36	112.50	0.11	1.59	1.18	1.82	5.15	4.55	1.75
р. Юконда - с. Шугур	34	49	144.10	0.15	2.25	3.32	2.18	6.62	6.91	-0.44

Продолжение таблицы А.3

Река - пост	Кол-во факт.	Кол-во восст.	Эффект восст. %	Средн. погр. восст.	Стд. откл. исх.	Стд. откл. восст.	Критерий Фишера	Средн. исх. ряда	Средн. восст. ряда	Критерий Стьюдента
р. Вандрас - пос. Салым	37	56	151.40	0.50	1.78	1.63	1.19	10.13	7.96	5.99
р. Вах - пос. Ваховск	79	6	7.60	0.17	2.22	1.43	2.43	9.47	7.37	2.26
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	37	50	135.14	0.40	2.10	3.05	2.10	7.72	8.82	-1.88
р. Лямин - факт. Горшково	17	56	329.41	0.16	1.09	2.66	5.95	6.20	6.84	-0.96
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	32	52	162.50	0.56	1.67	3.11	3.47	9.50	10.02	-0.87
р. Вах - с. Лобчинское	23	61	265.22	0.26	1.52	1.52	1.01	8.20	8.24	-0.10
р. Аган - с. Варьеган	29	52	179.30	0.45	1.65	2.32	1.99	8.34	8.62	-0.56
р. Тром-Юган - с. Ермаково	24	63	262.50	0.31	1.75	2.07	1.40	7.24	7.76	-1.09
р. Пим - с. Пим	12	71	591.70	0.32	3.49	4.07	1.36	10.29	11.28	-0.79
р. Сеуль - п. Таватьях	16	71	443.80	0.11	1.40	1.82	1.70	4.89	5.41	-1.06
р. Конда - пгт Междуреченский	35	52	148.60	0.23	1.05	1.65	2.45	6.86	7.16	-0.92
р. Обь - д. Прохоркино	16	67	418.80	0.31	2.07	2.58	1.55	9.25	9.54	-0.42
р. Аган - п. Аган	28	57	203.60	0.22	1.98	3.09	2.43	7.52	8.03	-0.79
р. Северная Сосьва - с. Кимкъясуй	16	74	462.50	0.41	2.01	1.76	1.30	7.40	7.27	0.27
р. Нягань-Юган - п. Нягань	27	63	233.30	0.25	1.73	2.18	1.58	6.55	7.16	-1.26
р. Большой Юган - с. Рыс-кины	16	69	431.25	0.26	2.20	2.85	1.68	11.49	11.42	0.10
р. Хулга - д. Ясунт	22	63	286.40	0.29	2.04	2.30	1.27	7.58	7.98	-0.71
р. Северная Сосьва - с. Ху-лимсунт	17	56	329.40	0.96	5.55	6.54	1.39	17.80	18.33	-0.30

Продолжение таблицы А.4

Река - пост	Кол-во факт.	Кол-во восст.	Эффект. восст. %	Средн. погр. восст.	Стд. откл. исх.	Стд. откл. восст.	Критерий Фишера	Средн. исх. ряда	Средн. восст. ряда	Критерий Стьюдента
р. Щекурья - с. Щекурья	20	70	350.00	0.26	2.17	2.82	1.68	6.64	7.16	-0.76
р. Малый Юган - юрты Киня-мины	15	45	456.00	0.21	2.17	2.14	1.41	6.46	7.67	-0.73

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Анализ однородности и стационарности

Таблица Б.1 – Оценка значимости линейного тренда рядов среднемноголетнего годового модуля стока

Река - пост	$R^2$	R	$t_{2a}$	$\sigma_R$	$t_{2a}\sigma_R$	Оценка
р. Пур - пгт Уренгой	0.13	0.36	1.99	0.10	0.21	значим
р. Пур - с. Самбург	0.29	0.54	1.99	0.08	0.16	значим
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	0.13	0.37	1.99	0.10	0.20	значим
р. Надым - г. Надым	0.17	0.42	1.99	0.10	0.20	значим
р. Щучья - пос. Щучье	0.02	0.14	1.99	0.11	0.21	незначим
р. Сыня - с. Овгорт	0.00	0.02	1.99	0.12	0.24	незначим
р. Собь - пгт Харп	0.33	0.57	2.00	0.08	0.16	значим
р. Полуй - ГМС Полуй	0.01	0.09	1.99	0.12	0.23	незначим
р. Щучья - д. Лаборовая	0.06	0.24	1.99	0.11	0.22	значим
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	0.00	0.06	1.99	0.11	0.22	незначим
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	0.10	0.32	1.99	0.11	0.21	значим
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	0.14	0.38	1.99	0.09	0.19	значим
р. Таз - п. Сидоровск	0.02	0.14	1.99	0.11	0.21	незначим
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	0.10	0.31	1.99	0.09	0.19	значим
р. Обь - д. Белогорье	0.07	0.26	1.99	0.10	0.19	значим
р. Обь - г. Салехард	0.05	0.22	1.99	0.10	0.20	значим
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	0.00	0.03	1.99	0.11	0.22	незначим
р. Конда - с. Болчары	0.10	0.32	1.99	0.10	0.19	значим
р. Северная Сосьва - с. Няксим-воль	0.05	0.22	1.99	0.10	0.21	значим
р. Ляпин - с. Саранпауль	0.01	0.08	1.99	0.11	0.22	незначим
р. Конда - с. Алтай	0.13	0.36	1.99	0.09	0.19	значим
р. Большой Юган - с. Угут	0.00	0.04	1.99	0.11	0.22	незначим
р. Конда - с. Чантырья	0.20	0.44	2.00	0.10	0.20	значим

