



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)

**Организация сети гидрологических
наблюдений на водосборах
полугорных и горных рек**

На тему

Исполнитель

Плеханова Анастасия Васильевна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат технических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат технических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович

(фамилия, имя, отчество)

«12» 06 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

	Введение	4
1	Состояние сети гидрологических наблюдений в горных и полугорных районах	6
1.1	Историческая справка о создании гидрологической сети	6
1.2	Современное состояние гидрологической сети наблюдений	9
2	Организация гидрометеорологической сети	12
2.1	Выбор участка реки для организации гидрологического поста	12
2.2	Метод Карасёва И.Ф.	14
	Градиентный критерий	15
	Корреляционный критерий	16
	Репрезентативный критерий	17
	Оптимальное число гидрологических постов	17
3	Формирование базы данных для исследования	19
3.1	Выбор водосборов для апробации методик организации сети наблюдений	19
3.2	База данных для исследования	22
4	Апробация подходов организации сети наблюдений	24
4.1	Подготовка данных к исследованию	24
	Восстановление данных	24
	Вычисление статистических характеристик по рядам наблюдений	26
	Проверка рядов на однородность	29
4.2	Определение центров водосбора с помощью программы <i>ArcGIS</i>	31
4.3	Построение карта-схем в программе <i>Surfer</i>	33
	Основные принципы построения карт изолиний	33
	Построение карты-схемы с изолиниями модуля стока и коэффициента вариации с помощью метода Кригинга	34

	Построение карт-схем с изолиниями модуля стока различными методами интерполяции	37
	Расчет градиента изменения стока с помощью <i>Surfer</i>	39
4.4	Метод Карасёва И.Ф	41
	Расчет по методике Карасёва И.Ф для верхнего течения Оби	41
	Расчет по методике Карасёва И.Ф для рек Северного Кавказа	45
4.5	Использование 3D моделей для организации сети на водосборах полугорных и горных рек	48
	Актуальность использования 3D моделей	48
	Построение карт-схем в <i>ArcGIS</i> в 2D	48
	Пересчет расстояния с учетом рельефа	52
	Пересчет по методике Карасёва И.Ф с учетом 3D расстояния	54
	Построение карт-схем в <i>ArcGIS</i> в 3D	55
	Заключение	58
	Список использованных источников	59
	Приложения	61

Введение

Актуальность работы

В данной работе рассматриваются сразу две немаловажные проблемы. Первая из них – экономически выгодная организация сети гидрологических наблюдений, которая при этом способна предоставлять репрезентативные данные.

Равномерность размещения постов – основное требование, которому должна удовлетворять опорная сеть для интерполяции стока в пределах гидрологического района. Однако равномерное развитие сети без учёта перспектив строительства и комплексного использования не может считаться экономически оправданным.

Организация гидрологических наблюдений на водосборах полугорных и горных рек является актуальной темой из-за необходимости контроля за водными ресурсами. Организация сети на изучаемых водосборах позволит собирать информацию о количестве воды и ее качестве, а также предсказывать возможные риски для гидротехнических сооружений и населения, связанные с изменением уровня воды в реках. Это поможет сократить ущерб, вызванный наводнениями и другими катастрофами, а также обеспечить эффективное использование водных ресурсов и их защиту от истощения.

Цель исследования заключается в выявлении оптимального числа гидрологических постов, приходящихся на горные и полугорные районы. Также необходимо рассмотреть распределение стока по исследуемым территориям с помощью созданной 3D модели.

Объектом исследования является гидрографическая сеть (реки, речные системы) в выбранных полугорных и горных районах России, а именно верхнее течение Оби и реки Северного Кавказа.

Основные задачи исследования:

а) собрать необходимые гидрографические характеристики и провести проверку на однородность;

б) изучить метод, представленный Карасёвым И.Ф, для организации сети гидрологических наблюдений и выполнить необходимый расчёт;

в) создать 3D модель выбранных территорий и выявить различия некоторых характеристик от 2D модели;

г) с учётом новых данных пересчитать полученные ранее значения по методу Карасёва И.Ф. и получить наиболее достоверный результат;

д) сравнить и проанализировать полученные результаты.

Научная новизна данной работы заключается использовании и создании 3D модели, с помощью которой происходит расчёт необходимых характеристик, которые впоследствии сравнятся с данными, полученными обычным расчётом на 2D модели.

1 Состояние сети гидрологических наблюдений в горных и полугорных районах

1.1 Историческая справка о создании гидрологической сети

Гидрология занимается изучением различных свойств гидросферы и ее составляющих, в первую очередь – океанов и морей, рек, ледников, озер – и их взаимодействие с окружающей средой. На ранней стадии развития науки она подразделялась на две части – на гидрологию моря и гидрологию суши.

Гидрология суши как самостоятельная наука сформировалась только концу XX столетия, хотя ее основы были заложены гораздо раньше. Например, самые первые сведения относятся V в. до нашей эры, когда появилось описание Нижнего Днепра до порогов [1].

Систематические изменения начались при правлении Петра I, когда по его указанию были произведены описания большинства рек с целью их судоходных условий. Уже в 1715 году был открыт первый водомерный пост на реке Неве у Петропавловской крепости.

В 1798 г. учреждается управление водных коммуникаций, в связи с этим начинается более полное исследование и описание водных путей. Проводятся съемки наиболее крупных рек, таких как Нева, Днепр, Дон, Обь и Лена.

В 1818 г. данным управлением выпущено предписание, в котором объявляется об обязательных ежедневных измерениях уровней воды. В данный период были измерены и первые расходы воды, а скорости течения определялись обычными поплавками.

Но существенной проблемой было то, что все измерения проводились по территории очень разрозненно и не могли стать основой для изучения закономерностей гидрологического режима, а лишь давали представление общего вида.

В 1875 г. появилась «Навигационно-описная комиссия министерства путей сообщения» для изучения рек. В результате деятельности данной комиссии были изданы планы и продольные профили многих рек: Северной Двины, Днепра, Камы и др. Также по данным рекам были измерены скорости течения и расходы воды. По полученным данным этих работ были выпущены описания проведенных исследований, в которых также указывалось обязательным действием – установить наибольшее количество водомерных постов, главным образом, на больших реках для лучшего их изучения. Таким образом данная комиссия заложила основы методики водных исследований.

Далее изучение рек проводилось с помощью «Управления внутренних водных путей и шоссейных дорог министерства путей сообщения», которое было создано в 1899 г. и состояло из нескольких объединений, в которую также входила и вышеупомянутая комиссия. Провелись повторные, более полные исследования, в результате чего были выяснены гидрологические особенности рек. К 1916 г. вышло 65 выпусков, в которых были указаны описание рек и озер, сведения о проведенных гидрометрических измерениях и работах.

В это же время «Министерством путей сообщения» были проведены изыскания в целях улучшения судоходных условий крупных рек, впадающих в моря. Данные результаты издавались в виде сборников «Материалы по описанию русских коммерческих портов» до 1902 г., после чего были переименованы в «Труды отдела торговых портов министерства торговли и промышленности». В данных сборниках указывались основные гидрографические характеристики: планы с промерами глубин, сведения об уровнях, расходах и режимах наносов.

