



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

Кафедра Гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(дипломный проект)

На тему **Анализ изменений годового стока
реки Вилюй за период эксплуатации
Вилюйского водохранилища**

Исполнитель

Сивцев Роман Романович

Руководитель

кандидат географических наук, доцент
Сакович Владимир Михайлович

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

к.г.н., доцент

Сикан Александр Владимирович

«__»_____20__г.

Санкт–Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	3
1	Физико-географические условия территории	5
2	Характеристика гидрологических условий	14
2.1	Гидрография района Вилуйского водохранилища и особенности условий формирования стока рек	14
2.2	Общие сведения о Вилуйском водохранилище и режиме	16

	регулирования	
2.3	Гидрологическая изученность и исходные данные	19
3	Формирование ряда естественного годового стока в створе гидроузла	24
3.1	Характеристика изменчивости параметров годового стока рек на водосборе Вилуйского водохранилища	24
3.2	Удлинение рядов годового стока	34
3.3	Формирование ряда притока к Вилуйскому водохранилищу	40
4	Анализ изменений в режиме годового стока реки Вилуй подрегулирующим воздействием водохранилища	44
4.1	Хронологические изменения значений годового стока	44
4.2	Изменения статистических характеристик годового стока	51
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	57
	ПРИЛОЖЕНИЯ	58

ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломного проекта является оценка изменений годового стока реки Вилуй в результате регулирующего воздействия Вилуйского водохранилища, после заполнения водохранилища и начала его эксплуатации в нормальном режиме.

Вилуйское водохранилище находится на реке Вилуй, на Среднесибирском плоскогорье в Восточной Сибири. Водохранилище

было создано в период 1965 – 1967 гг образовано плотинной Вилюйской ГЭС высотой около 80 м. Полезная ёмкость водохранилища вмещает средний многолетний годовой сток реки в створе плотины гидроузла. Вилюйское водохранилище является крупнейшим в Якутии по полному и полезному объёму. Водохранилищем осуществляется многолетнее регулирование стока. Оно является одним из первых уникальных крупных гидротехнических сооружений мира, созданных в зоне многолетней мерзлоты [8].

Основное назначение водохранилища – гидроэнергетика. Строительство Вилюйской ГЭС-I и ГЭС-II дало возможность энергетического обеспечения разработки алмазных месторождений Якутии (г. Мирный) и других месторождений полезных ископаемых. Основным потребителем электроэнергии является ЗАО «АЛРОСА». Также ГЭС является надёжным источником электроэнергии для нескольких районов (улусов) Якутии. Сопутствующим назначением водохранилища является водоснабжение и судоходство [9].

С гидрологической точки зрения многолетнее регулирование, осуществляемое Вилюйским водохранилищем должно отразиться на величине и характере многолетних колебаний среднегодовых расходов воды реки Вилюй. Поэтому в дипломном проекте была поставлена задача выявить и оценить те изменения естественных значений годового стока реки Вилюй в створе Вилюйской плотины, которые возможно произошли после начала эксплуатации Вилюйского водохранилища, и которые, естественно, будет наблюдаться в дальнейший период его работы. В качестве основного приема выявления оценки изменений годового стока использовалось сопоставление фактического ряда зарегулированных средних годовых расходов воды и соответствующие ему ряда естественных средних годовых расходов воды в створе пос. Чернышевский (створ плотины), полученного в дипломном проекте расчетным путем.

В первой главе дипломного проекта дана физико-географическая характеристика бассейна Вилюйского водохранилища.

Во второй главе приводится краткая характеристика гидрологических условий района и гидрологической изученности водосбора Вилюйского водохранилища, дается описание исходных гидрологических данных, которые использовались в работе.

Третья глава посвящена решению задачи, формирования ряда естественного годового стока реки Вилюй в створе плотины Вилюйского водохранилища (пос. Чернышевский).

В четвертой главе проведено хронологическое и статистическое сопоставление рядов естественного и зарегулированного стока реки Вилюй в створе пос. Чернышевский, приводятся результаты оценки и анализа изменений естественных значений годового стока реки Вилюй под регулирующим влиянием Вилюйского водохранилища.

1 Физико-географические условия территории

Исследуемая территория – водосбор р. Вилюй, - его верхняя часть в пределах створа п. Чернышевский расположена в западной части республики Саха (Якутия). Гидрографически это западная часть бассейна среднего течения р. Лены. Координаты р. Вилюй: исток $65^{\circ}58'41''$ с.ш. $103^{\circ}30'49''$ в.д., устья $64^{\circ}22'38''$ с. ш. $126^{\circ}24'54''$ в. д.[8]



Рисунок 1.1 – Карта республики Саха (Якутия)

Рельеф и геологическое строение

Бассейн реки Вилуй охватывает восточную часть Среднесибирского плоскогорья и северо-западную часть Вилуйской низменности.

Для западной и северо-западной частей территории (верховья рек Вилуй, Моркоки и Мархи) типичен рельеф столовых возвышенностей и сильно расчлененный холмисто-грядовой рельеф. Абсолютные высоты северной части Вилуйского плато, обрывающегося уступом к северу и северу-востоку,

составляют 800-900м., постепенно снижаясь к югу до 500-600м. Реки горного типа протекают в глубоковрезанных каньонообразных долинах [10].

Восточная часть территории представляет собой окраину Вилуйской низменности, ее рельеф носит черты плоской равнины. Абсолютные высоты колеблются от 120 до 150м. Долины рек широкие, с террасированными склонами (р. Вилуй в нижнем течении, низовья р.Марха и р.Тюнг) [10]..

Центральная и северо-восточная части территории расположены в краевой зоне Средне-Сибирского плоскогорья и характеризуются полого-холмистым расчлененным рельефом, с абсолютными высотами от 250 до 400м и относительно глубоко врезанными долинами рек, в которых обычно развиты только низкие террасы. Такой рельеф наблюдается в бассейне верхнего течения р.Марха, в нижнем течении р. Моркока и в верхнем течении р.Тюнг. [4]

В бассейне верхних течений рек Вилуй и Марха широко распространены платообразные поверхности, выработанные на пластовых интрузиях траппов. Они занимают наиболее высокие участки междуречий и располагаются на абсолютных отметках от 600 до 400 м. Рельеф траппового плато в значительной степени зависит от строения отпрепарированного интрузивного тела. На пластовых интрузиях развиты плоские или слабо волнистые поверхности с отдельными участками скопления многочисленных небольших озер. Подобная картина наблюдается в верховьях р. Вилуй, на междуречье Оччугуй-Ботуобуй и Вилуя[10]..

В бассейне рек Ахтаранда, Холомолох, Моркока, Улахан-Ботуобуя и др. — в области распространения пластовых интрузий, прорванных дайками траппов, — рельеф плато становится грядово-холмистым или грядовым. Гряды поднимаются на высоту 10—15 м над поверхностью плато и расходятся в разных направлениях. Грядовый рельеф на трапповых плато может иметь и другое происхождение[10].

На междуречье Вилюя и Улахан-Ботуобуи участки грядово-холмистого рельефа связаны с формированием на поверхности траппового плато серии тектонических трещин, позже расширенных и углубленных эрозией и денудацией. Вдоль склонов долин трещины могли возникнуть в следствии процессов оседание склонов, что также при дальнейшем размыве способствовало образованию грядовых и грядово-холмистых междуречий[10].

Трапповые плато практически повсеместно оконтуриваются уступом, который покрыт глыбовой осыпью. На крутых склонах осыпи спускаются вниз в виде каменных рек — курумов, образующих у подножия склонов широкие россыпи. Под влиянием силы тяжести и мерзлотных процессов осыпь постепенно передвигается вниз по склону, благодаря чему постоянная крутизна уступа поддерживается, а траппы разносятся далеко в стороны от коренного источника[10].

Речные долины, прорезая пластовые тела, образуют узкие каньоны, с крутыми скалистыми обрывами по склонам и порогами в русле. Продольные профили таких рек имеет не выработанный характер. Более пологие участки чередуются с крутыми уступами. Пойма нередко эрозионная. Террасы развиты слабо и прослеживаются вдоль склонов долин в виде узких полосок или отдельных сегментов. Русла небольших рек и ручьев сплошь засыпаны осыпями из угловатых глыб и обломков траппов. Водоток течет под ними и почти не появляется на поверхности[4].

В верхнем течении р. Вилюй, в бассейнах рек Лахарчана и Чиркуо, в верховьях р. Ахтаранда широко распространен своеобразный скелетно-грядовый рельеф, строение которого целиком определяется литологическими особенностями пород, слагающих район. Здесь развиты легко размываемые туфогенные и песчано-глинистые отложения, которые почти повсеместно прорваны дайками и мелкими телами траппов различной формы[10].

Рыхлые осадочные толщи в процессе размыва были в значительной степени уничтожены, тогда как на траппы очень мало воздействовали агенты денудации. В результате этого рельеф приобрел как-бы двухъярусное строение. Нижний уровень представляет собой совершенно плоскую поверхность с многочисленными, интенсивно петляющими и почти не врезаемыми водотоками[10].

Верховья долин расширены (до 3— 4 км) и сильно заболочены. Отпрепарированные дайки и трапповые тела поднимаются над равниной на высоту 30—50 м, образуя верхний ярус. Соединенные между собой в виде холмов и гряд, которые местами тянутся на десятки километров. Долины крупных рек имеют четковидное строение. На участках, сложенных рыхлыми отложениями, они расширяются до нескольких километров. По берегам прослеживается ряд широких террас, в русле — косы и отмели. В местах пересечения реками трапповых тел долины снова становятся узкими.

На отдельных участках Вилуйского плато, например на междуречье Чоны и Улахан-Ботуобуи, где широко распространены континентальные отложения нижней перми, сформировалась плоская, местами холмистая равнина, переработанная современной денудацией. Пермские отложения отличаются небольшой плотностью и легко поддаются размыву, задерживая на своей поверхности атмосферные осадки. Все это привело к образованию под влиянием длительной денудации почти идеально плоской платообразной поверхности с многочисленными заболоченными понижениями в центральных частях междуречий [10].

Водораздельные пространства имеют абсолютную высоту 350—400 м и расчленяются сетью слабо врезаемых речных долин с широкими заболоченными днищами[10].

Даже такие крупные притоки р. Улахан-Ботуобуя, как реки Арбангда-Сиэнэ и Курунг-Дьюнкун, образуют почти не врезаемую долину с вогнутыми

склонами, незаметно переходящими в междуречья. В верховьях долин развиты болота шириной до 4-6 км, с массой озер и западин. Ландшафт оживляют отдельные холмы — трапповые тела, местами поднимающиеся на высоту до 50м [9].

Многолетняя мерзлота

Одной из интереснейших особенностей природы изучаемого района является многолетняя мерзлота[4].

Многолетняя мерзлота - это породы, грунты, почвы, находящиеся в мерзлом состоянии, т.е. имеющие отрицательную температуру в течение продолжительного периода времени. Свойственной чертой мерзлых пород является их высокая льдистость[4].

Многолетняя мерзлота охватывает всю обширную территории, причем на ее большей части развита сплошная мерзлота, где мерзлые толщи пород прерываются лишь локальными зонами незамерзшего грунта — таликами, которые существуют под руслами крупных рек и под котловинами больших озер[4]. Глубина промерзания и охлаждения недр, также достигает весьма внушительных величин. Мощность слоя постоянно мерзлых грунтов и пород, вскрытых буровой скважиной в окрестностях кимберлитовой трубки «Мир», составляет около 350 м. Возможно, что севернее эта мощность еще больше[10]. Глубина деятельного слоя, оттаивающего в теплое время года, около 1-2 м и зависит от экспозиции склона, густоты растительного покрова и состава грунта.

Сочетание многолетней мерзлоты почвы с малым количеством выпадающих осадков и континентальным климатом формирует своеобразное климатическое условие территории. Этими же факторами обусловлены многие особенности гидрологического режима рек, рельефа, а также почвенного и растительного покрова[4].

Мерзлые грунты и породы представляют собой водоупорный пласт, повсеместно подстилающий тонкий слаборазвитый слой грунта. Благодаря этому, отсутствует инфильтрация воды в почву, и, следовательно, в водном балансе поверхностный сток имеет высокое значение. Таким образом, высота весеннего паводка и формирование осеннего паводка, в основном обусловлена многолетней мерзлотой. Небольшие реки, имеющие постоянный водоток, которые не в силах врезаться в толщу мерзлых пород, разрабатывают долины преимущественно в ширину, извиваясь по их плоскому днищу многочисленными небольшими излучинами. Несомненно, что многолетняя мерзлота оказывать влияние на формирование меандр и у более крупных рек [10].

На широких речных террасах в результате вытаивания погребенных в аллювии линз льда и просадки грунта над ними образуются многочисленные термокарстовые озера, достигающие иногда существенных размеров. Вследствие засушливости климата такие озера весьма быстро высыхают, превращаясь в «аласы» - открытые участки, заросшие сочной луговой растительностью[4]. Вытаивание линз погребенного льда часто является причиной быстрого разрушения береговых оврагов. С этим явлением приходится считаться и при строительстве сооружений, сооружаемых на речных террасах [12].

Также многолетняя мерзлота, препятствуя инфильтрации влаги, способствует формированию пойменных и верховых болот, которые занимают весьма значительные площади [9].

Почвенно-растительный слой.

На террасах рек почвы аллювиально-луговые, но со значительными пятнами солонцов и солончаков и с избытком солей. На открытых участках можно наблюдать выцветы, похожие на слабый иней на земле. Эти почвы по внешнему виду напоминают маломощный чернозем. По содержанию

растворимых в воде солей почва не уступает столбчатым солонцам европейской полупустыни [4].

В западной части района развиты таежно-подзолистые почвы, близкие к обычным в Сибири, и имеющие ряд особенностей. Опыт земледелия, свидетельствует о хорошем плодородии этих почв; наилучшими из них оказываются почвы бруснично-лиственничной тайги [4].

На повышенных нагорьях почвенный слой маломощен и обладает в значительной степени скелетным характером. Также развиты заболоченные «мари» с мохово-торфяным покровом. Участки, представляющие сельскохозяйственный интерес, приурочены к аллювиальным почвам в речных долинах, где долины более широки и пологи. С речными долинами связаны более пригодные для сельскохозяйственного использования почвы и в тундровой полосе [4].

Растительный покров в основном представлен притундровыми, северо-таежными, среднетаежными и горными лесами. Общей особенностью является развитие древесного яруса. Господствующей породой в западной части является лиственница. Лиственничные леса (81,9 % лесопокрытой площади) в наибольшей степени адаптированы к холодным и влажным мерзлотным почвам, к резко-континентальному климату с суровой и продолжительной зимой. Сосновые леса (6,8 %) встречаются массивами, в среднетаежной подзоне на более легких, сухих песчаных почвах. Темнохвойные леса занимают менее 1% площади, и встречаются на более богатых и влажных почвах. Заросли кедрового стланика, включаемые в лесопокрытую площадь, занимают около 6%. На долю лиственных лесов, в основном березовых, приходится немногим более 1% общей площади. Большая часть березовых лесов носит вторичный характер и временно занимает гари из-под лиственничных и сосновых лесов [4].