Продолжение таблицы Б.1

Река - пост	$R^2$	R	$t_{2a}$	$\sigma_R$	$t_{2a}\sigma_R$	Оценка
р. Северная Сосьва - пгт Игрым	0.11	0.33	1.99	0.10	0.20	Значим
р. Амня - с. Казым	0.01	0.08	1.99	0.11	0.22	Незначим
р. Конда - г. Урай	0.09	0.30	1.99	0.10	0.20	Значим
р. Супра - пос. Супра	0.07	0.27	1.99	0.10	0.20	Значим
р. Большой Юган - д. Таурова	0.10	0.31	1.99	0.10	0.19	Значим
р. Казым - д. Юильск	0.07	0.26	1.99	0.11	0.22	Значим
р. Назым - с. Кышик	0.09	0.29	1.99	0.11	0.22	Значим
р. Шома-Я - изба Шома-Я	0.02	0.13	1.99	0.11	0.22	Незначим
р. Большой Салым - с. Лемпино	0.04	0.20	2.00	0.12	0.23	Незначим
р. Тром-Юган - д. Руссинская	0.02	0.16	1.99	0.11	0.21	Незначим
р. Ляпин - с. Ломбовож	0.12	0.34	1.99	0.10	0.21	Значим
р. Юконда - с. Шугур	0.01	0.10	2.00	0.12	0.24	Незначим
р. Вандрас - пос. Салым	0.00	0.07	1.99	0.11	0.22	Незначим
р. Вах - пос. Ваховск	0.30	0.55	1.99	0.07	0.14	Значим
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	0.00	0.00	1.99	0.11	0.22	Незначим
р. Лямин - факт. Горшково	0.09	0.30	1.99	0.10	0.20	Значим
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	0.01	0.12	1.99	0.12	0.23	Незначим
р. Вах - с. Лобчинское	0.05	0.22	1.99	0.10	0.21	Значим
р. Аган - с. Варьеган	0.01	0.08	1.99	0.11	0.22	Незначим
р. Тром-Юган - с. Ермаково	0.04	0.19	1.99	0.11	0.23	Незначим
р. Пим - с. Пим	0.22	0.47	1.99	0.08	0.17	Значим
р. Сеуль - п. Таватъях	0.09	0.30	1.99	0.10	0.20	Значим
р. Конда - пгт Междуреченский	0.12	0.34	1.99	0.10	0.19	Значим
р. Обь - д. Прохоркино	0.02	0.15	1.99	0.11	0.21	Незначим
р. Аган - п. Аган	0.03	0.16	1.99	0.11	0.21	Незначим
р. Северная Сосьва - с. Кимкъясуй	0.06	0.24	1.99	0.10	0.20	Значим
р. Нягань-Юган - п. Нягань	0.09	0.29	1.99	0.10	0.19	Значим

Продолжение таблицы Б.1

Река - пост	$R^2$	R	$t_{2a}$	$\sigma_R$	$t_{2a}\sigma_R$	Оценка
р. Большой Юган - с. Рыскины	0.15	0.39	1.99	0.09	0.18	Значим
р. Хулга - д. Ясунт	0.15	0.39	1.99	0.09	0.18	Значим
р. Северная Сосьва - с. Хулимсунт	0.00	0.01	1.99	0.11	0.22	Незначим
р. Щекурья - с. Щекурья	0.00	0.04	2.00	0.12	0.24	Незначим
р. Малый Юган - юрты Кинямины	0.33	0.57	1.99	0.07	0.14	Значим

Таблица Б.2 – Результаты анализа однородности рядов среднемноголетнего годового модуля стока по критериям Стьюдента и Фишера при уровне значимости 5% для всей длины ряда

Река - пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Пур - пгт Уренгой	+	+
р. Пур - с. Самбург	-	-
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	+	-
р. Надым - г. Надым	+	-
р. Щучья - пос. Щучье	+	+
р. Сыня - с. Овгорт	-	+
р. Собь - пгт Харп	-	-
р. Полуй - ГМС Полуй	+	+
р. Щучья - д. Лаборовая	+	+
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	-	+
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	+	+
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	-	-
р. Таз - п. Сидоровск	+	+
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	+	+
р. Обь - д. Белогорье	-	-
р. Обь - г. Салехард	+	+

Продолжение таблицы Б.2

Река – пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	+	+
р. Конда - с. Болчары	+	-
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	+	+
р. Ляпин - с. Саранпауль	+	+
р. Конда - с. Алтай	+	-
р. Большой Юган - с. Угут	+	+
р. Конда - с. Чантырья	-	-
р. Северная Сосьва - пгт Игрем	+	+
р. Амня - с. Казым	+	+
р. Конда - г. Урай	+	+
р. Супра - пос. Супра	+	-
р. Большой Юган - д. Таурова	+	+
р. Казым - д. Юильск	+	+
р. Назым - с. Кышик	+	+
р. Шома-Я - изба Шома-Я	+	+
р. Большой Салым - с. Лемпино	+	+
р. Тром-Юган - д. Руссинская	-	+
р. Ляпин - с. Ломбовож	+	-
р. Юконда - с. Шугур	+	+
р. Вандрас - пос. Салым	-	+
р. Вах - пос. Ваховск	+	-
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	+	+
р. Лямин - факт. Горшково	-	+
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	+	+
р. Вах - с. Лобчинское	-	+
р. Аган - с. Варьеган	-	+