В первые годы после Великой Октябрьской революции в 1919 г., с помощью Академии наук СССР был создан Государственный Гидрологический институт. Именно тут развернулись методические работы по гидрологическим прогнозам, исследованию ледового режима рек и озер, по морским исследованиям, гидрохимии и многому другому.

Создание Гидрометеорологической службы СССР (1929 г.) способствовало развитию сети гидрологических станций, установлению единой методики для выполнения работ и, в первую очередь, расширению программы исследований водных ресурсов. Благодаря всем этим действиям число гидрометеорологических станций, ведущих наблюдения за режимом водных объектов на июнь 1941 г. достигло 4 463. В связи с быстрыми темпами роста развития гидрологии возросла также и потребность в измерительных приборах. Поэтому к 1941 было создано 4 завода по выпуску гидрометеорологических приборов [2].

С началом Великой Отечественной войны Гидрометеорологическая служба была переведена в состав Красной Армии, и выполняла не только прежние обязанности, но и выполняла задания для военных нужд.

В послевоенные годы восстановление и развитие народного хозяйства потребовали еще большего расширения гидрологических изысканий и исследований. Гидрологические работы проводили на больших реках, таких как Днепр и Волга, с целью создания на них гидроэнергетического строительства. В результате этого в 1967 г. сеть наблюдений насчитывала 11 039 гидрометеорологических станций и постов.

На Гидрометеорологическую службу было возложено выполнение ряда новых задач: создание служб контроля загрязнения атмосферы и водных объектов, активных воздействий на гидрометеорологические и геофизические процессы и явления. Огромное развитие получили спутниковые методы исследования в области метеорологии, гидрологии, океанологии, изучения природных ресурсов. Послевоенные годы были лучшим этапом развития и процветания Гидрометеорологической службы за всю историю ее существования. С развалом СССР целостность всех структур была разрушено, это не прошло мимо и Гидрометеорологической службы.

В настоящее время Федеральная служба по гидрометеорологии исполняет функции по оказанию государственных услуг, проводит мониторинг окружающей среды, ее загрязнения. Деятельность Росгидромета, в первую

очередь, направлена на повышение качества жизни населения страны, повышение уровня безопасности населения и экономики в целом.

1.2 Современное состояние гидрологической сети наблюдений

Если рассматривать изменения, произошедшие в составе гидрологической сети, то необходимо упомянуть обзор состояния системы гидрологических наблюдений от ГГИ [3]. В данном обзоре представлены общие сведения о количестве действовавших постов в разное историческое время.

Таблица 1.2.1 – Динамика численности постов гидрологической сети с 1986 – 2020 гг.

Год	Количество действовавших постов	
	Всего	Речных
1986	4481	3967
1992	3670	3262
1995	3423	3037
1997	3114	2752
1999	3053	2703
2000	3059	2708
2005	3086	2731
2007	3080	2726
2010	3069	2715
2011	3071	2719
2012	3071	2719
2013	3044	2698
2014	3040	2701
2015	2992	2656
2016	2991	2655
2017	2991	2651
2018	2978	2640
2019	2983	2646
2020	2998	2661

Для более удобного чтения таблицы, по ней был составлен график, по которому можно заметить отрицательную тенденцию количества речных постов по территории России. Максимальное количество речных постов было достигнуто в 1986 году, а к 2020 их количество уменьшилось практически в 2 раза.

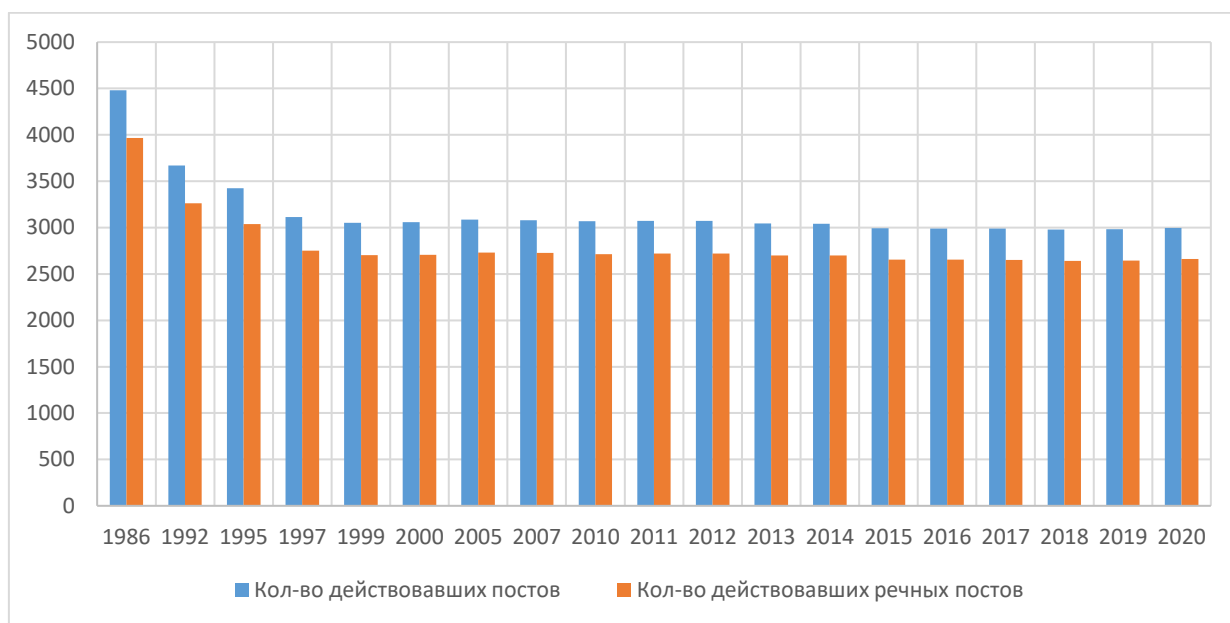


Рисунок 1.2.1 – Динамика численности постов гидрологической сети.

С 2018 года количество речных постов вновь начало увеличиваться, и к 2020 году появилась 21 новая станция гидрологических наблюдений.

Наибольший интерес для данной работы представляет рассмотрение полугорных и горных районов территории России. Для этого следует рассмотреть следующие УГМС: Северо-Кавказское, Обь-Иртышское и Западно-Сибирское.

В таблице 1.2.2 приведены данные о количестве функционирующих гидрологических постов (ГП) и озерных гидрологических постов (ОГП). Северо-Кавказское УГМС наиболее освещено гидрологическими наблюдениями, причем практически половина ГП с измерением наносов, что очень важно для южных горных рек. Следует также отметить, что автономных наблюдений не производилось.

Можно также заметить, что имеются временно законсервированные, неработающие станции. Необходимо отметить, что временное прекращение наблюдений влечет за собой невосполнимые потери информации о режиме объектов поверхностных вод, которые впоследствии будет тяжело восстановить.

Таблица 1.2.2 – Состав действующей гидрологической сети по состоянию на 31.12.2020 гг.