Климат

Климатические условия территории весьма суровые. Суровость климата сочетается с его резкой континентальностью. Продолжительность зимнего периода составляет 6-7 месяцев и характеризуется устойчивыми высокими давлениями. Циклонических вторжений арктических воздушных масс почти не наблюдается. Начиная с ноября обычны морозы ниже -40°C , в середине зимы температура воздуха падает до -50°C , а в отдельные дни может достичь до -60°C . Лето короткое, солнечное и жаркое [4].

Переходы от зимы к лету и от лета к зиме кратковременные. В особенности непродолжительна весна, причем под лучами весеннего солнца снег, лежащий на холодной, промерзшей почве, большей частью испаряется[4].

Наиболее холодный месяц – январь (среднемесячная температура воздуха $37,6^{\circ}\text{C}$), наиболее теплым является июль (среднемесячная температура воздуха $+16,3^{\circ}\text{C}$). Среднегодовая температура воздуха составляет $-9,5^{\circ}\text{C}$. К северу от реки Вилюй в низменных местах $12-15^{\circ}\text{C}$, в более высоких местах она ниже. Положительные среднемесячные температуры наблюдаются в течении пяти месяцев в году, с мая по сентябрь. В теплый период года отличительной чертой температурного режима является быстрое нарастание среднесуточных температур весной и быстрое их падение осенью. Для летнего сезона характерны частые вторжения холодных масс воздуха с севера с малым содержанием водяного пара и большой прозрачностью. При таких вторжениях в сочетании с условиями, благоприятными для застоя холодного воздуха, при ясной погоде в отдельные годы возможны заморозки в течение лета[4].

Из годового количества выпадающих осадков на холодный период (ноябрь — март) приходится примерно 20-25%, а на теплый (апрель — октябрь) 75-80% годовой суммы. Среднегодовое количество осадков 209 мм (п. Нюрба). Благодаря резко выраженному антициклональному режиму погоды в холодный период зима сухая и малоснежная. Мощность снежного покрова 30-40 см. Снежный покров ложится в конце сентября и держится до середины мая[4].

Реки замерзают в октябре и вскрываются в мае. Весенний паводок, довольно высокий (до 10-12 м над меженным уровнем) проходит быстро. В августе обычно наблюдается второй, значительно меньший подъем воды, связанный с дождями. Зимой, когда на поверхности сток отсутствует и питание водотоков осуществляется только за счет межмерзлотных вод, дебит рек очень резко падает, а мелкие притоки промерзают до дна [4].

2 Характеристика гидрологических условий

2.1 Гидрография района Вилуйского водохранилища и особенности условий формирования стока рек

Река Вилуй – самый большой из левых притоков Лены. Длина ее 2650 км, площадь бассейна 454000км^2 , средний годовой расход воды $1520\text{ м}^3/\text{сек}$ [4].

На рисунке 2.1 приводится карта - схема расположения водосбора реки Вилюй.



Рисунок 2.1 – Карта схема водосбора реки Вилюй

Главные притоки р. Вилюй: впадающие справа — Улахан-Вава, Чуркуо, Чона, Чыбыда, Улахан-Ботуобуя, Оччугуй-Ботуобуя, Баппагай; слева — Ахтаранда, Ыгыатта, Марха, Тюкян и Тюнг. Река Марха является основным притоком Вилюя [7].

У пос. Чернышевского (1315-й км) на реке сооружена ГЭС.

С учетом природных условий и внесенных в них изменений созданием гидроузла, реку Вилюй можно разделить на четыре участка [12]:

- 1) верхний участок – от истока до устья р. Чиркуо (длина 938 км),
- 2) участок водохранилища (длина 397 км),
- 3) средний участок – от пос. Чернышевского до устья р. Мархи (длина 797 км)
- 4) нижний участок – от места впадения р. Мархи до устья (длина 518 км).

В пределах водохранилища река представляет озеровидное расширение, местами до 10 км [12].

Виллюй входит в пределы Центрально-Якутской низменности, начиная со среднего течения. Его сильно развитые левые притоки: Марха (923 км), Тюкян и Тюнг начинаются на Средне-Сибирском плоскогорье. Правые притоки Виллюя, берущие начало с Лено-Виллюйского междуречья, короткие и маловодные. В бассейне реки насчитывается 67 266 озёр, из них крупные: Ниджили (площадь зеркала 119 км²), чуть меньше Бараталах и Мастах, Сюгджэр (80 км²), Богуда (22 км²) и Мосаны (глубина — 110 м) [9].

На среднем участке до села Сунтар речная долина имеет горный характер, русло порожи́стое, последний крупный порог Куччугуй-Хана находится на 1174-м км. Ниже села Сунтар долина расширяется, течение становится спокойным. На нижнем участке Виллюй протекает по широкой долине с затапливаемой пойменной террасой, в разветвленном неустойчивом русле [7].

Питание рек смешанное, с преобладанием снегового. Характерным для нее является большое и хорошо выраженное весеннее половодье. В среднем течении последнее сглаживается вследствие регулирования стока Виллюйским водохранилищем. Средний многолетний расход воды у пос. Чернышевский около 600 м³/сек, у села Сунтара 742 м³/сек, близ устья 1461 м³/сек.[3][1]. В среднем течении, максимальные весенние расходы, достигают до 10000-15000

м³/сек, значения минимальных зимних расходов, до строительства Вилюйской ГЭС на реке, составляли 2-5 м³/сек [4].

Начало ледостава на реке наблюдается с октября, вскрытие происходит в середине мая. Продолжительность периода, во время которого на реке не наблюдается ледовых явлений, приблизительно 5 месяцев в году. Уровень воды в период весеннего половодья поднимается до 10-15 м, в низовьях могут наблюдаться ледяные заторы [4].

2.2 Общие сведения о Вилюйском водохранилище и режиме регулирования

Вилюйское водохранилище находится на р. Вилюй, на Среднесибирском плоскогорье в Восточной Сибири. Карта Вилюйского водохранилища приведена на рисунке 2.2. Является объектом комплексного использования и обеспечивает регулирование стока в интересах энергетики, водного транспорта, коммунального и рыбного хозяйства [11].

Водохранилище (створ в п. Чернышевский), имеет в полезной емкости сезонную и многолетнюю составляющие позволяет вести все виды регулирования (многолетнее, сезонное, недельное, суточное) [11].

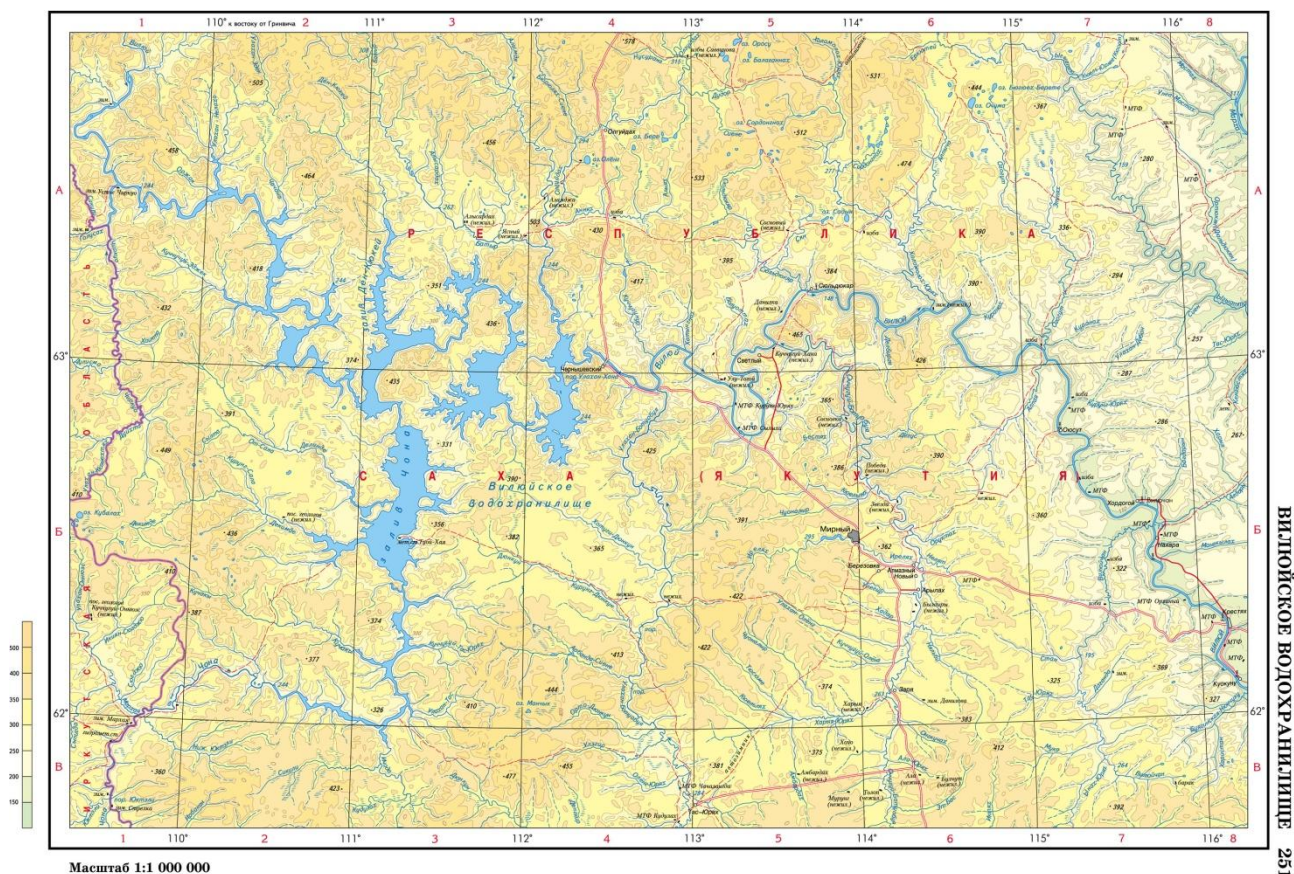


Рисунок 2.2 – Карта Вилу́йского водохранилища

Водохранилище глубоководное, руслового типа, расположено в зоне многолетнемерзлых грунтов. Сработка воды происходит в осенне-зимний период на глубину 10 м для энергетических целей. Береговая линия сильно изрезана, образует 5 крупных заливов; Ахтарандинский, Дуранинский, Кусаганский, Усть-Чонский и Туой-Хайанинский [12].

Строительство Вилу́йской ГЭС началось в 1960 г. 1967г начало эксплуатации [11].

Каменно-набросная плотина гидроузла ВГЭС-1,2 расположена в 1348 км от устья р. Вилу́й имеет длину по гребню 600 м и максимальную высоту 75 м, распространяется вверх до реки Чиркуо. Ниже по течению расположена плотина гидроузла ВГЭС-3 в 1206,8 км от устья р. Вилу́й [8].

Собственником и эксплуатирующей организацией Вилюйских ГЭС является Открытое Акционерное Общество Акционерная Компания “Якутскэнерго” [12].

В таблице 2.1 приведены основные параметры Вилюйского водохранилища [11].

Таблица 2.1 — Основные параметры Вилюйского водохранилища

№ п/п	Основные параметры		Значение	Единица измерения
1	Ширина	максимальная	18	км
		средняя	5,76	км
2	Глубина	максимальная	70	м
		средняя	17,3	м
3	Площадь зеркала	при НПУ	2360	км ²
		при УМО	1430	км ²
4	Объем	при НПУ (полный)	40,41	км ³
		при УМО	18,05	км ³
		полезный	22,36	км ³

Режим работы водохранилища

Основное использование Вилюйского водохранилища - многолетнее регулирование стока реки Вилюй для получения выработки электроэнергии, а также используется для водоснабжения, и поддержания в период навигации судоходных условий в нижнем бьефе гидроузла [08].

Полезная емкость 22,36 км³ контролирует среднемноголетний годовой приток 20,8 км³. Судоходные условия обеспечиваются в летний период в нижнем течении реки (судоходный участок 756 км — от села Сунтар до устья). Сработка водохранилища до УМО и призмы многолетней емкости, имеющей объем около 8 км³, производится только в крайне маловодные годы для поддержания гарантированной энергоотдачи. Сезонная емкость, и емкость форсировки водохранилища обеспечивают трансформацию и пропуск максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков [12].

Водохранилище эксплуатируется в соответствии с "Основными правилами использования водных ресурсов Вилуйского водохранилища", Москва, 1989г и "Дополнениями к правилам эксплуатации водохранилища Вилуйской ГЭС-1,2 на период строительства Вилуйской ГЭС-3 [11].

2.3 Гидрологическая изученность и исходные данные

Гидрологическая изученность бассейна р. Вилуй, где расположен каскад Вилуйских гидроузлов, достаточно высокая.

Первые гидрологические работы здесь начаты в 1926 г Якутской экспедицией АН СССР и управлением водных путей Ленского бассейна. Тогда же Гидрометслужбой были открыты гидрометеорологическая станция в селе Сунтар и водомерный пост в городе Вилуйск, на которых наблюдения проводятся до настоящего времени [8].

С 1959 года начались гидрологические наблюдения в пос. Чернышевском (1348 км от устья) для обеспечения гидрологическими и метеорологическими данными для проектирования и строительства первоочередной Вилуйской ГЭС. С 1972 г учет стока на гидроузле ведется службой эксплуатации, а наблюдения на водохранилище проводятся озерной станцией Якутскгидромета. С мая 1975 года, силами экспедиции №13 института «Ленгидропроект», организованы и продолжаются по настоящее время гидрометеорологические работы на участке строительства Вилуйской ГЭС-3 [8].

В настоящее время на р. Вилуй и его притоках действует 34 поста с измерениями стока и 10 водомерных постов, основная часть этой сети находится в ведении Якутского Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЯУГМС). ЯУГМС предоставляет основные

гидрометеорологические данные по температуре, ветру, осадкам, снегозапасам, уровню воды и стоку в пунктах наблюдений на реках бассейна [2].