Продолжение таблицы Б.2

Река – пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Тром-Юган - с. Ермаково	-	+
р. Пим - с. Пим	+	-
р. Сеуль - п. Таватьях	+	-
р. Конда - пгт Междуреченский	+	-
р. Обь - д. Прохоркино	+	+
р. Аган - п. Аган	-	+
р. Северная Сосьва - с. Кимкъясуй	-	+
р. Нягань-Юган - п. Нягань	+	-
р. Большой Юган - с. Рыскины	-	-
р. Хулга - д. Ясунт	+	-
р. Северная Сосьва - с. Хулимсунт	-	+
р. Щекурья - с. Щекурья	+	+
р. Малый Юган - юрты Кинямины	-	-

Таблица Б.3 – Результаты анализа однородности рядов среднемноголетнего годового модуля стока по критериям Стьюдента и Фишера при уровне значимости 5% для первой половины ряда до 1990 года

Река – пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Пур - пгт Уренгой	+	+
р. Пур - с. Самбург	+	+
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	+	+
р. Надым - г. Надым	+	+
р. Щучья - пос. Щучье	+	+
р. Сыня - с. Овгорт	+	+
р. Собь - пгт Харп	+	+

Продолжение таблицы Б.3

Река – пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Полуй - ГМС Полуй	+	+
р. Щучья - д. Лаборовая	-	+
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	-	+
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	+	+
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	+	+
р. Таз - п. Сидоровск	+	+
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	+	+
р. Обь - д. Белогорье	+	+
р. Обь - г. Салехард	+	+
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	+	+
р. Конда - с. Болчары	+	+
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	+	+
р. Ляпин - с. Саранпауль	+	+
р. Конда - с. Алтай	+	+
р. Большой Юган - с. Угут	+	+
р. Конда - с. Чантырья	+	+
р. Северная Сосьва - пгт Игрим	+	+
р. Амня - с. Казым	+	+
р. Конда - г. Урай	+	+
р. Супра - пос. Супра	+	+
р. Большой Юган - д. Таурова	+	+
р. Казым - д. Юильск	+	-
р. Назым - с. Кышик	+	-
р. Шома-Я - изба Шома-Я	-	+
р. Большой Салым - с. Лемпино	+	+
р. Тром-Юган - д. Руссинская	+	+

Продолжение таблицы Б.3

Река – пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Ляпин - с. Ломбовож	+	+
р. Юконда - с. Шугур	+	+
р. Вандрас - пос. Салым	+	+
р. Вах - пос. Ваховск	-	+
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	+	+
р. Лямин - факт. Горшково	-	-
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	-	+
р. Вах - с. Лобчинское	+	+
р. Аган - с. Варьеган	+	+
р. Тром-Юган - с. Ермаково	+	-
р. Пим - с. Пим	+	-
р. Сеуль - п. Таватьях	+	+
р. Конда - пгт Междуреченский	+	+
р. Обь - д. Прохоркино	+	+
р. Аган - п. Аган	+	+
р. Северная Сосьва - с. Кимкясуй	+	+
р. Нягань-Юган - п. Нягань	-	+
р. Большой Юган - с. Рыскины	+	+
р. Хулга - д. Ясунт	+	+
р. Северная Сосьва - с. Хулимсунт	+	+
р. Щекурья - с. Щекурья	+	+
р. Малый Юган - юрты Кинямины	-	+

Таблица Б.4 – Результаты анализа однородности рядов среднемноголетнего годового модуля стока по критериям Стьюдента и Фишера при уровне значимости 5% для второй половины ряда с 1990 года по 2022 год

Река - пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Пур - пгт Уренгой	+	+
р. Пур - с. Самбург	+	-
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	+	+
р. Надым - г. Надым	-	+
р. Щучья - пос. Щучье	+	+
р. Сыня - с. Овгорт	+	+
р. Собь - пгт Харп	+	+
р. Полуй - ГМС Полуй	+	+
р. Щучья - д. Лаборовая	+	+
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	-	+
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	-	+
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	+	+
р. Таз - п. Сидоровск	+	+
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	+	+
р. Обь - д. Белогорье	+	+
р. Обь - г. Салехард	+	+
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	+	+
р. Конда - с. Болчары	+	+
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	+	+
р. Ляпин - с. Саранпауль	+	+
р. Конда - с. Алтай	-	+
р. Большой Юган - с. Угут	+	+
р. Конда - с. Чантырья	+	+
р. Северная Сосьва - пгт Игри	+	-

Продолжение таблицы Б.4

Река - пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Амня - с. Казым	+	+
р. Конда - г. Урай	+	+
р. Супра - пос. Супра	+	+
р. Большой Юган - д. Таурова	-	+
р. Казым - д. Юильск	+	+
р. Назым - с. Кышик	+	+
р. Шома-Я - изба Шома-Я	+	+
р. Большой Салым - с. Лемпино	+	+
р. Тром-Юган - д. Руссинская	+	+
р. Ляпин - с. Ломбовож	+	+
р. Юконда - с. Шугур	+	+
р. Вандрас - пос. Салым	+	+
р. Вах - пос. Ваховск	+	+
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	+	+
р. Лямин - факт. Горшково	+	+
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	+	+
р. Вах - с. Лобчинское	+	+
р. Аган - с. Варьеган	+	+
р. Тром-Юган - с. Ермаково	+	+
р. Пим - с. Пим	+	+
р. Сеуль - п. Таватьях	+	+
р. Конда - пгт Междуреченский	+	+
р. Обь - д. Прохоркино	+	+
р. Аган - п. Аган	+	+
р. Северная Сосьва - с. Кимкъясуй	+	+
р. Нягань-Юган - п. Нягань	+	+