УГМС	Всего	ГП	ОГП	С измерением наносов	Неработающие		Автономные ГП
					ГП	ОГП	
Северо-Кавказское	245	230	15	111	5	1	0
Обь-Иртышское	155	143	12	33	2	1	0
Западно-Сибирское	217	193	24	70	1	0	0

Стоит отметить важный факт, что имеются посты, на которых наблюдения производились с отступлениями от требований наставлений и работ. Основными причинами являются: увольнение или болезнь сотрудника, или отсутствие необходимого оборудования для проведения исследования. Проблемы с данными также наблюдались в период зимнего времени из-за удаленности ГП и недоступности к средству передвижения.

2 Организация гидрометеорологической сети

Сеть гидрологических пунктов делится на два вида: основную и специальную. Основная сеть состоит из пунктов, действующих постоянно или длительное время (реперные и периодические посты соответственно). Данная сеть предназначена для изучения закономерностей гидрологического режима [4].

Примерами реперных (режимных) постов могут являться реперные (вековые) посты, которые действуют постоянно и используются прежде всего для изучения многолетних изменений гидрологического режима рек. Такие посты могут быть закрыты лишь в особых случаях, так как основная их задача – предоставлять бесперебойные данные.

При рассмотрении периодических (оперативных) постов, нужно уточнить, что они работают с ограниченным периодом времени и чаще всего они являются сезонными. Обычно их организуют на реках, которые могут быть подвержены пересыханию или перемерзанию, а также в период максимальных паводков.

Специальная сеть предназначена в большей степени для решения научных практических задач. Основной задачей такой сети является оповещения населения об особо опасных гидрологических явлениях, которые могут привести к человеческим жертвам и экономическому ущербу. После выполнения своих задач такие посты могут быть закрыты после согласования с ГГИ.

2.1 Выбор участка реки для организации гидрологического поста

Место, выбранное для проведения гидрологическим наблюдениям должно соответствовать трем главным условиям:

- режим реки в выбранном месте должен быть характерным для большого района, чтобы впоследствии можно было использовать полученные данные для гидрологического прогнозирования и необходимых расчетов

- выбранный участок должен быть удобен для производства наблюдения и обеспечивать точность данных в различных условиях

- рядом с участком должны находиться необходимые средства связи

Рассмотрим более подробно перечисленные выше пункты. В первую очередь, как уже было отмечено выше, в данной работе наибольший интерес вызывают реки полугорных и горных районов России, поэтому требования к выбору участка будут описаны именно для таких регионов.

На горных реках выбранный участок должен располагаться выше порогов и стремнин. Течение должно быть относительно спокойным, а русло ровным, не загроможденным камнями.

Выше и ниже выбранного участка не должны впадать крупные притоки, находиться острова, которые могут повлиять на косоструйность течения, заторы и зажоры льда и многие другие явления, которые нарушают правильность и однообразие течения.

Также выше и ниже участка не должен осуществляться сброс промышленных и канализационных вод, и других отходов производства.

Берега и русло реки должны быть наиболее устойчивыми, которые не подвергаются чрезмерному зарастанию растительностью. Пойма должна быть наименьшей ширины без притоков, стариц, возвышенностей и свободная от кустарниковой растительности.

Необходимо отметить, что неудачный выбор участка влечет за собой перенос наблюдений на другое место, что в свою очередь приведет к большим материальным потерям и, возможно, к прерыванию ряда наблюдений.

Подводя итог, можно сказать, что, выбирая место наблюдений нужно оценивать не только природные условия, но и возможность осуществления различного рода искусственных мероприятий, таких как расчистка русла и поймы, устройство переправы и многое другое.

2.2 Метод Карасёва И.Ф

Методика оптимизации режимной гидрологической сети была опубликована в Трудах ГГИ, выпуск 164 за 1968 год [5].

Задача обоснования принципов рационального размещения сети заключается в определении такой густоты пунктов наблюдений, которая была бы достаточной для получения достоверных и репрезентативных гидрологических характеристик и не требовала бы открытия чрезмерного количества постов с большим персоналом, приводящим к неоправданным затратам материальных ресурсов.

Основная функция режимных постов – наблюдение за стоком рек. Водные ресурсы любой территории принято характеризовать величиной годового стока Y и его нормы Y_0 [л/сек] с 1 км² площади водосбора.

Речной сток обусловлен в первую очередь климатическими факторами и подчинен зональным закономерностям. По мере сокращения площади водосбора все большее значение приобретают азональные факторы, которые создают отклонения от зональных характеристик стока.

Таким образом, для рационального размещения сети необходимо выделить частное и общее в природе гидрологического процесса, зональные и азональные его элементы.

Принципы гидрологического районирования – это одновременно и принципы размещения сети. Цель гидрологического районирования заключается в установлении однородных по физико-географическим и гидрологическим условиям районов. Основным принципом районирования является однородность условий формирования стока.

Гидрологическое районирование территории ведется прежде всего с учетом малых и средних речных водосборов, отражающих зональные изменения стока. Эти реки составляют подавляющую часть (98 – 99 %) всей русловой сети.

На базе гидрологического районирования должны быть определены исходные данные для обоснования оптимальной сети. В качестве таких характеристик выступают:

- норма стока Y_0 в пункте наблюдений;
- градиент стока ∇ ;
- коэффициент вариации годового стока C_v ;
- морфологические характеристики речной сети;
- нормированная корреляционная функция для годового стока рек $r(l)$,

где l – расстояние между центрами водосборов.

Исходные данные, в данном случае, представляются результатами наблюдений. Норма, градиент и коэффициент вариации стока определяются по методу гидрологической аналогии с изученными районами. Y_0 и ∇ могут быть установлены по картам нормы стока, составленной К.П. Воскресенским.

Градиентный критерий

Или как его еще называют – критерий надежности информации о пространственных изменениях нормы стока, задачей которого является обеспечить условия, при которых изменение нормы стока на расстоянии l между центрами бассейнов превышало бы в 2 раза среднюю квадратическую ошибку.

Погрешность определения нормы стока устанавливается по следующей формуле,

$$\sigma_0 = \frac{C_v}{\sqrt{N}}, \quad (1)$$

где C_v – коэффициент вариации;

N – число лет наблюдений.

Расчетная площадь водосбора должна составлять:

$$F_{\text{град}} \geq \frac{8 \cdot \sigma_0^2}{\nabla_p^2} \cdot Y_0^p, \quad (2)$$

где ∇_p^2 – градиентное значение модуля стока из программы *Surfer*

Y_0^p – среднее значение модуля стока по исследуемым водосборам

Таким образом, полученный градиентный критерий выражает минимальный размер водосбора, при котором наблюдения на постах выявляются изменения нормы стока, обусловленные географической зональностью или высотной поясностью климатических факторов.

Корреляционный критерий

Для выбранных рек вычислялись коэффициенты корреляции годового стока в зависимости от расстояния между гидрологическими постами. Таким образом получается нормированная корреляционная функция.

Положительные значения корреляции являются показателем синхронных колебаний стока, и, напротив, отрицательные свойственны их асинхронности. Для рек с близко расположенными бассейнами имеет место, как правило, положительная корреляция стока.