Исходные данные

Исходными данными для анализа и оценки изменений годового стока реки Вилуй в результате регулирующего влияния Вилуйского водохранилища являются ряды годового стока рек и притоков на постах:

- 1) р.Вилуй - г.п. Усть-Амбардаах, расположенный на расстоянии 1816 км от устья реки Вилуй, с площадью водосбора 57300 км²;
- 2) р.Вилуй - пос. Чернышевский, который расположен непосредственно ниже плотины Вилуйского водохранилища на расстоянии 1315 км от устья реки Вилуй, площадь водосбора которого равен 136000 км²;
- 3) р.Вилуй - с. Сюльдюкар расстояние от устья Вилуя 1816 км, с площадью водосбора 168000 км²;
- 4) р. Чуркуо – г.п. Лавинда расположен на расстоянии 1712 км по правому берегу реки Вилуй от устья, с площадью водосбора 4130 км²;
- 5) р. Улахан-Эдьэк – г.п. Дальний на расстоянии 1653 км по левому берегу реки Вилуй от устья, с площадью водосбора 854 км²;
- 6) р. Чона – гмс.Чона с площадью водосбора 40600 км²;
- 7) р. Ичода – г.п. Майский расположен на расстоянии 148 км по правому берегу реки Чона, с площадью водосбора 2820 км²;
- 8) р. Дьэкиндэ – г.п. Улар находится на расстоянии 72 км по левому берегу реки Чона, площадь водосбора равен 1420 км²;
- 9) р. Ахтаранда – г.п. Сюрэх-Хая расположен на расстоянии 1336 км от устья реки Вилуй с площадью водосбора 11600 км²;

10) р. Батыр – г.п. Ясный в 59 км от устья реки Ахтаранда, площадь водосбора которого равен 3380 км².

На рисунке 2.3 показано расположение створов рек и притоков, впадающих в Вилуйское водохранилище, по которым использовались ряды наблюдений за стоком в данной работе [2].



Рисунок 2.3 – Схема расположения постов на Вилуйском водохранилище

Сведения о величине площади водосбора рек, периоде наблюдений и длительности рядов [2] приведены в таблице 2.2.

На рисунке 2.4 показаны графики начала и продолжительности рядов среднегодовых расходов воды на створах, которые использовались в данной работе в качестве исходных данных.

Таблица 2.2 – Сведения о величине площади водосбора, периоде наблюдений и длительности рядов на створах рек - притоков Вилуйского водохранилища

№ п/п	Река-створ	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений	Количество лет
1	р. Вилуй – г.п. Усть-Амбардаах	57300	1966-2014	49
2	р. Вилуй – п. Чернышевский	136000	1959-2014	56
3	р. Вилуй – с. Сюльдюкар	168000	1947-1966; 1967-1970	42
4	р. Чуркуо–г.п. Лавинда	4130	1971-2014	44
5	р. Улахан-Эдьэк–г.п. Дальний	854	1977-2014	38
6	р. Чона– гмсЧона	21000	1974-2014	40
7	р.Ичода– г.п. Майский	2820	1973-2014	40
8	р. Дьэкиндэ– г.п. Улар	1420	1978;1989-2014	26
9	р. Ахтаранда– г.п. Сюрэх-Хая	11600	1976-2014	39
10	р. Батыр –г.п. Ясный	3380	1970-2014	45

Для оценки величины притока в Вилуйское водохранилище и формирования ряда естественного годового стока в створе п. Чернышевский, не измененного в результате регулирования, использовались данные по годовому стоку рек, впадающих в водохранилище.

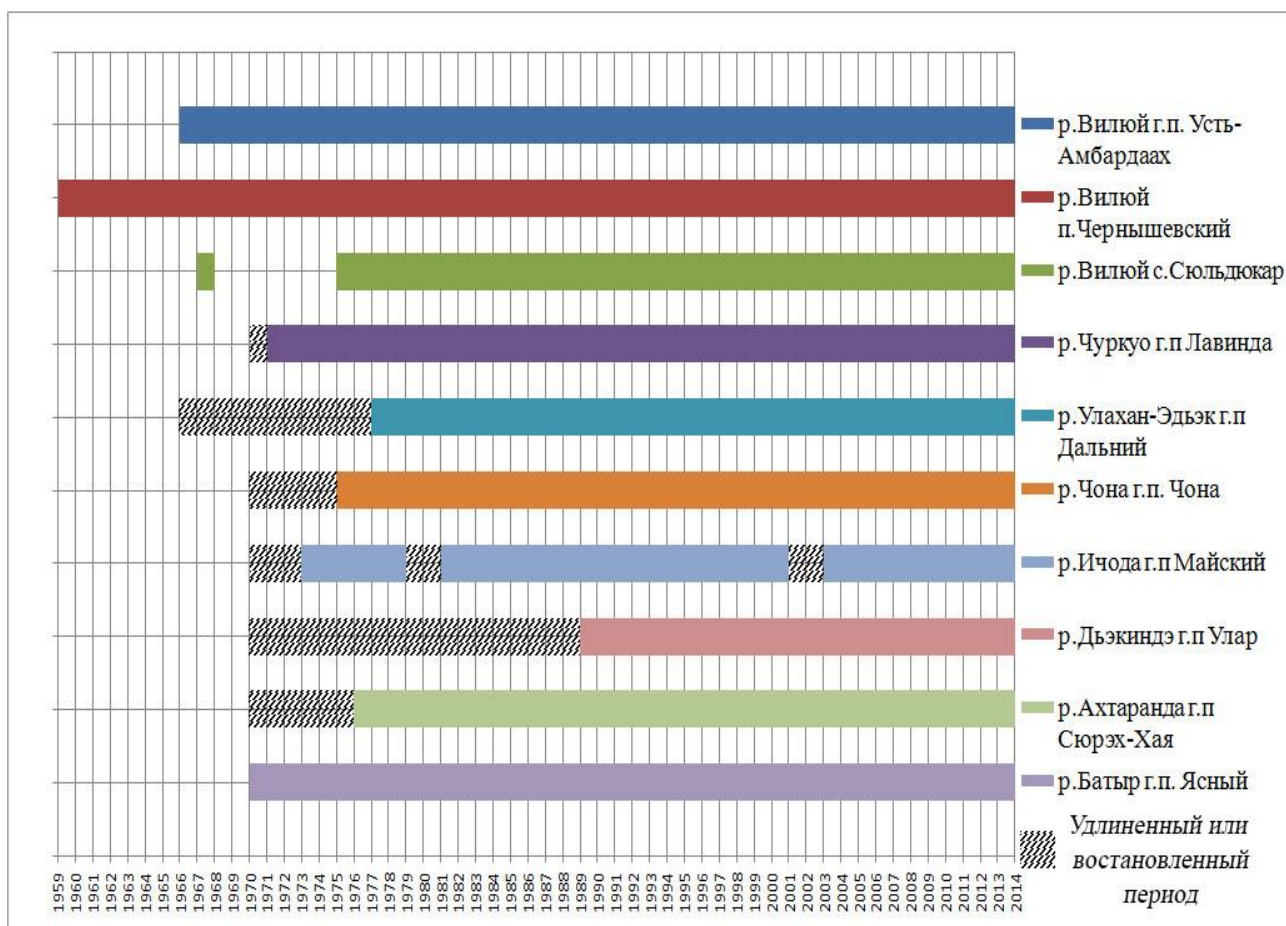


Рисунок 2.4 – График начала и продолжительности периодов наблюдений, рядов среднегодовых расходов воды, на постах расположенных на Вилуйском водохранилище.

3 Формирование ряда естественного годового стока в створе гидроузла

3.1 Характеристика изменчивости параметров годового стока рек на водосборе Вилуйского водохранилища

Для характеристики годового стока реки Вилуй были рассмотрены естественный сток в створе г.п. Усть-Амбардаах, и зарегулированный – в створе пос. Чернышевский. По данным рядов наблюдений за среднегодовым расходом построен совмещенный хронологический график стока р. Вилуй приведенный на рисунке 3.1

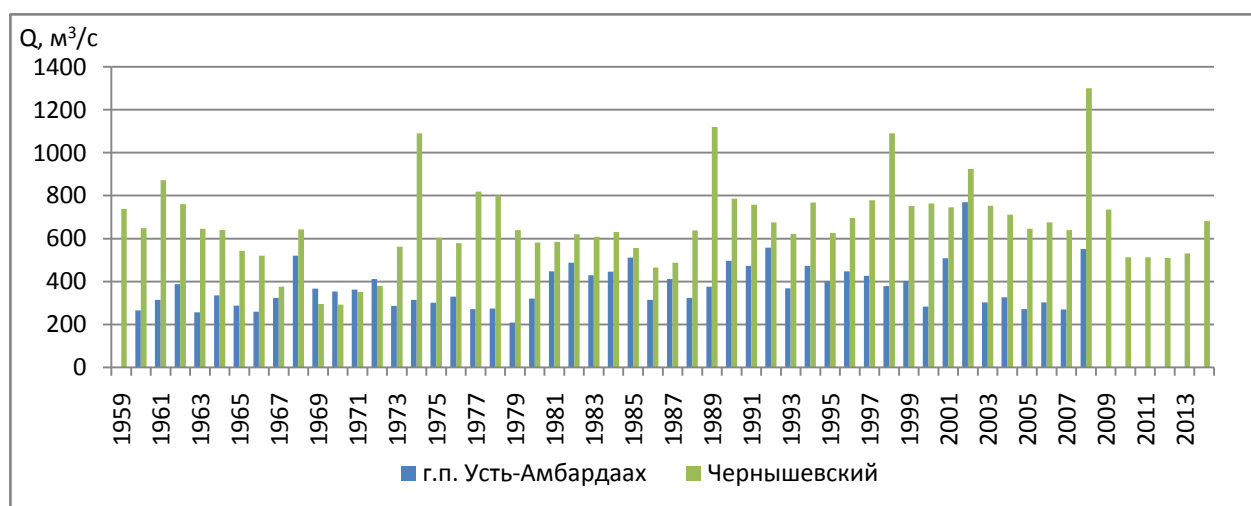


Рисунок 3.1 – Хронологические графики среднегодовых расходов воды

С этой же целью, для оценки характеристики изменений многолетних колебаний годового стока рек-притоков Вилуйского водохранилища и самой реки Вилуй, а также для наглядного представления о периодах различной водности естественного и зарегулированного стока за время гидрометрических наблюдений, построены разностные интегральные кривые на реке Вилуй и основных его притоках – Чона и Ахтаранда (рисунок 3.2). Интегральные разностные кривые показывают изменение нарастающей суммы отклонений годовых модульных коэффициентов от среднего многолетнего значения. Период времени, на котором отрезок кривой наклонен вверх [6], относительно

горизонтальной линии, соответствует многоводной фазе, а период, на котором отрезок кривой наклонен вниз соответствует маловодной фазе.

На совмещенном графике разностных интегральных кривых видно, что период наблюдений на р.Виллой включает полный цикл колебаний водности исследуемой реки. Исходя из построенных кривых - период пониженной водности наблюдался с 1974-1986гг., внутри периода имеется период средней по водности с 1974-1977гг. Сильно выраженный период пониженной водности, во всех створах, начинается с 1979г. На участке реки, с естественным стоком, данный период заканчивается в 1986г, на зарегулированных участках на 2 года позднее в 1988г. Далее с 1987-2008гг на г.п. Усть-Амбардаах, который расположен перед Виллойским водохранилищем, наблюдался период повышенной водности, а в створах ниже подпорного сооружения данный период начинается с 1989г и заканчивается в 2010г. Внутри этого периода имеются периоды средний по водности, на створе Усть-Амбардаах с 1991-1996гг. и 2002-2006гг. на створах пос. Чернышевский и с. Сюльдюкар эти периоды наблюдались с 1989-1997гг и с 2002-2007гг. С 2009-2013г на участке с естественным стоком, наблюдается фаза пониженной водности. На участке, с зарегулированным стоком, с 2010 по 2014 год. Интегрально-разностная кривая р. Ахтаранда – г.п. Сюрэх-Хая повторяет колебания кривых р. Виллой. На створе р. Чона – гмс. Чона на протяжении всего периода наблюдений наблюдается фаза средняя по водности.

Сравнение разностных интегральных кривых, позволило проанализировать исследуемые участки на предмет синхронности и асинхронности изменения водности годового естественного и зарегулированного стока на реке Виллой и двух основных притоках, северном – Ахтаранда и южном – Чона. По этим результатам установлено, что на реке Виллой изменение периода водности, несмотря на смещение конца периодов примерно на 1-2 года на створе с зарегулированным стоком в пос. Чернышевский, практически происходят синхронно. На реке Ахтаранда колебания периодов водности средних годовых расходов синхронно повторяют изменение водности на реке

Виллюй, в то же время многолетние колебания стока на реке Чона, существенно отличаются от колебаний на этих реках.

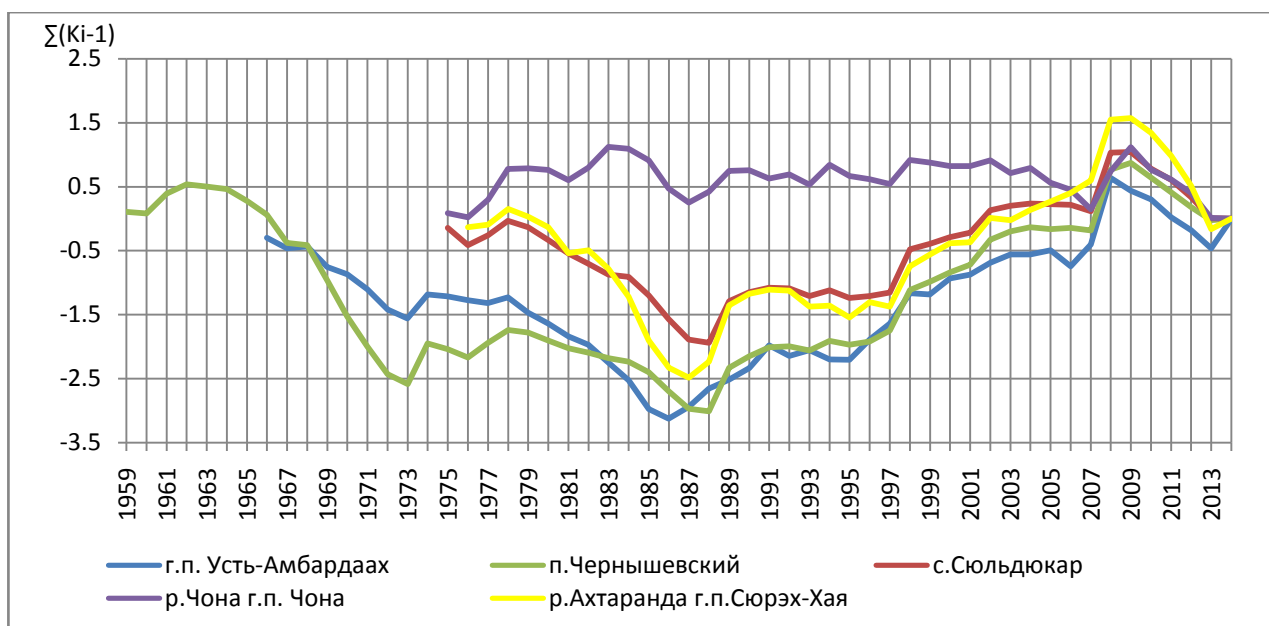


Рисунок 3.2 – Разностные интегральные кривые среднегодовых расходов воды

Это указывает на своеобразие условий формирования годового стока на реках южной части водосбора Виллюйского водохранилища. В дальнейшем анализе это своеобразие было подтверждено при анализе изменений значения годового модуля стока, коэффициента вариации, соотношения коэффициента асимметрии и коэффициента вариации, и величине коэффициента автокорреляции притоков Виллюйского водохранилища.