Продолжение таблицы Б.4

Река - пост	5%	
	Фишер	Стьюдент
р. Большой Юган - с. Рыскины	+	+
р. Хулга - д. Ясунт	+	+
р. Северная Сосьва - с. Хулимсунт	+	+
р. Щекурья - с. Щекурья	+	+
р. Малый Юган - юрты Кинямины	+	+

Таблица Б.5 – Результаты анализа однородности рядов среднемноголетнего годового модуля стока по критериям Диксона и Смирнова – Граббса при уровне значимости 5% для всей длины ряда

Река - пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Пур - пгт Уренгой	min	Диксон 3	неоднороден	1989,1967,2013
	min	Диксон 4	неоднороден	1989,1967,2013
	min	Диксон 5	неоднороден	1989,1967,2013
р. Сыня - с. Овгорт	min	Диксон 1	неоднороден	2013,1989,2012
	min	Диксон 2	неоднороден	2013,1989,2012
	min	Диксон 3	неоднороден	2013,1989,2012
	min	Диксон 4	неоднороден	2013,1989,2012
	min	Диксон 5	неоднороден	2013,1989,2012
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	2013
р. Полуй - ГМС Полуй	min	Диксон 1	неоднороден	2000,2013,1954
	min	Диксон 2	неоднороден	2000,2013,1954
	min	Диксон 3	неоднороден	2000,2013,1954
	min	Диксон 4	неоднороден	2000,2013,1954
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	2000

Продолжение таблицы Б.5

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Щучья - д. Лаборовая	max	Диксон 1	неоднороден	1978,1994,1979
	max	Диксон 2	неоднороден	1978,1994,1979
	max	Диксон 3	неоднороден	1978,1994,1979
	max	Диксон 4	неоднороден	1978,1994,1979
	max	Диксон 5	неоднороден	1978,1994,1979
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	min	Диксон 1	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Диксон 2	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Диксон 3	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Диксон 4	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Диксон 5	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1982
р. Обь - г. Салехард	min	Диксон 1	неоднороден	1967,2012,1982
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	max	Диксон 3	неоднороден	1950,1994,2001
	max	Диксон 4	неоднороден	1950,1994,2001
	max	Диксон 5	неоднороден	1950,1994,2001

Продолжение таблицы Б.5

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Ляпин - с. Саранпауль	max	Диксон 1	неоднороден	1950,1995,1991
	max	Диксон 2	неоднороден	1950,1995,1991
	max	Диксон 3	неоднороден	1950,1995,1991
	max	Диксон 4	неоднороден	1950,1995,1991
	max	Диксон 5	неоднороден	1950,1995,1991
	max	Смирнов-Граббс	неоднороден	1950
р. Северная Сосьва - пгт Игрем	max	Диксон 3	неоднороден	1950,1999,1978
	max	Диксон 4	неоднороден	1950,1999,1978
	max	Диксон 5	неоднороден	1950,1999,1978
р. Конда - г. Урай	min	Диксон 1	неоднороден	1982,1967,1988
	min	Диксон 2	неоднороден	1982,1967,1988
р. Большой Юган - д. Таурова	max	Диксон 1	неоднороден	2015,2009,2007
	max	Диксон 2	неоднороден	2015,2009,2007
	max	Диксон 3	неоднороден	2015,2009,2007
	max	Диксон 4	неоднороден	2015,2009,2007
	max	Диксон 5	неоднороден	2015,2009,2007

Продолжение таблицы Б.5

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Большой Юган - д. Таурова	max	Смирнов-Граббс	неоднороден	2015
р. Назым - с. Кышик	min	Диксон 1	неоднороден	1958,1956,1967
	min	Диксон 2	неоднороден	1958,1956,1967
	min	Диксон 3	неоднороден	1958,1956,1967
	min	Диксон 4	неоднороден	1958,1956,1967
	min	Диксон 5	неоднороден	1958,1956,1967
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1958
р. Шома-Я - изба Шома-Я	min	Диксон 3	неоднороден	1969,1970,1982
	min	Диксон 4	неоднороден	1969,1970,1982
	min	Диксон 5	неоднороден	1969,1970,1982
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1969
р. Ляпин - с. Ломбовож	max	Диксон 1	неоднороден	1999,1998,2007
	max	Диксон 4	неоднороден	1999,1998,2007
р. Лямин - факт. Горшково	min	Диксон 1	неоднороден	2021,1977,1951
	min	Диксон 2	неоднороден	2021,1977,1951
	min	Диксон 3	неоднороден	2021,1977,1951

Продолжение таблицы Б.5

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Лямин - факт. Горшково	min	Диксон 4	неоднороден	2021,1977,1951
	min	Диксон 5	неоднороден	2021,1977,1951
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	2021
р. Обь - д. Прохоркино	min	Диксон 3	неоднороден	2022,2021,2015
	min	Диксон 4	неоднороден	2022,2021,2015
	min	Диксон 5	неоднороден	2022,2021,2015
р. Аган - п. Аган	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1952

Таблица Б.6 – Результаты анализа однородности рядов среднемноголетнего годового модуля стока по критериям Диксона и Смирнова – Граббса при уровне значимости 5% для первой половины ряда до 1990 года

Река - пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Пур - пгт Уренгой	min	Диксон 3	неоднороден	1989,1967,1988
	min	Диксон 4	неоднороден	1989,1967,1988
	min	Диксон 5	неоднороден	1989,1967,1988
р. Щучья - пос. Щучье	max	Диксон 3	неоднороден	1950,1976,1973
	max	Диксон 4	неоднороден	1950,1976,1973
	min	Диксон 3	неоднороден	1950,1976,19731
	min	Диксон 4	неоднороден	1950,1976,19731
	min	Диксон 5	неоднороден	1950,1976,19731
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1968
р. Полуй - ГМС Полуй	max	Диксон 1	неоднороден	1979,1971,1966
	max	Диксон 2	неоднороден	1979,1971,1966
р. Щучья - д. Лаборовая	min	Диксон 2	неоднороден	1964,1983,1955
	min	Диксон 3	неоднороден	1964,1983,1955
	min	Диксон 4	неоднороден	1964,1983,1955
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1964