Именно область положительных значений корреляционных функций характеризует степень синхронности годового стока в пределах гидрологического района.

Одна из вспомогательных расчетных формул имеет вид:

$$a = \frac{1}{L_0}, \quad (3)$$

где L_0 – радиус корреляции, при котором корреляционная функция переходит через точку нулевого значения.

Расчетная площадь водосбора рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{кор}} \leq \frac{\sigma^4}{a^2 \cdot C\nu^2} \quad (4)$$

Корреляционный критерий дает верхнюю границу для водосбора, контролируемого режимным постом.

Репрезентативный критерий

Данный критерий является обязательным условием для размещения гидрологической сети. Его несоблюдение делает невозможным получение зональных характеристик стока.

Площадь, приходящаяся на один гидрологический пост, не должна быть очень малой, иначе информация, получаемая с него, будет отражать не общие зональные закономерности стока, а местные особенности, т.е. не будет репрезентативной.

Найти репрезентативный критерий не сложно, необходимо построить график, по оси X у которого откладывается площадь водосбора, а по оси Y – модуль стока. Там, где точки на графике переходят из хаотично разбросанных в прямую линию и является точкой репрезентативной площади.

Оптимальное число гидрологических постов

Критерии оптимальной густоты гидрологической сети предполагают размещение опорных постов в каждом конкретном речном бассейне. Также критерий может использоваться для фоновой оценки состава и необходимости развития сети в отдельных районах, зонах или даже на всей территории страны.

Оптимальная площадь $F_{\text{опт}}$, приходящаяся на один режимный пост, должна находится в диапазоне:

$$F_{\text{репр}} < F_{\text{град}} \leq F_{\text{опт}} \leq F_{\text{кор}} \quad (5)$$

Если данное соотношение между критериями нарушено, то Карасевым рекомендуется использовать следующие соотношения:

- при $F_{\text{репр}} < F_{\text{град}} < F_{\text{корел}}$ принимается $F_{\text{град}} < F_{\text{опт}} < F_{\text{корел}}$;
- при $F_{\text{репр}} < F_{\text{корел}} < F_{\text{град}}$ принимается $F_{\text{корел}} < F_{\text{опт}} < F_{\text{град}}$ (6)
- при $F_{\text{корел}}, F_{\text{град}} < F_{\text{репр}}$ назначаем $F_{\text{репр}} < F_{\text{опт}}$.

Общее число режимных стоковых постов в речном бассейне площадью F можно определить по формуле:

$$N_{\text{опт}} = F / F_{\text{опт}}. \quad (7)$$

Нарушение данной цепочки неравенств приводит к тому, что сеть постов не будет оптимальной при заданном уровне погрешности σ .

3. Формирование базы данных для исследования

3.1 Выбор водосборов для апробации методик организации сети наблюдений

Как уже было сказано выше, наибольший интерес для данной работы представляет рассмотрение полугорных и горных районов территории России. Поэтому были выбраны следующие УГМС: Северо-Кавказское, Обь-Иртышское и Западно-Сибирское.

Разберем каждое УГМС более подробно, и начнем с Северо-Кавказского.

Большой Кавказ протягивается с северо-запада на юго-восток и в длину составляет почти 1500 км [6]. Он образован системой хребтов, вытянутых параллельно друг другу.

Продвигаясь на север от гор располагается терско-кумская низменность, где протекают большинство рассмотренных далее рек. Поверхность ее плоская с высотами от 28 до 150 м, пологая наклонена к востоку.

Важным фактором, влияющим на климат Северного Кавказа, является циркуляция атмосферы. Поступающий арктический воздух сменяется морскими воздушными массами. Влияние на циркуляцию воздуха оказывает система хребтов Большого Кавказа, пересекающая всю территорию в широтном направлении.

Характерным для климата данной области является его континентальность, а именно: сухое и жаркое лето, значительные морозы зимой. Весна и осень непродолжительны. В конце октября – начале ноября наблюдается устойчивый переход температуры через 0°C.

Наиболее суровая зима наблюдается в северных районах, откуда берут начало такие реки, как Терек, Самур и Сулак. Здесь почва может промерзнуть на глубину до 1 метра. Снежный покров составляет от 10 до 20 см.

Во второй половине марта температура воздуха переходит через 0°C. С повышением температуры увеличивается и испарение с поверхности почвы, что приводит к иссушению почвы и выгоранию травы. Для лета этой области характерны часты суховеи и пыльные бури.

Распределение осадков крайне неравномерно, особенно это выражается для горной зоны. Количество осадков за год уменьшается с юга на север. На равнинной части количество осадков достигает 400 – 600 мм. В горах может достигать 900 мм, в некоторых пунктах до 1300 мм.

На характер растительного покрова большое влияние оказывает деятельность человека. В результате вырубки леса на обширных территориях возникли вторичные степи и луга. Основными типами растительности Кавказа являются: степная, полупустынная и пустынная, лесная и высокогорная.

Гидрографическая сеть по территории распределяется весьма неравномерно. Наибольших величин коэффициент густоты сети достигает в горных районах северного склона Большого Кавказа. Наиболее хорошо изучены большие реки – длиной более 500 км и средние реки от 100 – 200 км.

Объ-Иртышское УГМС [7] представляет собой систему из Уральских гор и прилегающих к ним территориях. Уральские горы характеризуются небольшой высотой. Поднятия Урала большей частью не превышают отметок 600 м над уровнем моря, но отдельные возвышенности могут достигать 1600 м. Уральский хребет расчленен на ряд меридионально вытянутых хребтов, гряд и увалов.

Несмотря на свою небольшую высоту, Уральские горы становятся рубежом, при переходе через который происходит изменение всех природных условий, как метеорологических, так и гидрологических.

В рассматриваемой области наблюдается резко континентальный тип климата, который обусловлен большими колебаниями температуры воздуха, как в году, так и в течении суток.

Наблюдается многоснежная суровая зима и короткое прохладное лето на севере, и малоснежная морозная зима и сравнительно жаркое лето в районах крайнего юга.

В горных районах с увеличением высоты местности над уровнем моря наблюдается понижение температуры до $0,7^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м. Из-за этого в среднем за год температура воздуха ниже на вершинах гор и в пониженных формах рельефа.

Годовые суммы осадков изменяются по территории в больших пределах. Наибольшее количество осадков выпадает на хребтах и склонах гор, которое может достигать 1600 мм. Осадки выпадают неравномерно, примерно 60 – 70% годовой суммы выпадает в теплый период года.

Равнинные части территории относятся в основном к лесной зоне. Естественный покров во многих местах нарушен хозяйственной деятельностью человека. На восточном склоне гор ниже редколесья распространены лиственнично-сосновые горные боры.

Густота речной сети в пределах горного Урала в общем уменьшается с севера на юг. На западной части от уральских гор она значительно больше, чем на восточной.

Бассейн Верхней Оби относится к Западно-Сибирскому УГМС [8] и располагается на стыке Казахской складчатости и Алтайско-Саянской горной системы.