Оценка статистических характеристик

При оценке статистических характеристик рядов годового стока рек использовался метод моментов [6].

По всем рядам годового стока рек водосбора Виллюйского водохранилища был произведен расчет статистических характеристик и произведена оценка точности расчета статистических параметров.

Были рассчитаны следующие параметры:

- 1) Средний многолетний годовой расход воды $\bar{Q}_{ср.г}$ в $м^3/с$,
- 2) Коэффициент вариации C_v ,
- 3) Коэффициент асимметрии C_s .

Для каждого параметра рассчитывалась среднеквадратическая погрешность его определения σ и производилась оценка статистической значимости полученного значения параметра. Оценка значимости проводилась для уровня значимости $\alpha=5\%$.

Результаты расчетов параметров, и их погрешностей определения представлены в таблице 3.1

Расчет статистических характеристик и оценка их погрешностей осуществлялась методом моментов по следующим формулам [6]:

Норма стока (среднее значение годового стока за период плет) рассчитывалась по формуле:

$$\bar{Q}_{cp.e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{cp.g.i}, \quad (3.1)$$

где, $Q_{cp.g.i}$ - средний годовой сток i -го года в $\text{м}^3/\text{с}$; n – длительность всего расчетного периода в годах; i – порядковый номер члена ряда в расчетном ряду из плет.

Абсолютная погрешность нормы стока определялась по формуле:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \sigma / \sqrt{n}. \quad (3.2)$$

Коэффициент вариации рассчитывался по формуле:

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}. \quad (3.3)$$

Для расчета абсолютной погрешности коэффициента вариации использовалась формула:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2}}. \quad (3.4)$$

Для вычисления коэффициента асимметрии применялась формула:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{n(C_v)^3}. \quad (3.5)$$

Для оценки погрешности коэффициента асимметрии использовалась формула С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля:

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\left(\frac{6}{n}\right) (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)}. \quad (3.6)$$

Таблица 3.1 - Статистические параметры рядов годового стока

№ п/п	Река-створ	Площадь водосбора, км ²	N, лет	$\bar{Q}_{\text{ср.г.}}$, м ³ /с	q, л/(с*к м ²)	C_v	C_S	C_S/C_v (расч)	$\sigma_{\bar{Q}_{\text{ср.г.}}}$	σ_{C_v}	σ_{C_S}	R(1)
1	р. Виллой – г.п. Усть-Амбардаах	57300	49	378	6,6	0,28	1,24	4,48	19,6	0,04	>0,36	0,32
2	р. Виллой – п. Чернышевский	136000	56	666	4,9	0,29	0,87	3,02	38,3	0,04	0,4	0,44
3	р. Виллой – с. Сюльдюкар	168000	42	781	4,65	0,28	1,45	5,17	44,2	0,05	>0,39	0,33
4	р. Чуркуо– г.п. Лавинда	4130	44	17,3	4,19	0,37	1,07	2,85	1,41	0,06	0,45	0,42
5	р. Улахан-Эдьэк–г.п. Дальний	854	38	4,62	5,41	0,35	0,63	1,79	0,436	0,06	0,4	0,58
6	р. Чона– гмсЧона	21000	40	83,8	3,99	0,24	0,54	2,21	3,62	0,02	0,38	0,17
7	р.Ичода– г.п. Майский	2820	40	12	4,26	0,38	0,9	2,38	0,788	0,05	0,43	0,13
8	р. Дьэкиндэ– г.п. Улар	1420	26	5,14	3,62	0,42	0,85	2,03	0,568	0,04	0,48	0,41
9	р. Ахтаранда– г.п. Сюрэх-Хая	11600	39	50,2	4,33	0,35	0,53	1,5	4,4	0,07	0,38	0,51
10	р. Батыр – г.п. Ясный	3380	45	14,8	4,38	0,36	0,69	1,93	1,15	0,07	0,39	0,44

Оценка погрешностей и значимости рассчитанных параметров показала, что все параметры, за исключением коэффициента асимметрии, определены с достаточно высокой степенью надежностью.

Для нормы стока, коэффициента вариации и коэффициента корреляции значения параметров более чем в 2 раза превышают погрешности их определения, что соответствует уровню значимости $\alpha=5\%$.

Значительная погрешность определения коэффициента асимметрии, связана с недостаточной для его надежной оценки продолжительности рядов, поэтому полученные значения C_s и соотношения C_s/C_v следует рассматривать только как оценочные, для сопоставления их значения на реках водосбора Вилуйского водохранилища.

В целях более обоснованного подхода к формированию ряда значений средних годовых расходов притока воды к Вилуйскому водохранилищу, предварительно был произведен анализ изменения по территории водосбора водохранилища основных параметров годового стока.

Основное значение для формирования ряда притока имеет изменение по территории модуля годового стока рек. Условные границы зон и диапазон изменения модуля годового стока для бассейна Вилуйского водохранилища показаны на рисунке 3.3

По результату анализа на территории можно выделить 3 группы изменения модуля годового стока. На водосборе рек впадающих в Вилуйское водохранилище с севера, створ на р. Вилуй – г.п. Усть-Амбардаах и р. Улахан-Эдзэк – г.п. Дальний, значение модуля стока больше $5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$, на центральной части и ниже створа р. Вилуй – п. Чернышевский, а также в бассейне р. Ичода модуль стока изменяется в пределах от 4 до $5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$, на территории водосборов южных притоков, р. Дьэкиндэ – г.п. Улар и р. Чона – гмс. Чона, значение модуля стока ниже $4 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$.

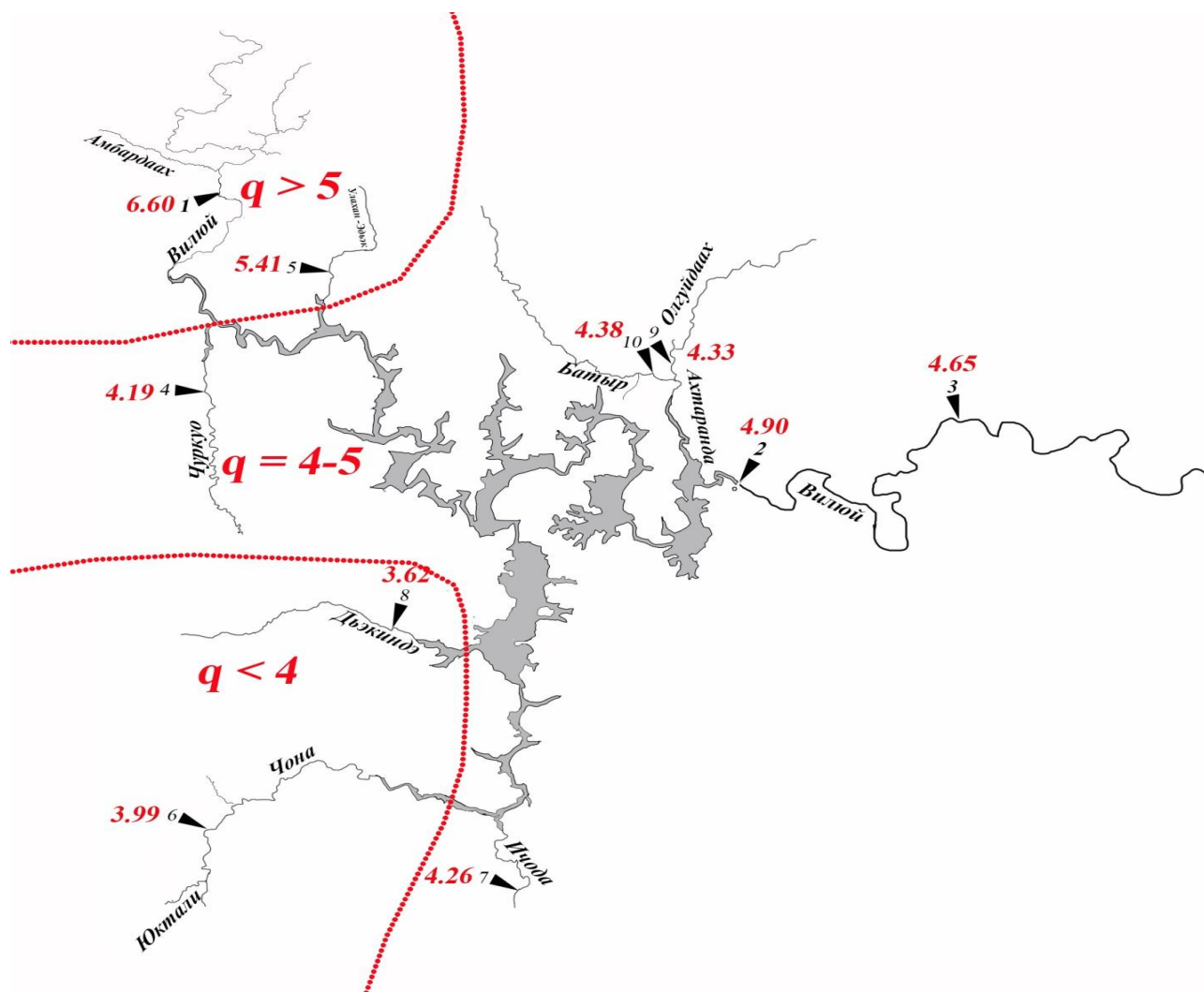


Рисунок 3.3 – Карта-схема пространственного изменения модуля стока на водосборе Вилуйского водохранилища

На рисунке 3.4 представлена схема пространственного изменения коэффициента вариации.

Анализ изменения по территории водосбора водохранилища коэффициента вариации показала, что на самой реке Вилуи, до впадения в водохранилище и ниже подпорного сооружения, значение коэффициента вариации чуть меньше 0,30 (в пределах 0,28-0,29). На реке Чона значение коэффициента вариации наименьшее и равно 0,24. На всех остальных притоках коэффициент вариации годового стока имеет повышенное значение и изменяется в пределах 0,35 – 0,42.

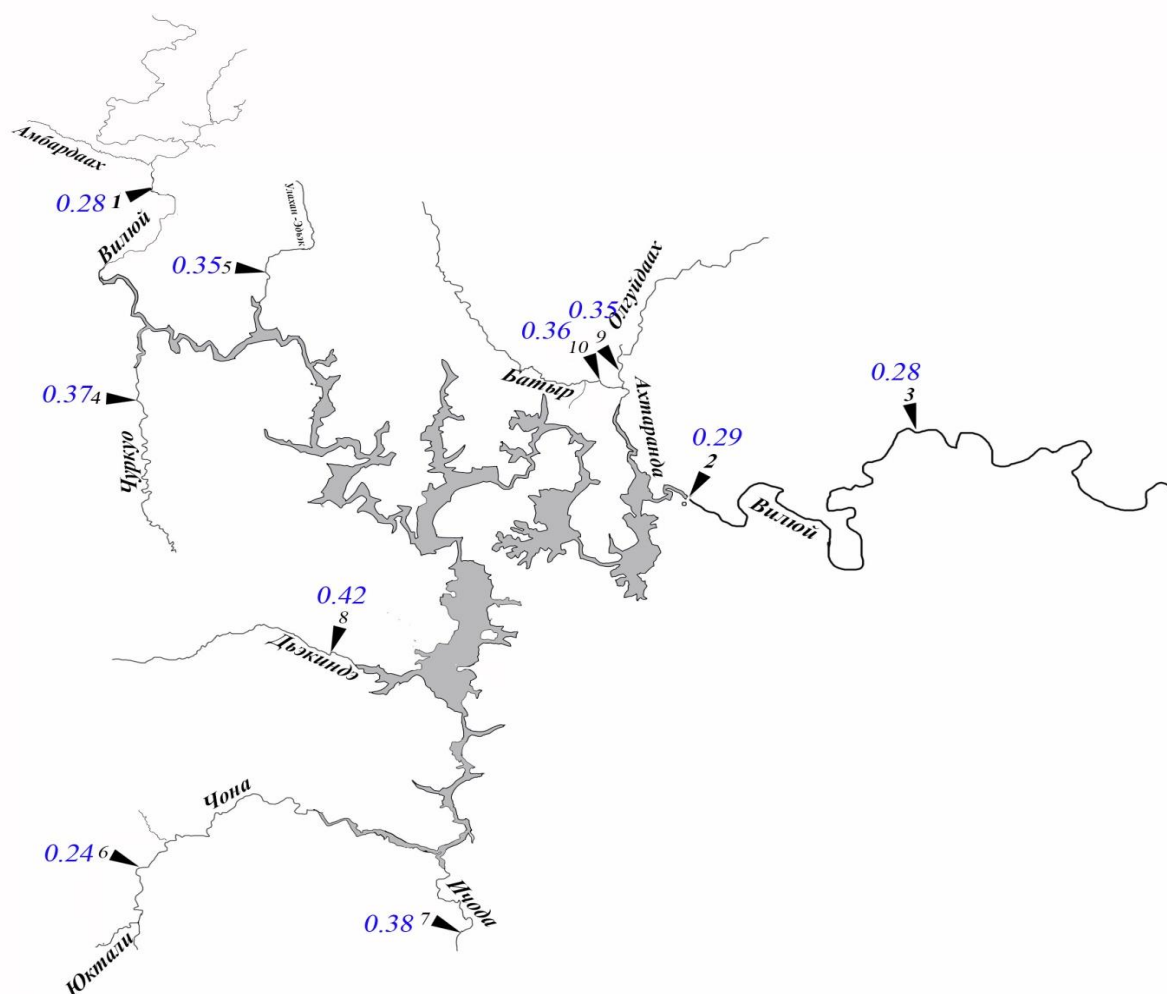


Рисунок 3.4 – Карта-схема пространственного изменения коэффициента вариации на водосборе Вилуйского водохранилища

На рисунке 3.5 представлена схема пространственного изменения коэффициента вариации.

Наибольшее значение соотношения коэффициента асимметрии и коэффициента вариации отмечается на реке Вилуй, г.п. Усть-Амбардаах, п. Чернышеский и с.Сюльдюкар, значение изменяется от 3 до 5. На бассейнах рек впадающих в Вилуйское водохранилище с севера наблюдается пониженное значение от 1,5 до 2,0. На притоках южной части территории значение соотношения коэффициента асимметрии и коэффициента вариации изменяется от 2,0 до 2,85.