Продолжение таблицы Б.6

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	min	Диксон 1	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Диксон 2	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Диксон 3	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Диксон 4	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Диксон 5	неоднороден	1982,1969,1962
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1982
р. Обь - г. Салехард	min	Диксон 2	неоднороден	1967,1982,1989
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	min	Диксон 4	неоднороден	1955,1977,1989
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	max	Диксон 1	неоднороден	1950,1978,1985
	max	Диксон 2	неоднороден	1950,1978,1985
р. Ляпин - с. Саранпауль	max	Диксон 1	неоднороден	1950,1962,1979
	max	Диксон 2	неоднороден	1950,1962,1979
	min	Диксон 3	неоднороден	1950,1962,19791
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1977
р. Северная Сосьва - пгт Игрем	max	Диксон 1	неоднороден	1950,1978,1985
	max	Диксон 2	неоднороден	1950,1978,1985

Продолжение таблицы Б.6

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Северная Сосьва - пгт Игрым	min	Диксон 3	неоднороден	1950,1978,19851
р. Назым - с. Кышик	min	Диксон 1	неоднороден	1958,1956,1967
	min	Диксон 2	неоднороден	1958,1956,1967
	min	Диксон 4	неоднороден	1958,1956,1967
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1958
	min	Диксон 3	неоднороден	1969,1970,1982
р. Шома-Я - изба Шома-Я	min	Диксон 4	неоднороден	1969,1970,1982
	min	Диксон 5	неоднороден	1969,1970,1982
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1969
	max	Диксон 1	неоднороден	1979,1971,1986
	max	Диксон 2	неоднороден	1979,1971,1986
р. Вах - пос. Ваховск	max	Диксон 3	неоднороден	1979,1971,1986
	max	Диксон 4	неоднороден	1979,1971,1986
	max	Диксон 5	неоднороден	1979,1971,1986
	max	Смирнов-Граббс	неоднороден	1979

Продолжение таблицы Б.6

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	max	Диксон 1	неоднороден	1950,1957,1965
	max	Диксон 2	неоднороден	1950,1957,1965
	max	Диксон 3	неоднороден	1950,1957,1965
	max	Диксон 4	неоднороден	1950,1957,1965
	max	Диксон 5	неоднороден	1950,1957,1965
	min	Диксон 3	неоднороден	1950,1957,19651
р. Северная Сосьва - с. Кимкясуй	max	Диксон 1	неоднороден	1950,1978,1965
	max	Диксон 2	неоднороден	1950,1978,1965
	max	Диксон 5	неоднороден	1950,1978,1965

Таблица Б.7 – Результаты анализа однородности рядов среднемноголетнего годового модуля стока по критериям Диксона и Смирнова – Граббса при уровне значимости 5% для второй половины ряда с 1990 года по 2022 год

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Сыня - с. Овгорт	min	Диксон 2	неоднороден	2013,2012,2021
р. Щучья - д. Лаборовая	max	Диксон 1	неоднороден	1978,1994,1979
	max	Диксон 2	неоднороден	1978,1994,1979
	max	Диксон 3	неоднороден	1978,1994,1979
	max	Диксон 4	неоднороден	1978,1994,1979
	max	Диксон 5	неоднороден	1978,1994,1979
р. Обь - г. Салехард	min	Диксон 1	неоднороден	2012,1992,2006
	min	Диксон 2	неоднороден	2012,1992,2006
	min	Диксон 3	неоднороден	2012,1992,2006
	min	Диксон 4	неоднороден	2012,1992,2006
	min	Диксон 5	неоднороден	2012,1992,2006
р. Большой Юган - д. Таурова	max	Диксон 1	неоднороден	2015,2009,2007
	max	Диксон 2	неоднороден	2015,2009,2007

Продолжение таблицы Б.7

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Васюган - с. Средний Васюган	min	Диксон 3	неоднороден	2006,2012,2007
	min	Диксон 4	неоднороден	2006,2012,2007
	min	Диксон 5	неоднороден	2006,2012,2007
р. Васюган - с. Новый Васюган	max	Диксон 3	неоднороден	2003,2015,2013
	max	Диксон 4	неоднороден	2003,2015,2013
	min	Диксон 1	неоднороден	2003,2015,20131
	min	Диксон 2	неоднороден	2003,2015,20131
	min	Диксон 4	неоднороден	2003,2015,20131
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	1999
р. Лямин - факт. Горшково	min	Диксон 1	неоднороден	2021,2012,2009
	min	Диксон 2	неоднороден	2021,2012,2009
	min	Диксон 3	неоднороден	2021,2012,2009
	min	Диксон 4	неоднороден	2021,2012,2009
	min	Диксон 5	неоднороден	2021,2012,2009

Продолжение таблицы Б.7

Река – пост	Экстремум	Критерий	Вывод	Года
р. Нягань-Юган - п. Нягань	min	Диксон 3	неоднороден	2011,2010,1994
	min	Диксон 4	неоднороден	2011,2010,1994
	min	Диксон 5	неоднороден	2011,2010,1994
	min	Смирнов-Граббс	неоднороден	2011
р. Северная Сосьва - с. Хулимсунт	min	Диксон 5	неоднороден	2019,2020,1994