Территория Горного Алтая характеризуется резкоконтинентальным климатом. Из-за большой удаленности и отгороженности горными системами теплые и влажные воздушные массы с Атлантического океана доходят, потеряв большое количество влаги, а воздушные массы с Северного-Ледовитого океана приходят холодными и сухими.

Несмотря на довольно низкую среднегодовую температуру (от 3 до -4°C), характерную для всей территории в целом, лето в большинстве районов теплое. Переход через 0°C весной приходится на конец третьей декады марта, а осенью на конец октября, но в высокогорных районах – на сентябрь.

Особенно неравномерно распределяются осадки по территории Алтая, где на сравнительно небольшом расстоянии находятся хорошо увлажняемые осадками склоны и межгорные котловины, для которых характерно весьма малое

количество осадков. В среднем на данную территорию выпадает порядка 500 мм. Число дней с осадками увеличивается по мере повышения высоты местности. Максимальная величина суточного количества осадков превышает 100 мм и приходится на летние месяцы, с июня по август.

Растительный покров весьма разнообразен. В западных и особенно в северных районах Алтая наиболее широко распространены леса. Все предгорья заняты лесостепной растительностью. Хвойные леса расположены здесь на высотах более 500 м. Выше 1700 м леса сменяются горно-луговой растительностью.

Данная территория характеризуется развитой гидрографической сетью. Главными водными артериями являются Бия и Катунь. Слиянием данных рек образуется одна из крупнейших рек – Обь. Все реки Горного Алтая относятся к Бассейну Карского моря.

Большая густота речной сети характерна для всего бассейна реки Бии (0,52 км/км²) и территории, дренируемой левобережными притоками Оби. В бассейне Катунь (средняя густота речной сети 0,43 км/км²) иногда встречаются районы с очень разряженной сетью.

Реки рассматриваемой территории текут в северном и северо-западном направлении соответственно общему понижению местности.

Таким образом можно заметить различные физико-географические сходства на трех выбранных участках. По развитию гидрографической сети самым отстающим районом является Обь-Иртышское УГМС, поэтому возможны проблемы с поиском исходных данных.

3.2 База данных для исследования

Для данной работы был собран массив данных, состоящий из среднегодовых расходов воды и площадей водосбора. Так же по каждому гидрологическому посту были найдены координаты.

Обь-Иртышское УГМС является районом со слабо развитой гидрографической сетью, поэтому с исходными данными возникли проблемы, из-за значительных пропусков в наблюдениях. Восстановить данные с помощью метода гидрологической аналогии также не является возможным (приложение А). Именно поэтому данный регион не будет рассматриваться в дальнейших расчетах.

Для района Западно-Сибирского УГМС требовалось незначительное восстановление данных методом гидрологической аналогии. Были собраны данные с 1962 – 2020 г. по 12 гидрологическим постам (приложение Б).

Район Северо-Кавказского УГМС чуть менее изучен, чем вышеуказанный. Данные имеются с 1976 – 2020 г. по 25 гидрологическим постам и требовали восстановления данных (приложение В). На всех рассматриваемых постах отсутствовали данные среднегодовых расходов воды за 1985 г. и за 2004 – 2007 гг.

4. Апробация подходов организации сети наблюдений

4.1. Подготовка данных к исследованию

Восстановление данных

Для восстановления пропусков в рядах наблюдений использовался метод гидрологической аналогии. Данный метод имеет ряд обязательных критериев по подбору реки – аналога, например, должны соблюдаться следующие условия:

- однотипность стока реки аналога и рассматриваемой реки;
- географическая близость расположения водосборов;
- однородность условий формирования стока (сходство климатических условий, однотипность грунтов, залесенность, заболоченность и другие факторы, которые могут оказать влияние на изменение стока);
- для горных и полугорных рек следует учитывать средние высоты водосбора;
- отсутствие сбросов воды, изъятие стока на сельскохозяйственные и другие нужды.

Метод гидрологической аналогии применяется в тех случаях, когда требуется приближенная оценка гидрологических характеристик слабоизученного объекта с помощью данных на другом водном объекте со схожими параметрами. Но стоит отметить что даже при незначительных пропусках в рядах наблюдений дальнейший расчет будет нести за собой погрешность.

Рассмотрим пример, в котором будет произведено восстановление данных на гидрологическом посту Артыбаш (р.Бия) по пункту – аналогу Кебезень (р.Бия).

За совместный период наблюдений необходимо построить график связи среднегодовых расходов воды расчетной реки и пункта – аналога (рисунок 4.1)

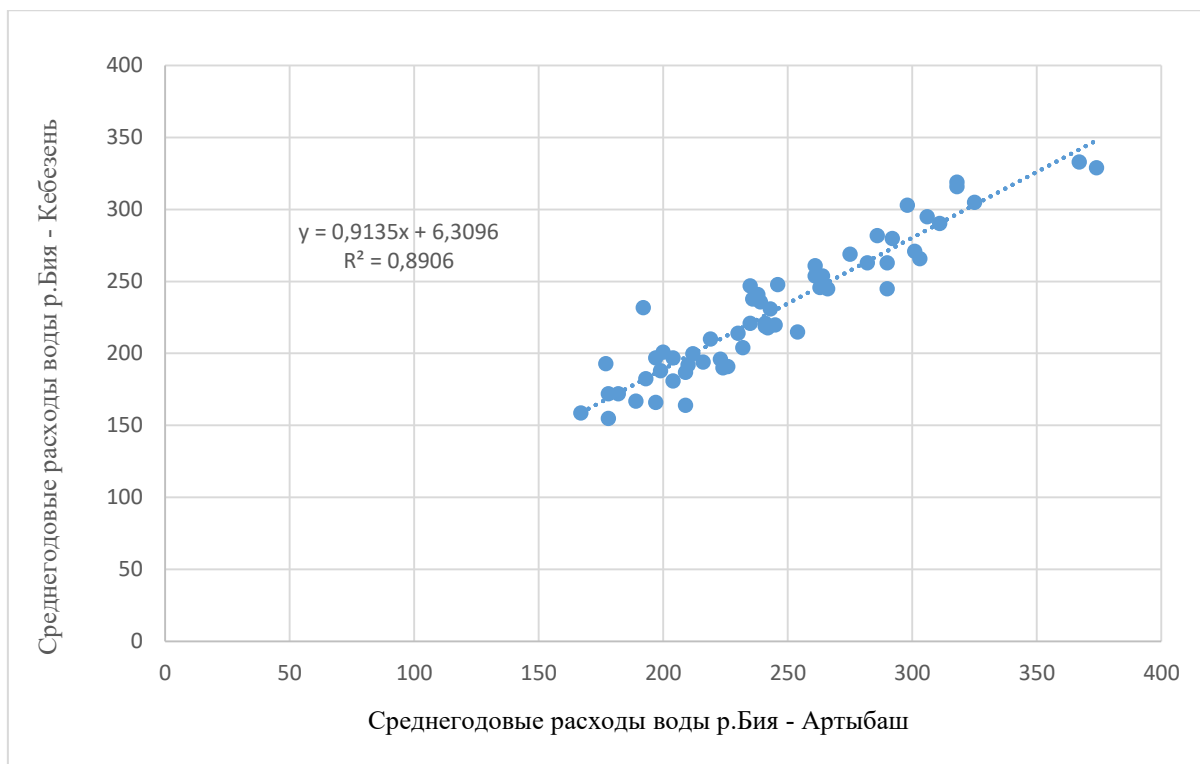


Рисунок 4.1 – График связи среднегодовых расходов расчетной реки и реки – аналога за совместный период наблюдений.