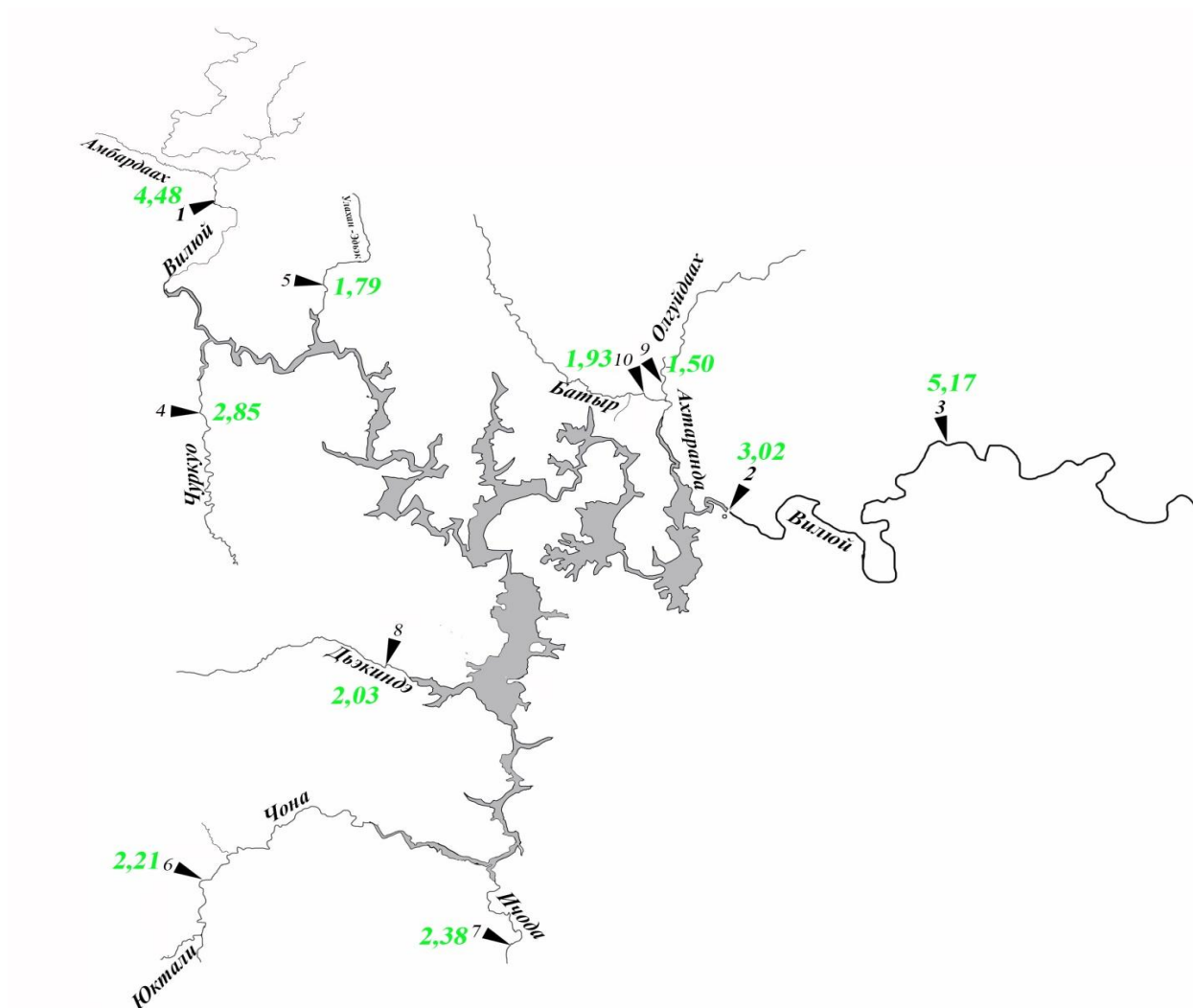


Рисунок 3.5 – Карта-схема пространственного изменения соотношения коэффициента асимметрии и коэффициента вариации на водосборе Вилуйского водохранилища

На рисунке 3.6 представлена условная схема пространственного изменения коэффициента автокорреляции

На самой р. Вилу́й коэффициент автокорреляции в среднем равно 0,35. В северной части территории коэффициент корреляции повышен, и изменяется от 0,44 до 0,58. На западной части на притоках р. Чуркуо и р. Дьэкиндэ корреляция в среднем равна 0,40. В южной части значения коэффициента корреляции пониженные меньше 0,2. Изменение коэффициента автокорреляции годового стока по территории водосбора Вилуйского водохранилища хорошо согласуется с характером многолетних колебаний стока отраженных на ходе интегрально-разностных кривых (рисунок 3.2).



Рисунок 3.6 – Карта-схема пространственного изменения коэффициента автокорреляции на водосборе Вилуйского водохранилища

Обобщая анализы многолетнего колебания и статистических параметров на территории водосбора Вилуйского водохранилища можно выделить 3 района отличающихся условиями формирования годового стока:

- 1) Водосбор реки Вилу́й, для которого существенно более высокие значения модуля годового стока, значение коэффициента вариации чуть меньше 0,30.
- 2) Район водосборов южных притоков Вилуйского водохранилища, главным из которых является река Чо́на, для этой территории характерно пониженное значение модуля стока, изменчивости годового стока и величины значения автокорреляции.

3) Центральная часть водосбора, примыкающая к Вилюйскому водохранилищу, притоков непосредственно впадающих в Вилюйское водохранилище, за исключением южных притоков и самой реки Вилюй. Для этой территории характерно среднее значение модуля годового стока, в пределах 4-5 л/(с*км²), повышенное значение коэффициента вариации годового стока, и высокая степень автокорреляции в пределах 0,4-0,5.

3.2 Удлинение рядов годового стока

Для оценки и анализа возможных изменений годового стока р. Вилюй в результате регулирующего влияния Вилюйского водохранилища, необходимо сформулировать ряд среднегодового стока реки в створе п. Чернышевский который можно было бы считать рядом естественного стока. Такой ряд должен быть сформирован за период эксплуатации водохранилища в нормальном режиме и иметь максимально возможную продолжительность.

По данным Государственного водного кадастра [1] период заполнения водохранилища закончился в начале 1970-х годов и с 1974г. началась эксплуатация Вилюйского водохранилища в нормальном проектном режиме. Исходя из этого, для оценки регулирующего влияния Вилюйского водохранилища желательно иметь ряды естественного стока с 1970 года.

В качестве значений естественного годового стока р. Вилюй в створе п. Чернышевский, то есть на выходе из Вилюйского водохранилища, можно считать величины годового притока – средних годовых расходов ($Q_{г.прит.}$) к водохранилищу.

Исходными данными для расчета значений средних годовых расходов притока к водохранилищу ($Q_{г.прит.}$) являются данные по средним годовым расходам рек, впадающих в Вилюйское водохранилище.

С таблицы №2.4, как было показано в разделе 2.3 продолжительность рядов наблюдений за стоком этих рек различная (рисунок 2.4).

На большинстве из них наблюдения начались после 1975 года. Ряд наблюдений на створе р. Ичода – г.п. Майский имеет пропуски. Для получения рядов годового стока на реках, впадающих в Вилюйское водохранилище за единый, максимально возможный по продолжительности период, было произведено удлинение наиболее коротких рядов и восстановление пропусков в данных о стоке.

В этих целях использовался метод гидрологической аналогии [6].

Для каждой реки с относительно коротким рядом подбиралась река-аналог, по данным о стоке которой за конкретный год определялось значение стока на расчетной реке [6].

Объективным критерием для назначения реки-аналога является, достаточно хорошая связь между значениями годового стока расчетной реки и реки-аналога за совместные годы наблюдений. Теснота связи оценивалась по величине коэффициента парной линейной корреляции и графически [6].

Коэффициент парной корреляции определялся на основе следующей расчетной формулы [6]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(Q_i - \bar{Q})(Q_{a,i} - \bar{Q}_a)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{a,i} - \bar{Q}_a)^2}} \quad (3.7)$$

где, $\bar{Q}$ и $\bar{Q}_a$ — средние значения стока на расчетной реке и реке-аналоге за совместный период наблюдений; Q_i и $Q_{a,i}$ — значения стока на расчетной реке и реке-аналоге за i -ый год.

Производилась оценка средней квадратической ошибки коэффициента корреляции σ_r и оценка значимости значения r при уровне значимости $\alpha=5\%$

$$\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{1 - n} \quad (3.8)$$

Оценка показала значимость всех парных коэффициентов корреляции.

Значения коэффициентов корреляции представлены в виде корреляционной матрицы в таблице 3.2.1

Большинство коэффициентов корреляции имеют значение в пределах от 0,75 до 0,90, что говорит о высокой тесной связи. В то же время выделяется группа рек – южных притоков Вилуйского водохранилища, связь которых со стоком остальных рек имеет существенно меньшие значения. Это в первую очередь створ на р. Чона – гмс. Чона, а также р. Ичода – г.п. Майский, и в какой-то мере р. Дьэкиндэ – г.п. Улар. При высокой корреляции стока между собой (значения r входят в пределы 0,75-0,90), корреляция со стоком других рек (самой р. Вилуй – г.п. Усть-Амбардаах и северных притоков водохранилища) существенно меньше ($r = 0,30-0,70$). Эта особенность пространственной скорелированности стока рек соответствует результатам анализа параметров годового стока (раздел 3.1), которые указывают на отличие условий формирования и режима годового стока, рек южной части водосбора Вилуйского водохранилища.

Корреляционный анализ позволил подобрать для рек с более коротким рядами наблюдений реки-аналоги и произвести удлинение рядов годового стока по уравнениям линейной регрессии имеющих вид

$$y = ax + b, \quad (3.9)$$

где, x - средний годовой расход на реке-аналоге; y - соответствующий средний годовой расход на расчетной реке; a и b - коэффициенты уравнения регрессии.

В таблице 3.3 представлены данные по параметрам уравнений регрессии, использованных при восстановлении значения стока, тесноте связи и количестве восстановленных лет

Таблица 3.2 – Корреляционная матрица рек Вилюйского водохранилища

Река - створ	Вилюй - г.п. Усть-Амбардаах	Вилюй – п.Чернышевский	Вилюй – с.Сюльдюкар	Чуркуо - г.п. Лавинда	Улахан-Эдьэк - г.п. Дальний	Чона - г.п. Чона	Ичода - г.п. Майский	Дьэкиндэ - г.п. Улар	Ахтаранда - г.п. Сюрэх-Хая	Батыр -г.п. Ясный
Вилюй - г.п. Усть-Амбардаах	1,00									
Вилюй – п.Чернышевский	0,71	1,00								
Вилюй – с.Сюльдюкар	0,68	0,99	1,00							
Чуркуо - г.п. Лавинда	0,68	0,77	0,77	1,00						
Улахан-Эдьэк - г.п. Дальний	0,79	0,78	0,78	0,86	1,00					
Чона - г.п. Чона	0,32	0,71	0,71	0,74	0,53	1,00				
Ичода - г.п. Майский	0,47	0,71	0,81	0,78	0,68	0,88	1,00			
Дьэкиндэ - г.п. Улар	0,45	0,84	0,85	0,81	0,72	0,76	0,84	1,00		
Ахтаранда - г.п. Сюрэх-Хая	0,76	0,86	0,88	0,84	0,86	0,64	0,75	0,82	1,00	
Батыр - г.п. Ясный	0,77	0,81	0,82	0,88	0,89	0,58	0,66	0,78	0,93	1,00

Таблица 3.3 -параметры линейного уравнения регрессии.

№ п/ п	Расчетная река -створ	Река-аналог	Коэффициент уравнения регрессии		r	σ_r	Период восстановления	
			a	b			число лет	годы
1	р. Улахан- Эдзэк - г.п. Дальний	р.Батыр-г.п. Ясный	0,267	0,665	0,89	0,04	7	1970- 1976
2	р.Чона— гмс.Чона	р. Дьэкиндэ - г.п. Улар	7,46	46,15	0,71	0,08	1	1970
		р. Чуркуо - г.п. Лавинда	2,28	43,93	0,74	0,08	2	1971- 1972
		р. Ичода - г.п. Майский	3,94	36,48	0,88	0,04	2	1973- 1974
3	р. Ичода - г.п. Майский	р. Чуркуо - г.п. Лавинда	0,25	0,69	0,78	0,07	4	1971- 1972, 1980, 2002
		р. Дьэкиндэ - г.п. Улар	1,93	2,41	0,78	0,07	1	1970
4	р. Дьэкиндэ - г.п. Улар	р. Чуркуо - г.п. Лавинда	0,55	2,51	0,81	0,08	18	1971- 1988
		р.Батыр-г.п. Ясный	0,31	0,05	0,78	0,08	1	1970
5	р. Ахтаранда - г.п. Сюрэх- Хая	р.Батыр-г.п. Ясный	3,10	3,97	0,93	0,02	6	1970- 1975

На рисунке №3,7 приведены графики связи годового стока рек расчетной и аналога, которые иллюстрируют степени тесноты связей.