## ПРИЛОЖЕНИЕ В – Параметры распределения

Таблица В.1 – Параметры распределения рядов среднемноголетнего годового модуля стока по всей длине ряда

Река - пост	Среднее	Cv	Cs	Cs/Cv
р. Пур - пгт Уренгой	9.78	0.24	0.47	2
р. Пур - с. Самбург	10.3	0.24	0.47	2
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	10.6	0.25	0.63	2.5
р. Надым - г. Надым	8.93	0.22	0.54	2
р. Щучья - пос. Щучье	9.69	0.31	0.31	1
р. Сыня - с. Овгорт	10.8	0.29	1.15	4
р. Собь - пгт Харп	28.4	0.22	0.55	2
р. Полуй - ГМС Полуй	8.80	0.19	0.93	5
р. Щучья - д. Лаборовая	15.80	0.20	0.59	3
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	9.29	0.18	0.36	2
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	10.67	0.31	0.77	2.5
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	10.6	0.25	0.63	2.5
р. Таз - п. Сидоровск	10.06	0.18	0.18	1
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	1.71	0.23	0.82	3.5
р. Обь - д. Белогорье	3.90	0.20	0.79	4
р. Обь - г. Салехард	4.31	0.15	0.53	3.5
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	9.76	0.26	0.89	3.5
р. Конда - с. Болчары	4.85	0.32	0.80	2.5
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	10.04	0.27	0.95	3.5
р. Ляпин - с. Саранпауль	13.73	0.20	0.71	3.5
р. Конда - с. Алтай	4.97	0.31	0.46	1.5
р. Большой Юган - с. Угут	6.53	0.27	0.41	1.5

Продолжение таблицы В.1

Река - пост	Среднее	Cv	Cs	Cs/Cv
р. Конда - с. Чантырья	6.64	0.38	0.94	2.5
р. Северная Сосьва - пгт Игрым	8.31	0.27	0.95	3.5
р. Амня - с. Казым	8.65	0.17	0.34	2
р. Конда - г. Урай	5.58	0.27	0.14	0.5
р. Супра - пос. Супра	6.76	0.28	1.14	4
р. Большой Юган - д. Таурова	6.45	0.33	0.49	1.5
р. Казым - д. Юильск	9.94	0.31	0.78	2.5
р. Назым - с. Кышик	7.47	0.34	1.20	3.5
р. Шома-Я - изба Шома-Я	7.03	0.30	0.45	1.5
р. Большой Салым - с. Лемпино	6.20	0.39	0.59	1.5
р. Тром-Юган - д. Руссинская	9.71	0.31	0.93	3
р. Ляпин - с. Ломбовож	10.4	0.25	0.25	1
р. Юконда - с. Шугур	4.83	0.29	0.73	2.5
р. Вандрас - пос. Салым	6.76	0.43	1.50	3.5
р. Вах - пос. Ваховск	8.82	0.23	0.45	2
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	9.33	0.24	0.84	3.5
р. Лямин - факт. Горшково	8.35	0.33	0.82	2.5
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	6.71	0.36	0.18	0.5
р. Вах - с. Лобчинское	9.83	0.27	0.27	1
р. Аган - с. Варьеган	8.22	0.18	0.37	2
р. Тром-Юган - с. Ермаково	8.42	0.26	0.39	1.5
р. Пим - с. Пим	7.62	0.26	1.18	4.5
р. Сеуль - п. Таватьях	11.1	0.36	0.36	1
р. Конда - пгт Междуреченский	5.31	0.33	0.66	2
р. Обь - д. Прохоркино	7.04	0.20	0.10	0.5
р. Аган - п. Аган	9.47	0.26	0.52	2
р. Северная Сосьва - с. Кимкъясуй	7.92	0.35	0.88	2.5

Продолжение таблицы В.1

Река - пост	Среднее	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	C <sub>s/C<sub>v</sub></sub>
р. Нягань-Юган - п. Нягань	7.29	0.25	1.49	6
р. Большой Юган - с. Рыскины	6.98	0.30	0.30	1
р. Хулга - д. Ясунт	11.4	0.24	0.24	1
р. Северная Сосьва - с. Хулимсу	7.93	0.28	0.28	1
р. Щекурья - с. Щекурья	18.19	0.35	0.53	1.5
р. Малый Юган - юрты Кинямины	7.05	0.38	0.77	2

Таблица В.2 – Параметры распределения рядов среднемноголетнего годового модуля стока по первой половине ряда до 1990 года

Река - пост	Среднее	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	C <sub>s/C<sub>v</sub></sub>
р. Пур - пгт Уренгой	9.33	0.21	0.10	0.5
р. Пур - с. Самбург	9.34	0.12	0.06	0.5
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	9.92	0.22	1.29	6.0
р. Надым - г. Надым	9.66	0.18	0.82	4.5
р. Щучья - пос. Щучье	10.03	0.28	0.85	3.0
р. Сыня - с. Овгорт	10.76	0.23	0.69	3.0
р. Собь - пгт Харп	24.87	0.16	-0.40	-2.5
р. Полуй - ГМС Полуй	8.82	0.19	0.76	4.0
р. Щучья - д. Лаборовая	15.2	0.21	1.24	6.0
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	9.28	0.20	0.99	5.0
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	9.80	0.30	1.19	4.0
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	9.93	0.22	0.86	4.0
р. Таз - п. Сидоровск	10.13	0.17	0.17	1.0
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	1.61	0.23	0.82	3.5
р. Обь - д. Белогорье	3.73	0.16	0.56	3.5
р. Обь - г. Салехард	4.22	0.16	0.55	3.5
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	9.60	0.27	0.96	3.5