Уравнение регрессии является надежным, если выполняются следующие условия:

$$n \geq 6 \quad R \geq 0,7 \quad \frac{R}{\sigma_R} \geq 2 \quad \frac{a}{a_R} \geq 2 \quad (8)$$

Если все условия выполняются, тогда по полученному уравнению можно рассчитать недостающие значения на расчетной реке, приведенные к длинному ряду реки – аналога:

$$Q_N = aQ + b \quad (9)$$

где a и b – члены уравнения регрессии;

Q – среднегодовой расход воды на реке – аналоге в соответствующий год, где на расчетной реке наблюдения не проводились.

Таким образом были восстановлены пропущенные данные. В приложениях Г и Д восстановленные значения обозначены другим цветом.

Вычисление статистических характеристик по рядам наблюдений

В ходе выполнения работы были найдены основные статистические характеристики: среднее значение ряда, стандартное отклонение, коэффициент вариации и модуль стока для каждого ряда наблюдений.

Для этого использовались следующие формулы:

$$\text{Среднее значение: } \bar{Q} = \Sigma Q_i / n \quad (10)$$

$$\text{Стандартное отклонение: } S = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (11)$$

$$\text{Средний многолетний модуль стока: } \bar{q} = \frac{\bar{Q}}{F} \cdot 10^3 \quad (12)$$

$$\text{Коэффициент вариации: } C_v = S / \bar{Q} \quad (13)$$

Таблица 4.1 – Основные статистические характеристика по рядом расходов воды для рек Западно-Сибирского УГМС

Река – пост	Среднее	СКО	C_v	q , л/(с·км ²)
Большая Терехта – д.Терехта	8,75	1,92	0,22	22,8
Катунь – с.Тюнгур	265	49,1	0,19	19,6
Кучерла – с.Кучерла	13,9	2,18	0,16	22,1
Майма – с.Майма	8,66	2,13	0,25	11,1
Иша – с.Усть-Иша	34,5	9,01	0,26	10,3
Катунь – с.Сростки	627	107	0,17	10,7
р.Каменка – с.Советское	10,3	2,56	0,25	5,93
р.Обь – с.Фоминское	1135	197	0,17	11,6
р.Песчаная – с.Точильное	32,9	9,89	0,30	6,97
р.Ануй – с/з Ануйский	30,1	9,29	0,31	6,19
р.Бия – с.Артыбаш	230	46,4	0,20	11,5
р.Бия – с.Кебезень	245	47,9	0,20	11,7

Таблица 4.2 – Основные статистические характеристики по рядом
расходов воды для рек Северо-Кавказского УГМС

Река – пост	Среднее	СКО	C_v	q , л/(с·км ²)
Сулак – с.Сулак	149	33,9	0,23	9,79
Сулак – д.Языковка	111	27,2	0,24	7,88
Сулак – с.Миатлы	172	28,5	0,17	13,2
Аварское Койсу – Красный мост	105	23,0	0,22	14,8
Хзан-ор – с.Бежта	2,76	0,58	0,21	32,8
Аварское Койсу – с.Голотль	70,3	14,1	0,20	23,8
Казикумукское-Койсу – с.Гергебиль	15,8	4,86	0,31	8,57
Кара-Койсу – Гунибский мост	20,7	4,76	0,23	13,1
Андийское Койсу – с.Чиркота	74,4	11,3	0,15	16,2
Андийское Койсу – с.Агвали	65,1	11,3	0,17	23,3
Самур – с.Лучек	29,1	6,71	0,23	31,5
Самур – с.Усухчай	62,0	15,3	0,25	17,1
Кара-Самур – с.Лучек	9,8	2,42	0,25	20,4
Ахтычай – с.Ахты	18,4	4,76	0,26	19,2
Усухчай – с.Усухчай	4,85	1,49	0,31	18,0
Терек – ст.Котляровская	135	17,4	0,13	15,1
Рук.Нов.Терек – ст.Аликазган	193	64,6	0,33	4,88
Фиагдон – д.Мичурино	4,87	1,38	0,28	10,3
Гизельдон – с.Даргвас	3,88	1,33	0,34	30,1
Цея – с.Бурон	3,90	0,91	0,23	39,0
Белая – с.Кора-Урсдон	6,03	1,87	0,31	19,8
Айгамуга – с.Махческ	3,93	1,20	0,30	18,0
Урух – с.Хазнидон	29,2	8,35	0,29	25,4
Черек Хуламский – с.Бабугент	22,0	4,85	0,22	31,7
Малка – п.Каменноостское	15,1	2,57	0,17	9,83

Также необходимо было найти информацию о площади водосбора каждого гидрологического поста и его координаты. Координаты были найдены с помощью сайта автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов [10].

Таблица 4.3 – Местоположение гидрологических постов и их водосбор для
района Западно-Сибирского УГМС

Река — пост	Широта, °	Долгота, °	Фводосбора, км ²
Большая Терехта – д.Терехта	50,26	85,91	383
Катунь – с.Тюнгур	50,16	86,31	13 500
Кучерла – с.Кучерла	50,15	86,33	627
Майма – с.Майма	52,00	85,90	780
Иша – с.Усть-Иша	52,18	85,96	3 360
Катунь – с.Сростки	52,40	85,71	58 400
р.Каменка – с.Советское	52,28	85,41	1 730
р.Обь – с.Фоминское	52,45	84,91	98 200
р.Песчаная – с.Точильное	52,16	85,03	4 720
р.Ануй – с/з Ануйский	52,11	84,11	4 870
р.Бия – с.Артыбаш	51,78	87,23	20 100
р.Бия – с.Кебезень	51,90	87,10	21 000

Таблица 4.4 – Местоположение гидрологических постов и их водосбор
для района Северо-Кавказского УГМС.