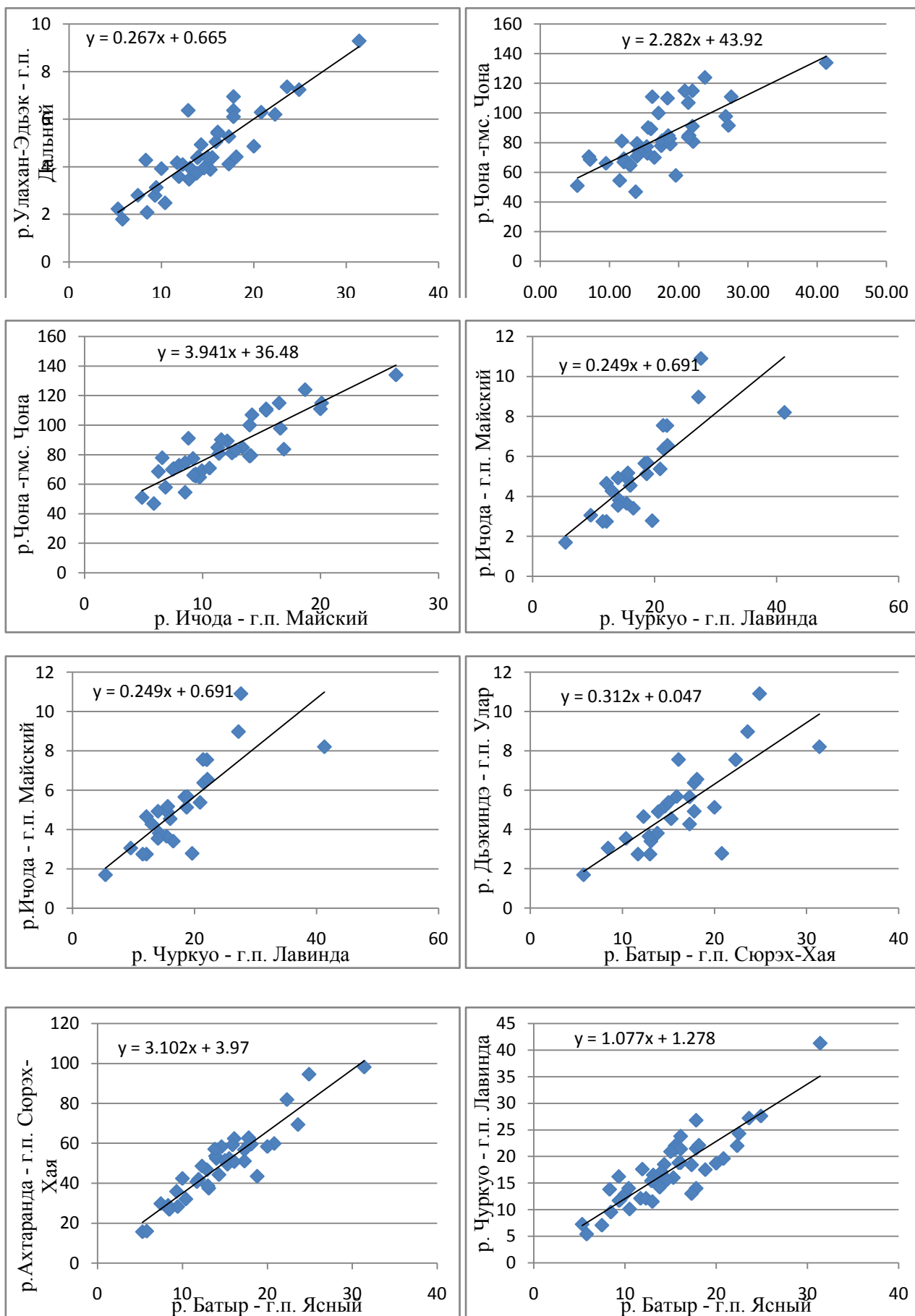


Рисунок 3.7 - Графики связи годового стока рек расчетной и аналога

При удлинении рядов, в качестве аналогов были использованы р. Батырг.п. Ясный, р. Дьэкиндэ - г.п. Улар, р. Чуркуо - г.п. Лавинда, р. Ичода - г.п. Майский. Ряды наблюдений за стоком, которых начинается соответственно с 1970 и 1971 годов. Поэтому все остальные ряды значений годового стока были восстановлены, начиная с 1970 года. Количество восстановленных лет изменяется от 5 лет, на створах р.Чона - гмсЧона и р. Ичода - г.п. Майский, до 19 лет, на створе р. Дьэкиндэ - г.п. Улар. На рисунке 2.4 графически изображены продолжительности рядов годового стока на реках, впадающих в Вилуйское водохранилище и участвующих в формировании суммарного притока воды. Продолжительность этих рядов составляет 45 лет и охватывает период с 1970 по 2014 год, то есть весь период работы водохранилища после его заполнения.

3.3 Формирование ряда притока к Вилуйскому водохранилищу

Для целей оценки влияния Вилуйского водохранилища на годовой сток р. Вилуй необходимо сформулировать ряд значений среднегодовых расходов воды в створ пос. Чернышевский соответствующий естественным, не подверженным регулирующему влиянию Вилуйского водохранилища условиям ($Q_{г.ест.}$).

В качестве естественных среднегодовых расходов в створе п. Чернышевский могут рассматриваться значения среднегодовых расходов притока к Вилуйскому водохранилищу ($Q_{г.прит.}$). Таким образом, принимается условие, что для каждого среднего годового значения расхода воды р. Вилуй в створе п. Чернышевский

$$Q_{г.ест.} = Q_{г.прит.}, \quad (3.10)$$

и для получения ряда естественных среднегодовых расходов необходимо определить значение среднегодовых величин притока ($Q_{г.прит.}$) за период эксплуатации Вилуйского водохранилища.

Значения среднегодовых расходов притока ($Q_{г.прит.}$) могут рассматриваться как формируемые и поступающие в водохранилище со всей площади его водосбора $F_{вдхр.}$ [5]. Это площадь соответствует площади водосбора р. Вилуй в п. Чернышевский и равна $F_{вдхр.}=136000 \text{ км}^2$ (таблица 2.2).

Согласно общепринятой и рекомендуемой методики расчета притока к водохранилищам [5] значения притока можно рассматривать как сумму двух величин: притока с части водосбора водохранилища на которой имеются данные по стоку, т.е. площади водосбора с измеренным стоком $F_{изм.}$, а также с части водосбора ниже створов измерений стока и непосредственно примыкающих к водохранилищу, сток с которой не измеряется $F_{не изм.}$.

Приток воды в водохранилище с площади, на которой отсутствуют данные о стоке ($F_{не изм.}$) принято называть боковой приточностью ($Q_{бок.}$)[5].

Таким образом, площади водосбора водохранилища можно представить как сумму двух значений

$$F_{вдхр.} = F_{изм.} + F_{не изм.}, (3.11)$$

а величины среднегодового расхода притока воды к водохранилищу, соответственно как сумму измеренного значения притока ($Q_{г.сум.}$) с площади $F_{изм.}$ и не измеренного значения притока ($Q_{г.прит.}$) с площади $F_{не изм.}$ [5]:

$$Q_{г.прит.} = Q_{г.изм.} + Q_{г.бок.} (3.12)$$

При формировании ряда притока значений притока $Q_{г.прит.}$ величины $Q_{г.изм.}$ на каждый год определялась как сумма среднегодовых расходов в створах измерения стока на реках впадающих в Вилуйское водохранилище, то есть по формуле[5]:

$$Q_{г.изм.} = \sum_{j=1}^k Q_{г.j}. (3.13)$$

На рисунке 3.1 показана схема условной границы площади с наличием данных о стоке, и площади на котором измерения за расходами воды отсутствуют.

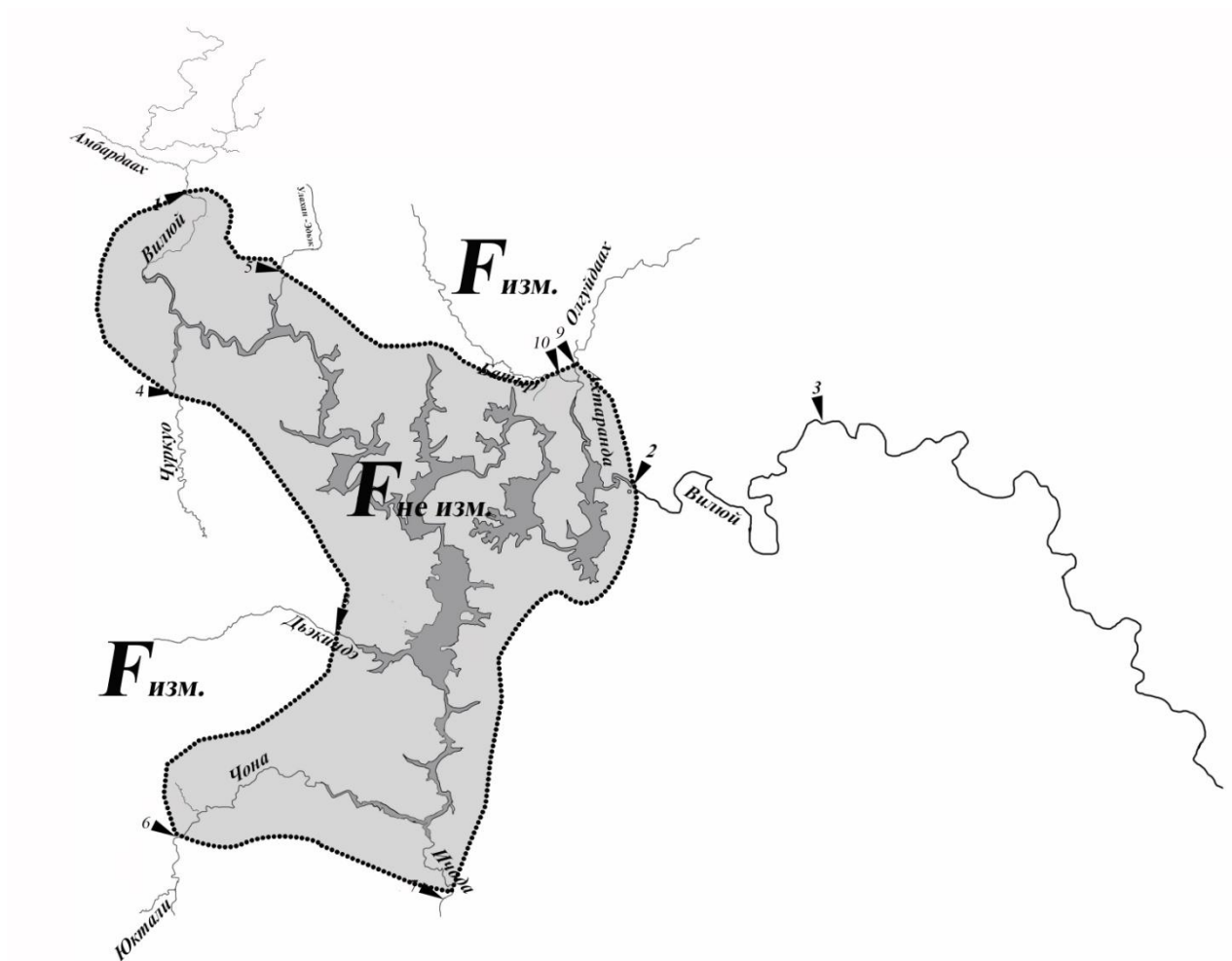


Рисунок 3.1 – Схема разделения Вилюйского водохранилища на площадь с наличием измеренных данных, и площадь на котором сток не измерялся.

Для определения суммарного измеренного стока $Q_{г.изм.}$ использовались значения средних годовых расходов по данным 8 постов : р.Вилюй – г.п. Усть-Амбардаах, р. Чуркуо-гпЛавинда, р.Улахан-Эдьэк - г.п. Дальний, р.Чона-гмсЧона, р. Ичода-г.п. Майский, р. Дьэкиндэ-г.п. Улар, р. Ахтаранда-г.п. Сюрэх-Хая, р. Батыр-г.п. Ясный. Схема их расположения показана на рисунке 2.3.

Суммарная площадь водосборов с измеренным стоком $F_{изм.} = 103290 \text{ км}^2$, что составляет 75,9% от площади водосбора Вилюйского водохранилища.

Величина значений средних годовых расходов бокового стока оценивалась по формуле[5]:

$$Q_{г.бок.} = q_{ср.бок.} \cdot F_{не\ изм.}, \quad (3.14)$$

где, $q_{ср.бок.}$ – модуль годового стока принимаемый для площади $F_{не\ изм.}$ на каждый год.

Для оценки модуля стока $q_{ср.бок.}$ были использованы данные по ежегодным модулям стока всех притоков Вилюйского водохранилища, за исключением р. Вилюй – г.п. Усть-Амбардаах, то есть по 7 створам притоков Вилюйского водохранилища.

Основанием для исключения данных по стоку основного притока являлось выявленные особенности формирования стока в верховьях р. Вилюй, которое проявляется в существенно большем значении модуля стока по сравнению с модулями стока рек, непосредственно впадающих в Вилюйское водохранилище и формирующих боковой сток.

Средний модуль стока для площадей $F_{не\ изм.}$ оценивалась как средняя арифметическая значения из модулей стока рек [5], впадающих в Вилюйское водохранилище

$$q_{ср.бок.} = \frac{\sum_{j=1}^7 q_j}{7}. \quad (3.15)$$

Результаты расчетов по формированию ряда среднегодовых расходов притока к Вилюйскому водохранилищу представлены в приложении 2. В таблице представлены ряды значений средних годовых модулей стока ($q_{ср.бок.}$) для площади, с которой формируется боковой приток ($F_{не\ изм.}$) за период с 1970 по 2014 год, соответствующие значения среднегодовых расходов не измеренного бокового притока ($Q_{г.бок.}$), значения среднегодовых расходов притока к водохранилищу ($Q_{г.прит.}$), которые в дальнейшем рассматривался как ряд естественного стока реки Вилюй в створе пос. Чернышевский.

4 Анализ изменений в режиме годового стока реки Вилюй под регулирующим воздействием водохранилища

4.1 Хронологические изменения значений годового стока

По результатам расчета притока воды к водохранилищу был сформирован ряд значений годового стока (раздел 3.3) соответствующий условиям естественного формирования расходов воды без учета влияния водохранилища в створе пос. Чернышевский. Этот ряд значений годового стока был сопоставлен с фактическими среднегодовыми расходами воды в пос. Чернышевский в условиях эксплуатации водохранилища за период 1970-2014 год. На рисунке 4.1 показаны совмещенные гидрографы естественного и зарегулированного стока.



Рисунок 4.1 – Совмещенные гидрографы естественного и зарегулированного стока реки Вилюй в створе п. Чернышевский

Из сопоставленных гидрографов видно, что с 1970 по 1973 год естественный сток превышает расходы зарегулированный, это говорит о том,

что в эти годы продолжалось наполнение водохранилища, которое в 1973 году было завершено. В 1974 году расход притока оказался впервые меньше расхода отдачи, это был первый год сработки водохранилища и начало периода нормальной эксплуатации Вилюйского водохранилища, в дальнейшие годы происходит чередование лет увеличения естественного стока, то есть лет сработки водохранилища, и лет уменьшения естественного стока, то есть лет наполнения водохранилища.

С 1974 года, за период нормальной эксплуатации, для каждого года была сделана оценка величины ежегодного изменения естественного годового стока под регулирующим воздействием водохранилища [1], были рассчитаны абсолютные отклонения естественного стока ΔQ в м³/с, и относительные изменения годового стока в %, которые рассчитывались по следующим формулам [5]:

$$\Delta Q(\text{м}^3/\text{с}) = Q_{\text{г.зар.}} - Q_{\text{г.ест.}}, \quad (4.1)$$

$$\Delta Q(\%) = \frac{(Q_{\text{г.зар.}} - Q_{\text{г.ест.}})}{Q_{\text{г.ест.}}} * 100\%, \quad (4.2)$$

Положительные значения ΔQ указывают на увеличение величины естественного стока под влиянием водохранилища, а отрицательные указывают на его уменьшение.

Результаты расчетов значений положительных и отрицательных величин изменения стока на каждый год представлены в таблице 4.1

На рисунке 4.2 показаны хронологические графики изменений величины ΔQ в м³/с и ΔQ в %.

Анализ показывает, что за период с 1974-2014 год, с продолжительностью 41 год, в 11 годах изменения ΔQ не превышает 5%, то есть изменения естественного стока были незначительными. В 17 годах наблюдалось уменьшение естественного годового стока реки Вилюй, наибольшее

уменьшения составляет 272 м³/с, 238 м³/с и 237 м³/с, наблюдались в 1988, 2014 и 1987 годах.