Продолжение таблицы В.2

Река – пост	Среднее	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$
р. Конда - с. Болчары	4.48	0.35	0.87	2.5
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	9.60	0.30	1.04	3.5
р. Ляпин - с. Саранпауль	13.40	0.21	0.72	3.5
р. Конда - с. Алтай	4.57	0.32	0.79	2.5
р. Большой Юган - с. Угут	6.57	0.26	0.26	1.0
р. Конда - с. Чантырья	5.51	0.29	0.73	2.5
р. Северная Сосьва - пгт Игриим	8.80	0.23	0.82	3.5
р. Амня - с. Казым	8.53	0.15	0.38	2.5
р. Конда - г. Урай	5.17	0.29	0.43	1.5
р. Супра - пос. Супра	6.23	0.32	-0.32	-1.0
р. Большой Юган - д. Таурова	6.08	0.30	0.30	1.0
р. Казым - д. Юильск	9.53	0.29	1.15	4.0
р. Назым - с. Кышик	7.00	0.35	1.90	5.5
р. Шома-Я - изба Шома-Я	6.78	0.31	0.31	1.0
р. Большой Салым - с. Лемпино	5.86	0.46	0.46	1.0
р. Тром-Юган - д. Руссинская	10.06	0.33	1.15	3.5
р. Ляпин - с. Ломбовож	9.53	0.25	-0.25	-1.0
р. Юконда - с. Шутур	4.55	0.26	0.39	1.5
р. Вандрас - пос. Салым	6.56	0.47	1.17	2.5
р. Вах - пос. Ваховск	7.92	0.20	0.50	2.5
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	9.21	0.24	0.84	3.5
р. Лямин - факт. Горшково	7.85	0.26	0.39	1.5
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	6.53	0.38	0.38	1.0
р. Вах - с. Лобчинское	9.25	0.21	0.21	1.0
р. Аган - с. Варьеган	8.19	0.21	0.21	1.0
р. Тром-Юган - с. Ермаково	8.14	0.21	0.21	1.0
р. Пим - с. Пим	7.08	0.24	0.24	1.0

Продолжение таблицы В.2

Река – пост	Среднее	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$
р. Сеуль - п. Таватьях	10.00	0.37	0.19	0.5
р. Конда - пгт Междуреченский	4.91	0.37	0.91	2.5
р. Обь - д. Прохоркино	7.10	0.18	0.62	3.5
р. Аган - п. Аган	9.19	0.23	0.23	1.0
р. Северная Сосьва - с. Кимкяс	7.20	0.29	1.00	3.5
р. Нягань-Юган - п. Нягань	6.90	0.24	0.47	2.0
р. Большой Юган - с. Рыскины	6.43	0.25	0.25	1.0
р. Хулга - д. Ясунт	10.65	0.22	0.00	0.0
р. Северная Сосьва - с. Хулимсу	7.83	0.32	1.12	3.5
р. Щекурья - с. Щекурья	18.41	0.31	0.31	1.0
р. Малый Юган - юрты Кинямины	5.93	0.32	0.65	2.0

Таблица В.3 – Параметры распределения рядов среднемноголетнего годового модуля стока по второй половине ряда с 1990 года по 2022 год

Река - пост	Среднее	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$
р. Пур - пгт Уренгой	10.35	0.25	0.63	2.5
р. Пур - с. Самбург	7.51	0.31	0.16	0.5
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	11.56	0.23	1.27	5.5
р. Надым - г. Надым	9.29	0.15	0.53	3.5
р. Щучья - пос. Щучье	9.13	0.36	0.18	0.5
р. Сыня - с. Овгорт	10.93	0.35	1.56	4.5
р. Собь - пгт Харп	5.93	0.33	0.81	2.5
р. Полуй - ГМС Полуй	8.78	0.18	0.55	3
р. Щучья - д. Лаборовая	16.48	0.18	0.09	0.5
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	11.8	0.26	0.40	1.5
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	12.0	0.29	0.29	1
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халесавей	11.74	0.27	0.80	3

Продолжение таблицы В.3

Река – пост	Среднее	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$
р. Таз - п. Сидоровск	9.96	0.21	0.41	2
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	1.91	0.19	1.16	6
р. Обь - д. Белогорье	4.23	0.23	1.13	5
р. Обь - г. Салехард	4.48	0.14	0.77	5.5
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	10.02	0.23	0.11	0.5
р. Конда - с. Болчары	5.48	0.25	0.74	3
р. Северная Сосьва - с. Няксимволь	10.77	0.22	0.11	0.5
р. Ляпин - с. Саранпауль	14.28	0.20	-0.29	-1.5
р. Конда - с. Алтай	8.03	0.22	0.11	0.5
р. Большой Юган - с. Угут	6.46	0.30	0.30	1
р. Конда - с. Чантырья	7.92	0.34	1.03	3
р. Северная Сосьва - пгт Игрем	11.8	0.30	0.60	2
р. Амня - с. Казым	8.84	0.19	0.29	1.5
р. Конда - г. Урай	6.27	0.21	-0.21	-1
р. Супра - пос. Супра	7.59	0.20	0.61	3
р. Большой Юган - д. Таурова	5.23	0.30	0.30	1
р. Казым - д. Юильск	10.44	0.33	0.83	2.5
р. Назым - с. Кышик	8.05	0.33	1.15	3.5
р. Шома-Я - изба Шома-Я	7.41	0.28	0.14	0.5
р. Большой Салым - с. Лемпино	6.60	0.31	0.78	2.5
р. Тром-Юган - д. Руссинская	9.11	0.26	0.78	3
р. Ляпин - с. Ломбовож	11.45	0.22	0.22	1
р. Юконда - с. Шугур	5.15	0.31	0.62	2
р. Вандрас - пос. Салым	7.05	0.37	1.29	3.5
р. Вах - пос. Ваховск	10.53	0.15	0.07	0.5
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	9.52	0.24	0.12	0.5
р. Лямин - факт. Горшково	9.22	0.38	1.33	3.5