Река — пост	Широта, °	Долгота, °	Фводосбора, км ²
Сулак – с.Сулак	46,6	42,6	15 200
Сулак – д.Языковка	47,0	43,4	14 100
Сулак – с.Миатлы	46,5	42,4	13 000
Аварское Койсу – Красный мост	46,5	42,2	7 110
Хзан-ор – с.Бежта	46,1	42,2	84,2
Аварское Койсу – с.Голотль	46,4	42,1	2 960
Казикумукское-Койсу – с.Гергебиль	47,2	42,1	1 850
Кара-Койсу – Гунибский мост	46,8	42,2	1 580
Андийское Койсу – с.Чиркота	46,0	42,5	4 604
Андийское Койсу – с.Агвали	45,8	42,4	2 790
Самур – с.Лучек	47,0	41,7	926
Самур – с.Усукчай	47,3	41,6	3 620
Кара-Самур – с.Лучек	47,3	41,6	481
Ахтычай – с.Ахты	47,5	41,4	960
Усукчай – с.Усукчай	47,9	41,4	269
Терек – ст.Котляровская	44,2	43,0	8 920
Рук.Нов.Терек – ст.Аликазган	45,7	43,1	39 600
Фиадон – д.Мичурино	44,4	43,1	474
Гизельдон – с.Даргвас	44,4	42,8	129
Цея – с.Бурон	43,9	42,8	100
Белая – с.Кора-Урсдон	44,0	43,0	304
Айгамуга – с.Махческ	43,8	43,0	218
Урух – с.Хазнидон	43,7	43,0	1 150
Черек Хуламский – с.Бабугент	43,4	43,1	695
Малка – п.Каменноостское	42,8	43,7	1 540

Проверка рядов на однородность

Гидрологический ряд является однородным, если в течении длительного периода условия формирования оставались неизменными. Любые антропогенные действия либо природные катаклизмы могут привести к нарушению однородности ряда.

Гидрологические ряды на однородность проверяются с помощью статистических критериев Фишера и Стьюдента. Проверка проводится при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Гипотеза об однородности рядов не опровергается, если выполняются следующие условия:

$$\begin{aligned} F^* &< F_{2\alpha}, \\ t^* &< t_{2\alpha}, \end{aligned} \quad (14)$$

где F^*, t^* – эмпирические значения статистик, соответственно Фишера и Стьюдента;

$F_{2\alpha}, t_{2\alpha}$ – теоретические значения статистик, соответственно Фишера и Стьюдента, при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Таблица 4.5 – Результаты проверки рядов среднегодовых расходов на однородность до восстановления данных при $2\alpha = 5\%$ для Западно-Сибирского УГМС

Река – пост	$ t^* $	$t_{2\alpha}\%$	$H_0: t_1=t_2$	F^*	$F_{2\alpha}\%$	$H_0: D_1=D_2$
Большая Терехта – д.Терехта	2,20	2,00	Опр.	1,60	1,89	Не опр.
Катунь – с.Тюнгур	2,40	2,02	Опр.	1,21	2,14	Не опр.
Кучерла – с.Кучерла	1,54	2,00	Не опр.	1,28	1,90	Не опр.
Майма – с.Майма	0,20	2,00	Не опр.	1,41	1,88	Не опр.
Иша – с.Усть-Иша	0,68	2,00	Не опр.	1,37	1,88	Не опр.
Катунь – с.Сростки	0,42	2,01	Не опр.	1,22	1,96	Не опр.
Р.Каменка – с.Советское	0,31	2,00	Не опр.	1,17	1,88	Не опр.
Р.Обь – с.Фоминское	0,80	2,00	Не опр.	1,13	1,88	Не опр.
Р.Песчаная – с.Точильное	5,06	2,00	Опр.	1,07	1,88	Не опр.
Р.Ануй – с/з Ануйский	1,22	2,00	Не опр.	1,76	1,87	Не опр.
Р.Бия – с.Артыбаш	0,86	2,01	Не опр.	1,01	1,94	Не опр.
Р.Бия – с.Кебезень	0,04	2,00	Не опр.	1,14	1,88	Не опр.

Таблица 4.6 – Результаты проверки рядов среднегодовых расходов на однородность до восстановления данных при $2\alpha = 5\%$ для Северо-Кавказского УГМС

Река – пост	$ t^* $	$t_{2\alpha}\%$	$H_0: t_1=t_2$	F^*	$F_{2\alpha}\%$	$H_0: D_1=D_2$
Сулак – с.Сулак	0,18	2,05	Не опр.	1,26	2,42	Не опр.
Сулак – д.Языковка	0,67	2,12	Не опр.	1,03	3,44	Не опр.
Сулак – с.Миатлы	0,54	2,03	Не опр.	1,18	2,22	Не опр.
Аварское Койсу – Красный мост	0,42	2,03	Не опр.	1,59	2,18	Не опр.
Хзан-ор – с.Бежта	0,70	2,03	Не опр.	1,00	2,26	Не опр.
Аварское Койсу – с.Голотль	0,28	2,02	Не опр.	1,01	2,17	Не опр.
Казикумухское-Койсу – с.Гергебиль	1,03	2,03	Не опр.	2,43	2,26	Не опр.
Кара-Койсу – Гунибский мост	2,08	2,05	Опр.	1,50	2,46	Не опр.
Андийское Койсу – с.Чиркота	1,31	2,02	Не опр.	1,08	2,17	Не опр.
Андийское Койсу – с.Агвали	0,47	2,06	Не опр.	2,18	2,69	Не опр.
Самур – с.Лучек	1,43	2,02	Не опр.	1,06	2,17	Не опр.
Самур – с.Усухчай	0,88	2,04	Не опр.	3,84	2,33	Опр.
Кара-Самур – с.Лучек	0,62	2,04	Не опр.	1,89	2,35	Не опр.
Ахтычай – с.Ахты	1,23	2,02	Не опр.	1,12	2,17	Не опр.
Усухчай – с.Усухчай	0,14	2,06	Не опр.	2,18	2,58	Не опр.
Терек – ст.Котляровская	0,41	2,03	Не опр.	3,92	2,20	Опр.
Рук.Нов.Терек – ст.Аликазган	4,86	2,07	Опр.	1,33	2,79	Не опр.
Фиагдон – д.Мичурино	0,39	2,03	Не опр.	1,41	2,23	Не опр.
Гизельдон – с.Даргвас	2,55	2,05	Опр.	3,25	2,42	Опр.
Цея – с.Бурон	1,69	2,03	Не опр.	1,62	2,18	Не опр.
Белая – с.Кора-Урсдон	1,67	2,03	Не опр.	3,22	2,22	Опр.
Айгамуга – с.Махческ	3,04	2,08	Опр.	1,72	2,94	Не опр.
Урух – с.Хазнидон	1,16	2,03	Не опр.	2,42	2,29	Не опр.
Черек Хуламский – с.Бабугент	8,39	2,05	Опр.	1,25	2,46	Не опр.
Малка – п.Каменноостское	2,09	2,02	Опр.	1,02	2,17	Не опр.

После проверки рядов можно заключить, что для области Западно-Сибирского УГМС гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента не опровергается ни для одного гидрологического поста. Несколько раз опровергается гипотеза об однородности по критерию Фишера. Тоже самое

наблюдается и для района Северо-Кавказского УГМС, но ряды на однородность по критерию Стьюдента опровергаются чаще.

4.2 Определение центров водосбора с помощью программы *ArcGIS*

Водораздел является условной границей на поверхности земли между двумя или несколькими бассейнами. В горной местности водораздел обычно совпадает с гребнями хребтов.

В программе *ArcGIS* водораздел представляет собой точку на реке, где расположен гидрологический пост и область вверх по склону от нее, откуда поступает вода. [11]

Первое, что необходимо сделать для определения водосборной области, это найти цифровые модели рельефа выбранных участков. Такие модели были найдены с помощью сайта [12].