Таблица 4.1 – Величины погодичных изменений естественного годового стока реки Виллой в пос. Чернышевский в период нормальной эксплуатации Виллойского водохранилища

Изменение естественного стока										
Годы	$Q_{\text{Ест.}}$	$Q_{\text{Зарег.}}$	ΔQ , м ³ /с	ΔQ , %		Годы	$Q_{\text{Ест.}}$	$Q_{\text{Зарег.}}$	ΔQ , м ³ /с	ΔQ , %
1975	713	604	-109	-15,3		1974	933	1090	157	16,8
1976	663	579	-84	-12,7		1977	737	819	82	11,1
1978	846	800	-46	-5,5		1979	607	640	33	5,5
1980	643	581	-62	-9,6		1981	515	585	70	13,5
1982	677	620	-57	-8,4		1983	590	609	19	3,2
1986	530	465	-65	-12,3		1984	529	630	101	19,2
1987	714	487	-227	-31,8		1985	385	556	171	44,4
1988	910	638	-272	-29,9		1989	948	1120	172	18,2
1990	816	786	-30	-3,7		1992	636	675	39	6,0
1991	824	757	-67	-8,1		1994	701	768	67	9,6
1993	683	622	-61	-8,9		1998	1039	1090	51	4,9
1995	639	626	-13	-2,1		1999	725	751	26	3,6
1996	854	697	-157	-18,4		2003	710	753	43	6,1
1997	779	779	0	-0,1		2006	577	676	99	17,2
2000	827	763	-64	-7,7		2009	682	735	53	7,8
2001	766	745	-21	-2,8		2013	420	531	111	26,4
2002	933	925	-8	-0,8						
2004	717	711	-6	-0,9						
2005	704	646	-58	-8,2						
2007	829	640	-189	-22,8						
2008	1398	1300	-98	-7,0						
2010	563	513	-50	-8,9						
2011	519	513	-6	-1,1						
2012	518	510	-8	-1,6						
2014	919	681	-238	-25,9						

среднее	-80		среднее	81	
минимальное	-272	-31,8%	максимальное	172	44,4%

В эти годы уменьшение естественного стока реки Виллой под влиянием водохранилища достигала около 30% от его величины. Существенное увеличение естественного стока, превышающее 3% от его величины, наблюдалась в 13 годах. Наибольшее увеличение стока было в 1989, 1985 и 1974 годах, и составил 172 м³/с, 171 м³/с и 157 м³/с. В относительных величинах наибольшее увеличение наблюдалось в 1985 году 44,4%, то есть сток увеличился в 1,5 раза.

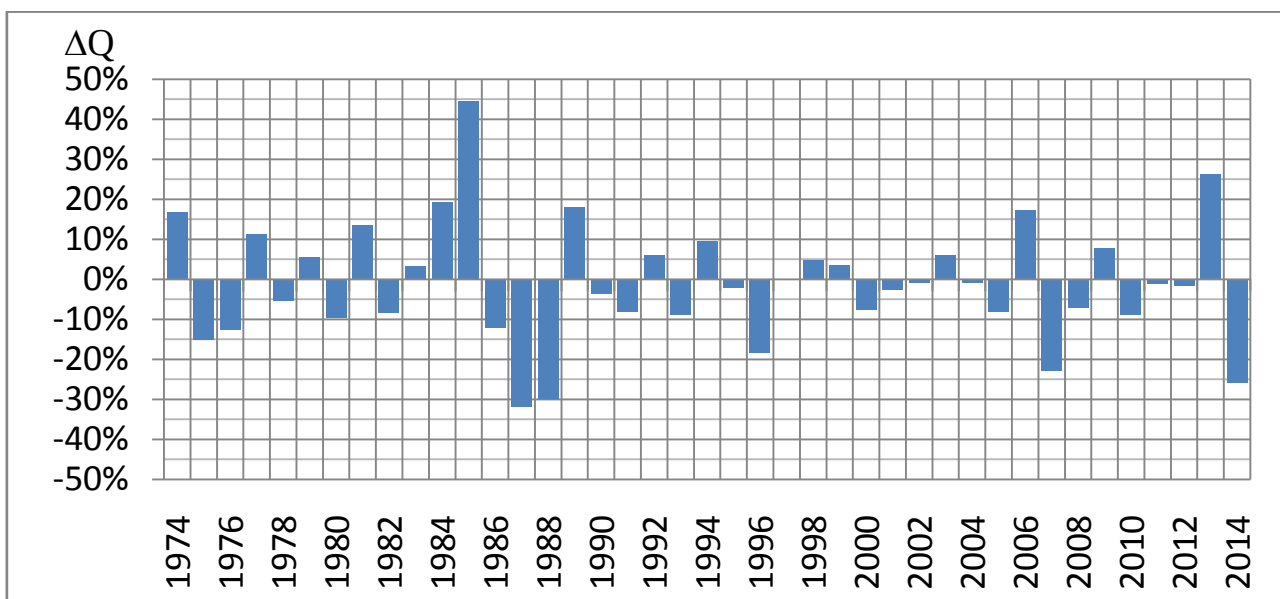
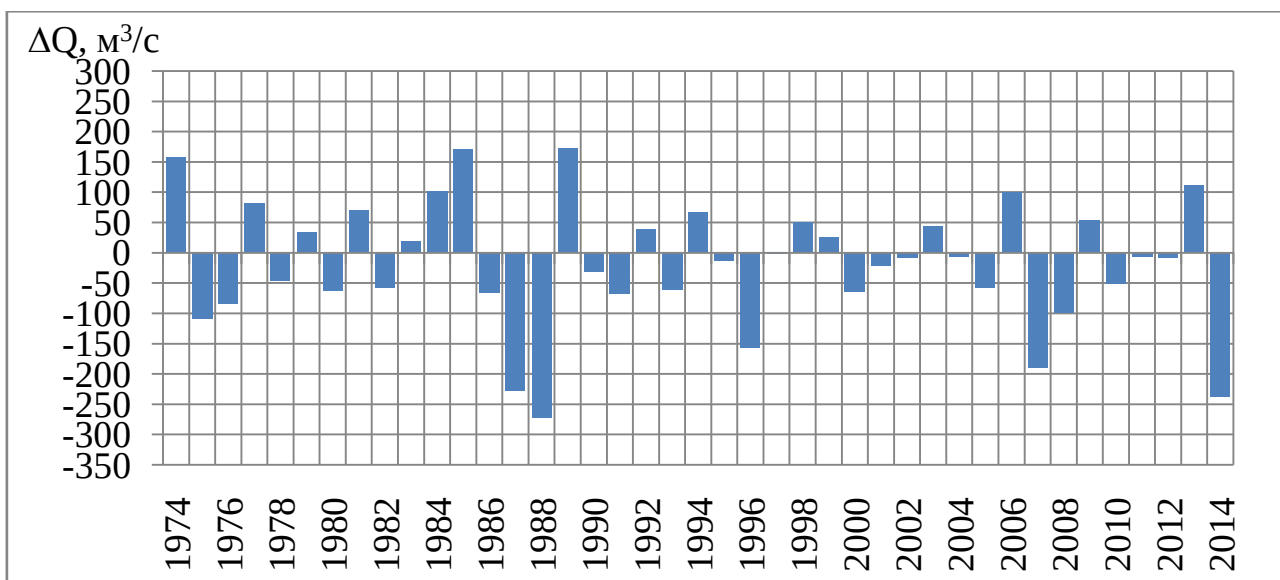


Рисунок 4.2 – Хронологические графики абсолютных ΔQ (м³/с) и относительных ΔQ (%) изменений величины естественного стока

На гистограммах хронологических изменений величины ΔQ хорошо видно, что в большинстве случаев положительные или отрицательные изменения годового стока чередуются и по продолжительности являются однолетними.

Трехлетние серии увеличения естественного стока наблюдались в 1986-1988 гг., а также с незначительным изменением по относительной оценке (ΔQ меньше 5%) в 1995-1997 гг., 2000-2002 гг. и 2010-2012 гг. Количество увеличений стока с продолжительностью два года наблюдалось три раза – в 1975-1976, 1990-1991 и 2007-2008 годах.

За весь период нормальной эксплуатации Вилуйского водохранилища, уменьшение естественного стока с трехгодичной серией наблюдался один раз в 1983-1985 годах. И двухлетняя серия в 1998-1999 годах.

На рисунке 4.3, на котором изображены интегральные разностные графики естественного и зарегулированного стока, а так же на хронологических графиках естественных и зарегулированных расходов, видно, что серия положительных изменений стока связана с длительным маловодным периодом стока на реке Вилуй, с 1979 по 1986 год. Эта трехлетняя серия относится к концу этой маловодной фазы водности. Трехлетняя серия уменьшения стока, наблюдалась после трехлетнего увеличения стока маловодного периода, и поэтому возникла необходимость восполнение запасов воды в водохранилище, затраченных на повышение стока маловодных лет.

При сопоставлении интегрально-разностных кривых (рисунок 4.3), ход графиков показывает, что в целом сохраняется синхронность и синфазность в колебаниях стока по маловодным и многоводным периодам, при этом наблюдается более позднее, на 1-2 года, окончание сроков фаз водности реки. Так длительный маловодный период естественного стока на реке Вилуй

заканчивается в 1986 году, а зарегулированного стока в 1988 году, на два года позже.

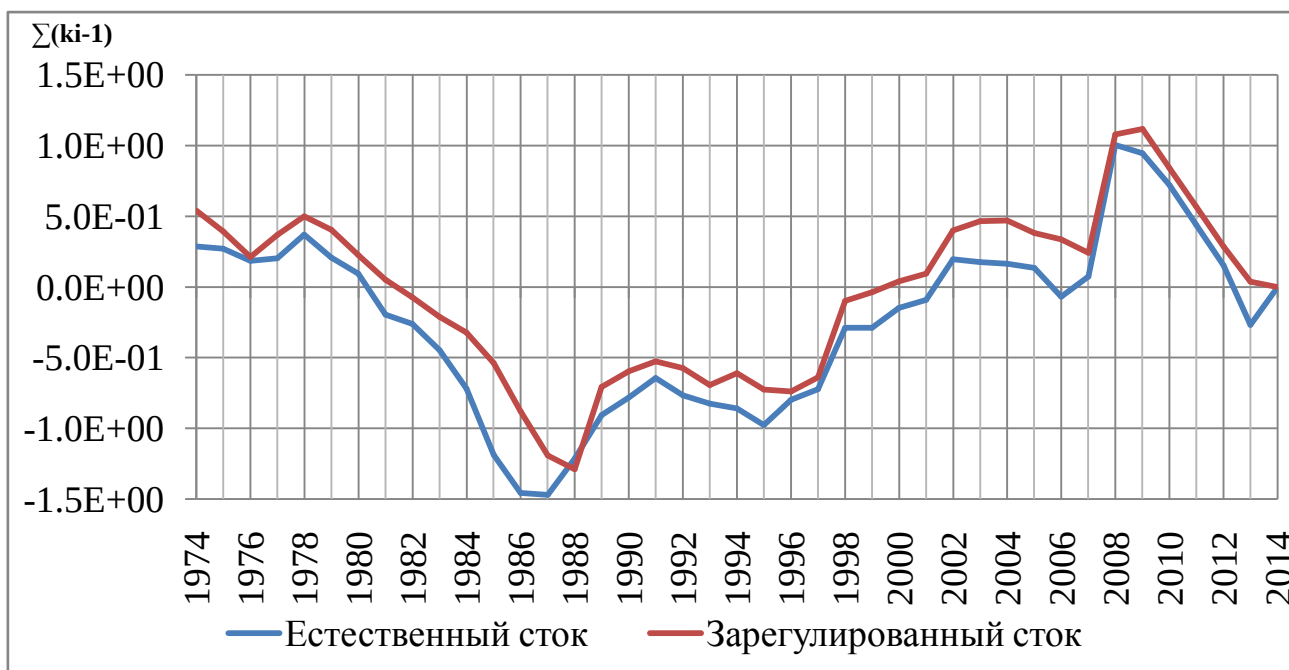


Рисунок 4.3 – Интегрально-разностные кривые естественного и зарегулированного годового стока реки Виллой в п. Чернышевский

Также маловодный период естественного стока с 1992 по 1995 год, в зарегулированных условиях заканчивается на год позже в 1996 году. Такое же запаздывание наблюдается в конце маловодного периода естественного стока в 2006 году, когда в зарегулированных условиях он заканчивается в 2007 году. Соответственно, сдвигу на 1-2 года на более поздний срок окончания маловодных периодов, происходит сдвижка на 1 год позже сроков начала многоводных периодов. В 1987 и 1996 годах в естественном стоке начинаются фазы повышенной водности на реке Виллой, а в зарегулированных условиях они начинаются 1988 и 1997 году.

Далее производился анализ связи между естественной водностью годового стока реки Виллой и его изменение под влиянием водохранилища. Построен график зависимости изменения зарегулированного стока от значений естественных годовых расходов воды (ΔQ от $Q_{г.ест.}$), который представлен на рисунке 4.4.

Хорошо заметно, что четкой зависимости между естественной водностью года ($Q_{г.ест.}$) и величиной изменения естественного стока (ΔQ) не наблюдается. Тем не менее, если не включать в рассмотрение самые многоводные годы, то проявляется тенденция увеличения естественного стока в маловодные годы и уменьшение естественного стока в средние и относительно многоводные года.

При этом в наиболее многоводные годы может проявляться как положительное, так и отрицательное изменение годового стока. Вероятно, всего это связано со степенью наполненности водохранилища к моменту появления многоводного года. Если водохранилище было полностью заполнено в предыдущие годы, в этом случае при наступлении многоводного года с большим стоком весеннего половодья, может возникнуть необходимость повышенной сработки водохранилища перед половодьем, что приводит к увеличению зарегулированного среднегодового расхода воды по сравнению с его естественным значением.