Продолжение таблицы В.3

Река – пост	Среднее	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Кур	6.93	0.34	-0.51	-1.5
р. Вах - с. Лобчинское	10.78	0.31	0.15	0.5
р. Аган - с. Варьеган	8.27	0.15	0.15	1
р. Тром-Юган - с. Ермаково	8.78	0.30	0.91	3
р. Пим - с. Пим	8.54	0.25	0.89	3.5
р. Сеуль - п. Таватьях	12.81	0.31	-0.31	-1
р. Конда - пгт Междуреченский	6.02	0.24	0.73	3
р. Обь - д. Прохоркино	6.93	0.25	-0.25	-1
р. Аган - п. Аган	9.93	0.29	1.02	3.5
р. Северная Сосьва - с. Кимкъяс	8.97	0.38	1.14	3
р. Нягань-Юган - п. Нягань	7.99	0.24	1.44	6
р. Большой Юган - с. Рыскины	7.98	0.31	0.31	1
р. Хулга - д. Ясунт	12.73	0.22	1.00	4.5
р. Северная Сосьва - с. Хулимсу	7.96	0.22	0.11	0.5
р. Щекурья - с. Щекурья	17.92	0.40	0.40	1
р. Малый Юган - юрты Кинямины	9.05	0.31	0.46	1.5

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Погрешности построения водосборных площадей

Таблица Г1 – Погрешности построения водосборных площадей

Наименование поста	Площадь во- досбора, км <sup>2</sup> (ОГХ)	Площадь водо- сбора, км <sup>2</sup> (QGIS)	Ошибка
р. Иртыш - г. Ханты-Мансийск	1650000	1801585	-9.19
р. Обь - д. Белогорье	2690000	2845724	-5.79
р. Северная Сосьва - д. Сартынья	69100	68877	0.32
р. Конда - с. Болчары	65400	66297	-1.37
р. Северная Сосьва - с. Няксим- воль	9850	9885	-0.36
р. Ляпин - с. Саранпауль	18500	18303	1.06
р. Конда - с. Алтай	68600	70068	-2.14
р. Большой Юган - с. Угут	22100	22166	-0.30
р. Конда - с. Чантырья	13900	13498	2.89
р. Северная Сосьва - пгт Игрем	87800	87681	0.14
р. Амня - с. Казым	7100	7120	-0.28
р. Конда - г. Урай	23400	22963	1.87
р. Супра - пос. Супра	1630	1636	-0.37
р. Большой Юган - д. Таурова	13000	13174	-1.34
р. Казым - д. Юильск	7540	7474	0.88
р. Назым - с. Кышик	11500	11034	4.05
р. Шома-Я - изба Шома-Я	468	449	4.06
р. Большой Салым - с. Лемпино	12500	12651	-1.21
р. Тром-Юган - д. Русскинская	8800	8782	0.20

р. Ляпин - с. Ломбовож	26800	26482	1.19
р. Юконда - с. Шугур	3750	3902	-4.05
р. Вандрас - пос. Салым	1740	1674	3.79
р. Вах - пос. Ваховск	56200	55322	1.56
р. Северная Сосьва - с. Сосьва	65200	65018	0.28
р. Лямин - факт. Горшково	12800	12078	5.64
р. Пим - с. Пим	11800	11191	5.16
р. Малый Юган - юрты Киня-мины	8130	8102	0.34
р. Аган - п. Аган	29700	29872	-0.58
р. Северная Сосьва - с. Кимкъ-ясуй	35700	35799	-0.28
р. Нягань-Юган - п. Нягань	2350	2332	0.77
р. Большой Юган - с. Рыскины	18300	18473	-0.95
р. Северная Сосьва - с. Хулим-сунт	27300	26340	3.52
р. Хулга - д. Ясунт	9010	9039	-0.32
р. Щекурья - с. Щекурья	1810	1807	0.17
р. Вах - с. Лобчинское	56400	55498	1.60
р. Тром-Юган - п. Кочевые	5860	5430	7.34
р. Тром-Юган - с. Ермаково	13500	13095	3.00
р. Аган - с. Варьеган	15500	14719	5.04
р. Северная Сосьва - с. Усть-Манья	2210	2172	1.72
р. Сеуль - п. Таватьях	1400	2396	-71.14
р. Малая Сосьва - с. Шухтур-Курт	5930	5911	0.32

р. Конда - пгт Междуреченский	41200	41611	-1.00
р. Надым - г. Надым	48000	47996	0.01
р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале	31400	31208	0.61
р. Пур - пгт Уренгой	80400	80372	0.03
р. Собь - пгт Харп	1240	1243	-0.24
р. Полуй - ТДС Полуй	15100	15107	-0.05
р. Еркал-Надей-Пур - с. Халя-савэй	6600	6570	0.45
р. Сыня - с. Овгорт	9880	9766	1.15
р. Щучья - д. Лаборовая	1680	1860	-10.71
р. Правая Хетта - пгт Пангоды	1200	1223	-1.92
р. Хейги-Яха - пос. Лонгьюган	2080	2073	0.34
р.Пур - пос.Самбург	95100	94878	0.23
р. Полуй - факт. Глухариное	10700	11706	-9.40
р. Таз - п. Сидоровск	100000	111655	-11.66