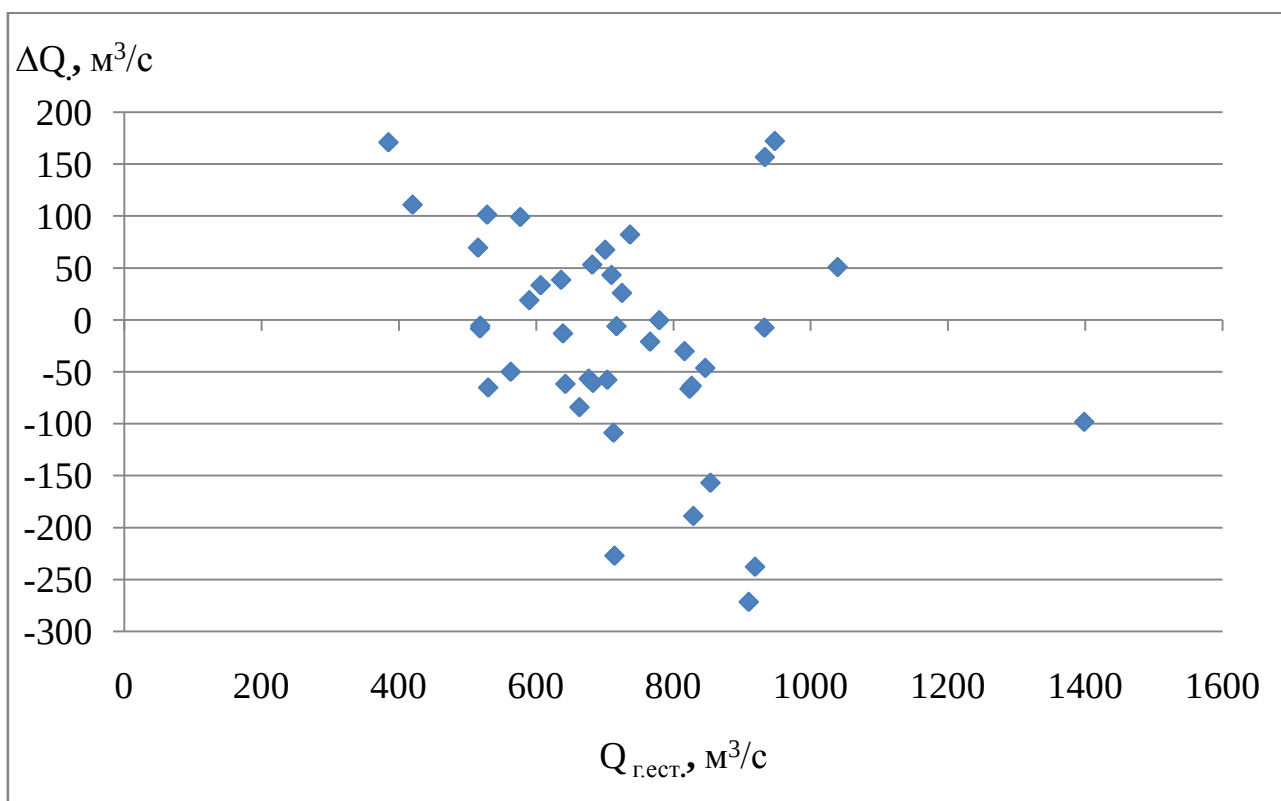


Рисунок 4.4 – Зависимость годового изменения стока под воздействием водохранилища и естественных годовых расходов воды реки Виллой в створе пос. Чернышевский.

4.2 Изменения статистических характеристик годового стока

Хронологический анализ изменения величины годового стока реки Виллой был дополнен анализом изменения статистических параметров и обеспеченных значений величин годового стока. По рядам естественного и зарегулированного стока реки Виллой в створе пос. Чернышевский были рассчитаны основные статистические параметры — норма годового стока ($\bar{Q}_{\text{ср.г.}}$), коэффициент вариации (C_v), соотношения коэффициента асимметрии и коэффициента вариации (C_s/C_v), и коэффициент корреляции между смежными значениями ряда ($R(1)$). Полученные значения параметров представлены в таблице 4.2 [6].

Таблица 4.2 – Статистические параметры естественного и зарегулированного стока реки Виллой на створе п. Чернышевский

Вид стока	N, лет	$\bar{Q}_{\text{год.}}, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	C_s	C_s/C_v , (расч)	$\sigma_{\bar{Q}_{\text{ср.г.}}}$	σ_{C_v}	σ_{C_s}	$R(1)$
Естественный	41	725	0,25	1,10	4,3	39,3	0,04	0,39	0,39
Зарегулированный	41	708	0,25	1,50	5,9	35,9	0,04	0,39	0,3

Сопоставление параметров показывает, что в результате регулирования Виллойского водохранилищем произошло незначительное уменьшение нормы годового стока. В естественных условиях средний многолетний годовой расход $\bar{Q}_{\text{ест.г.}} = 725 \text{ м}^3/\text{с}$, в зарегулированных условиях $\bar{Q}_{\text{зарег.г.}} = 708 \text{ м}^3/\text{с}$. Такое снижение нормы стока на 2,3 % полностью соответствует, возможному уменьшению за счет дополнительного испарения воды с водного зеркала созданного Виллойского водохранилища. Величина дополнительного испарения

($E_{\text{доп.}}$, мм) равна разнице испарения с водной поверхности ($E_{\text{в.}}$, мм) и испарения с суши ($E_{\text{с.}}$, мм), то есть

$$E_{\text{доп.}} = E_{\text{в.}} - E_{\text{с.}} \quad (4.3)$$

По данным [4] и [1] величины испарения с водной поверхности Вилуйского водохранилища может составлять 400-450 мм, за этот же период (май-сентябрь) испарение с суши в этом регионе оценивается величиной $E_{\text{с.}}=200-250$ мм, Исходя из этого дополнительные потери на испарение ($E_{\text{доп.}}$) составляет порядка 200мм. При площади водохранилища 2360 км^2 слой 200 мм соответствует величине среднегодового расхода на дополнительное испарения ($Q_{\text{доп.}}$) $15 \text{ м}^3/\text{с}$.

$$Q_{\text{доп.}} = \frac{E_{\text{доп.}} \cdot F_{\text{вдхр}}}{T_{\text{год}}} = \frac{200 \text{ мм} \cdot 2360 \text{ км}^2}{31,86 \cdot 10^6} \cdot 10^{-3} = 15 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.4)$$

Это показывает, что уменьшение среднего годового расхода реки Вилуй, после создания водохранилища, на $17 \text{ м}^3/\text{с}$, полностью соответствует возможным потерям воды на дополнительное испарение с водного зеркала водохранилища.

Расчетное значение коэффициента вариации естественного и зарегулированных рядов оказались равными $C_v = 0,25$, то есть несмотря на существенное изменения стока в отдельные годы (раздел 4.1) изменчивость ряда не изменилось.

Многолетнее регулирование стока водохранилища оказало влияние на увеличение асимметрии ряда, рассчитанное значение C_s увеличились с 1,10 до 1,50, а соотношение C_s/C_v с 4,3 до 5,9. Увеличение асимметрии в первую очередь объясняется влиянием регулирования на повышение стока в маловодные годы и его уменьшение в средние по водности и относительно многоводные годы (раздел 4.1).

В результате регулирования произошло снижение внутрирядной связи для ряда годового стока с 0,40 до 0,30. Причина того по всей видимости также является увеличение стока маловодных лет особенно тех, которые заканчиваются в наиболее длительный маловодный период с 1979-1986гг.

В целом изменение статистических параметров можно оценить как незначительное. Это подтверждает графическое сопоставление эмпирических и аналитических кривых естественного и зарегулированного стока реки Виллой в пос. Чернышевский (Рисунок 4.5)

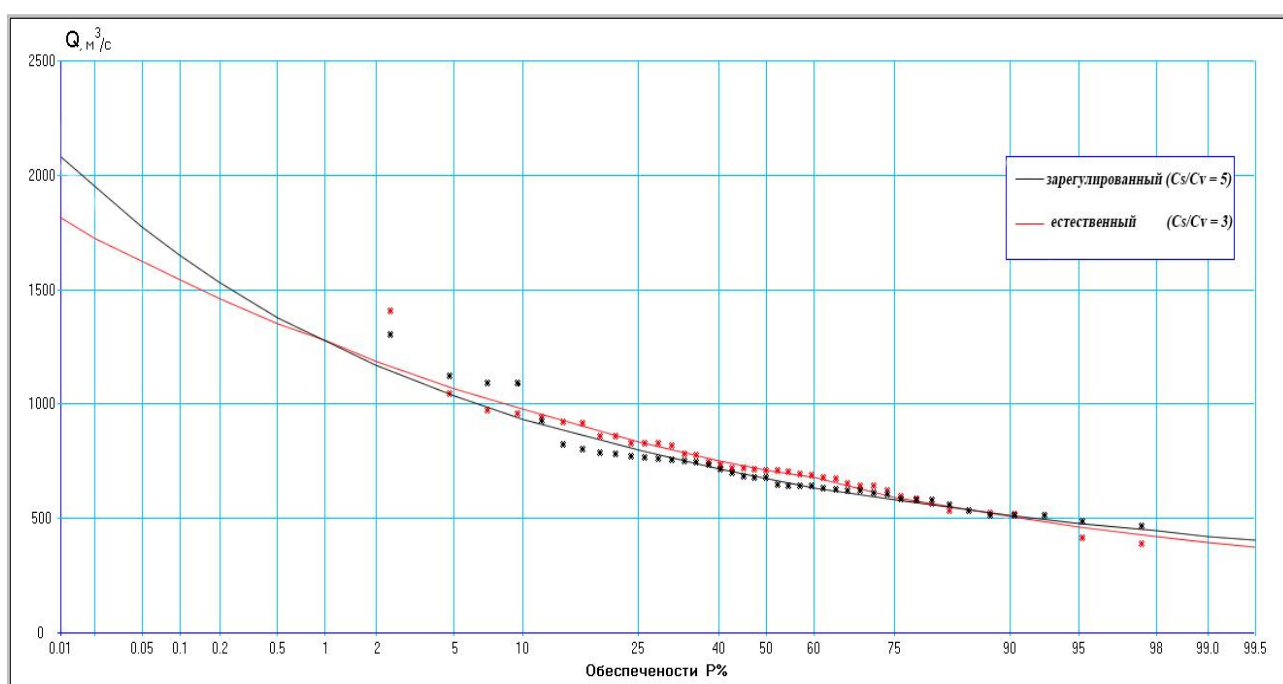


Рисунок 4.5 – Кривые обеспеченностей естественного и зарегулированного стока реки Виллой в створе пос. Чернышевский.

Из рисунка хорошо видно, что увеличение стока в наиболее маловодные годы и снижение стока в средние по водности годы, не существенно изменяет форму и координаты подобранных аналитических кривых обеспеченностей трехпараметрического гамма-распределения (Крицкого - Менкеля).

В таблице 4.3 приводятся и сопоставляются значения годового стока для восьми значений обеспеченности (от 0,1% до 99%) .

Таблица 4.3 – Значения годовых расходов воды естественного и зарегулированного стока заданных обеспеченностей.

Сток, м ³ /с	Обеспеченность, %							
	0,1	1	5	25	50	75	95	99
Естественный	1550	1275	1070	850	720	590	470	400
Зарегулированный	1650	1275	1030	800	680	580	480	425
ΔQ , %	-6,1%	0,0%	3,9%	6,3%	5,9%	1,7%	-2,1%	-5,9%

Для всего диапазона обеспеченностей отклонения зарегулированных расчетных значений от естественных, можно оценить как очень незначительные, в относительных величинах составляет 6,3%. Следует отметить что в диапазоне обеспеченностей от 5% до 90% отклонения расчетных значений зарегулированного расхода являются положительными, т.е. регулирование ведет к незначительному увеличению годового стока. Для интервалов меньше 1% и больше 90% изменения отрицательные, т.е. незначительное увеличение расчетных значений годового стока. Это соответствует характеру изменения асимметрии рядов годового стока реки Виллой под влиянием водохранилища.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным о средних годовых расходах воды 8 рек, впадающих в Вилюйское водохранилище, был сформирован ряд средних годовых расходов притока воды в Вилюйское водохранилище, в период с 1970-2014гг. Данный ряд значений средних годовых значений притока рассматривался как ряд естественного стока реки Вилюй в пос. Чернышевский. Сопоставление расчетного ряда естественного стока с рядом значений зарегулированного стока позволяет сделать следующие выводы:

1. Период нормальной эксплуатации Вилюйского водохранилища начинается с 1970 года, до этого происходило наполнение водохранилища до величины нормального подпорного уровня.

2. Сопоставление и хронологический анализ значений годового естественного и зарегулированного стока показало, что за период с 1974-2014 год из 41 значений существенные изменения значений годового стока, превышающие 5%, произошли в 33 годах, при этом значительное увеличение стока произошло в 17 годах, а уменьшение было в 16 годах.

3. Наибольшее увеличение стока произошло в 1989 году и составило 172 м³/с, по относительной оценке в 2013 году сток увеличился на 26%. Отрицательные изменения стока, как правило, наблюдались в средние и многоводные годы. Наибольшее суммарное уменьшение произошло в 1988 году, и составил 272 м³/с, в 1987 году сток уменьшился на 32%. Уменьшение и увеличение годового стока, как правило, происходит поочередно, лишь в конце

длительных маловодных периодов наблюдаются двухлетние и трехлетние серии повышения годового стока, сменяющиеся двухлетними и трехлетними сериями уменьшения стока. Наиболее отчетливо серийность в изменении годового стока проявилось в конце наиболее длительного маловодного периода с 1959-1976 год.

4. Несмотря на достаточно существенное изменение стока в отдельные годы изменение статистических параметров и расчетных обеспеченных значений годового стока реки Виллой под воздействием водохранилища можно оценить как незначительное. Норма стока уменьшился на 2,3%. Коэффициент вариации остался неизменным ($C_v = 0,25$), асимметрия ряда годового стока незначительно увеличилась с $C_s = 1,10$ до $C_s = 1,50$. Соотношение коэффициента асимметрии и коэффициента вариации при подборе по кривым обеспеченности увеличилось с $C_s/C_v = 3$ до $C_s/C_v = 5$.

Для расчетных значений годового стока в диапазоне обеспеченностей от 1% до 90% произошло снижение в пределах ?% от естественных значений годового стока. Для расчетных значений с обеспеченностью менее 1% и более 90% регулирование проявилось в увеличении естественных значений годового стока в пределах ?%.

Таким образом, несмотря на то, что в отдельные года в результате регулирования Виллойского водохранилища, изменение значений средних годовых расходов может происходить достаточно существенно, изменение статистической структуры, значений статистических параметров и расчетных значений годового стока можно оценить как незначительное.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1, Вып. 16, Бассейны Лены (среднее и нижнее течение), Хатанги, Анабара, Оленека, Яны, Индигирки. Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 595 с.
2. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1985 г. 4.1, Т.1 РСФСР, Вып. 16. / Отв. ред. Р.Г.Гаева. Обнинск, Изд-во ВНИИГМИ-МЦД. - 455 с.
3. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Т. 17, Лено-Индигирский район.Л.: Гидрометеиздат. - 407 с.
4. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных вод СССР, Т. 17, Лено-Индигирский район.Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 649 с.
5. Нежиховский Р.А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ – Л.: Гидрометеиздат, 1976, 191 с.
6. Свод правил 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», 2003 г.
7. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология». – СПб.: изд. РГГМУ. 2007. – 279 с.
8. Интернет источник «Вода России» <http://water-rf.ru>
9. Интернет источник «Государственный водный реестр» <http://www.sur-base.ru/water-base/>

10. Интернет источник «Горнопромышленный портал России»
<http://www.miningexpo.ru/>
11. Интернет источник ОАО «РусГидро»
<http://www.lhp.rushydro.ru/company/objectsmap/>
12. Интернет источник РАО «Энергетические Системы Востока»
<http://www.rao-esv.ru>