Цифровая модель рельефа – это трехмерное отображение земной поверхности, которое представляет собой поле точек с присвоенными значениями высоты. ЦМР учитывает высоту истинного рельефа без учета растительности, городских агломераций и других антропогенных объектов.

Для начала к цифровой модели нужно применить инструмент «заполнение». Он отвечает за заполнение локальных понижений или резких повышений поверхности и устраняет небольшие дефекты данных. Данный этап не является обязательным, но с использованием этого инструмента повышается точность полученных результатов.

После этого используется следующий инструмент: «направление стока». На этом этапе создается растр направления стока из каждой ячейки в соседнюю вниз по склону.

Необходимым этапом является применение инструмента «аккумуляция потока». Он вычисляет накопленный сток всех ячеек, впадающих в каждую ячейку вниз по склону. Таким образом, ячейки с высоким скоплением потока представляют собой области концентрированного стока и используются для идентификации русел потоков.

После выполнения всех манипуляций в программе имеется карта водотоков, начиная от незначительных, заканчивая крупными реками. После этого необходимо точку гидрологического поста перенести на реку и применить инструмент «Водосбор».

По итогу имеются две карты водосборов для выбранных областей. Центры водосбора на представленных картах изображены точкой. Также каждая точка имеет свои пространственные координаты, которые пригодятся для дальнейшего расчета.

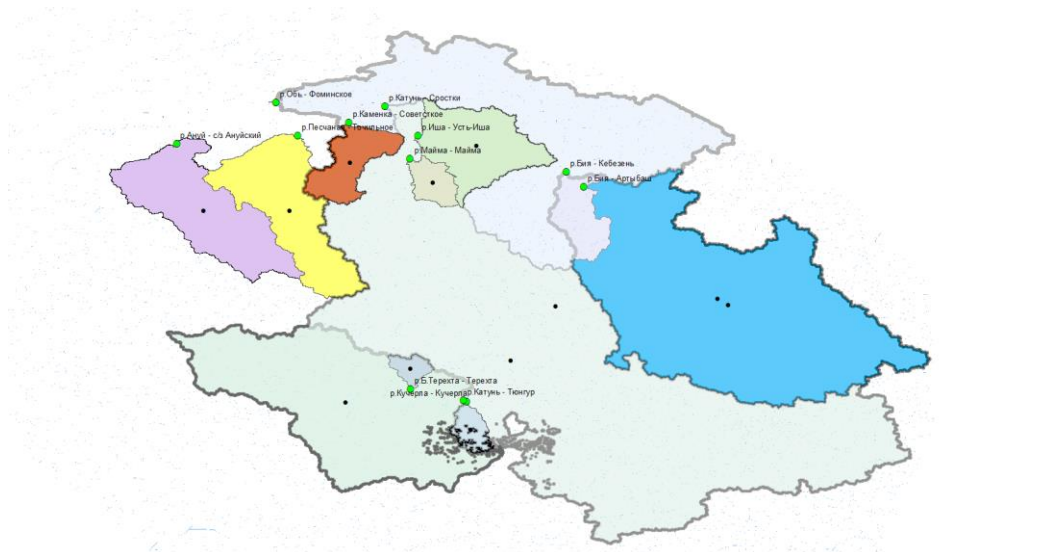


Рисунок 4.2.1 – Карта-схема центров водосбора для района Западно-Сибирского УГМС.

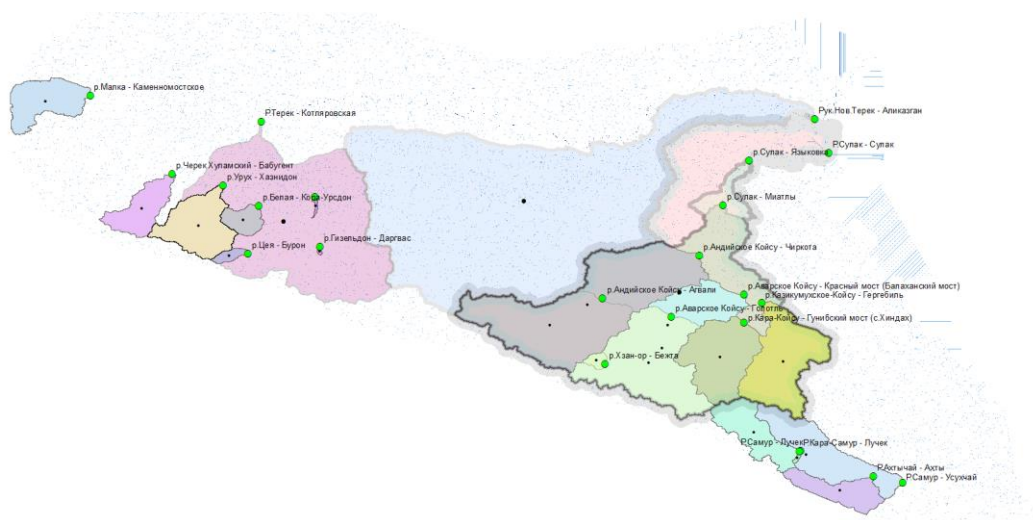


Рисунок 4.2.2 – Карта-схема центров водосбора для района Северо-Кавказского УГМС.

4.3 Построение карта-схем в программе *Surfer*

Основные принципы построения карт изолиний

Одним из самых важных способов территориального обобщения являются карты изолиний стока. Данные карты применяются для различных расчетов годового, максимального и минимального стока воды, а также стока наносов и многого другого.

При построении карт изолиний сток воды в створе относится к центру тяжести водосбора [13]. Изолинии для равнинных рек проводятся с помощью прямолинейной интерполяции между центрами смежных водосборов.

В горных районах добавляется учет влияния высоты. Для этого строится график связи модуля стока со средней высотой водосбора и определяется таким образом градиент изменения стока по высоте.

Шаг изолиний стока, то есть разница между двумя смежными изолиниями выбирается исходя из модуля и его удвоенной средней квадратической погрешности ($\pm 2\sigma$). Шаг изолиний T определяется по формуле:

$$T = 4\sigma q \quad (15)$$

Между смежными изолиниями расстояние должно быть одинаково, если рассматривается район с одинаковыми физико-географическими условиями.

Расчет шага прежде всего целесообразен для крупномасштабного картирования, поскольку это позволяет избежать сгущения изолиний, особенно в горных районах.

Шаг изолиний обычно принимается кратным одному из следующих значений: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 или 10 л/(с·км²). При использовании шага, равному 0,25 или 2,5 л/(с·км²) считывание данных будет неудобным в первую очередь при практическом пользовании картой.

При наличии замкнутых изолиний целесообразно внутри них указывать наибольшие или наименьшие значения стока для выбранного центра водосбора.

Построение карты-схемы с изолиниями модуля стока и коэффициента вариации с помощью метода Кригинга

Интерполяция значений производится по методу Кригинга. Данный метод – это вид некой обобщенной линейной регрессии, который использует основные статистические параметры для нахождения наилучшей оптимальной оценки среднеквадратического отклонения.

Шаг изолиний для района верхнего течения Оби по модулю стока принимается равным $2 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$, а для коэффициента вариации – 0,02, согласно основным принципам построения карт.

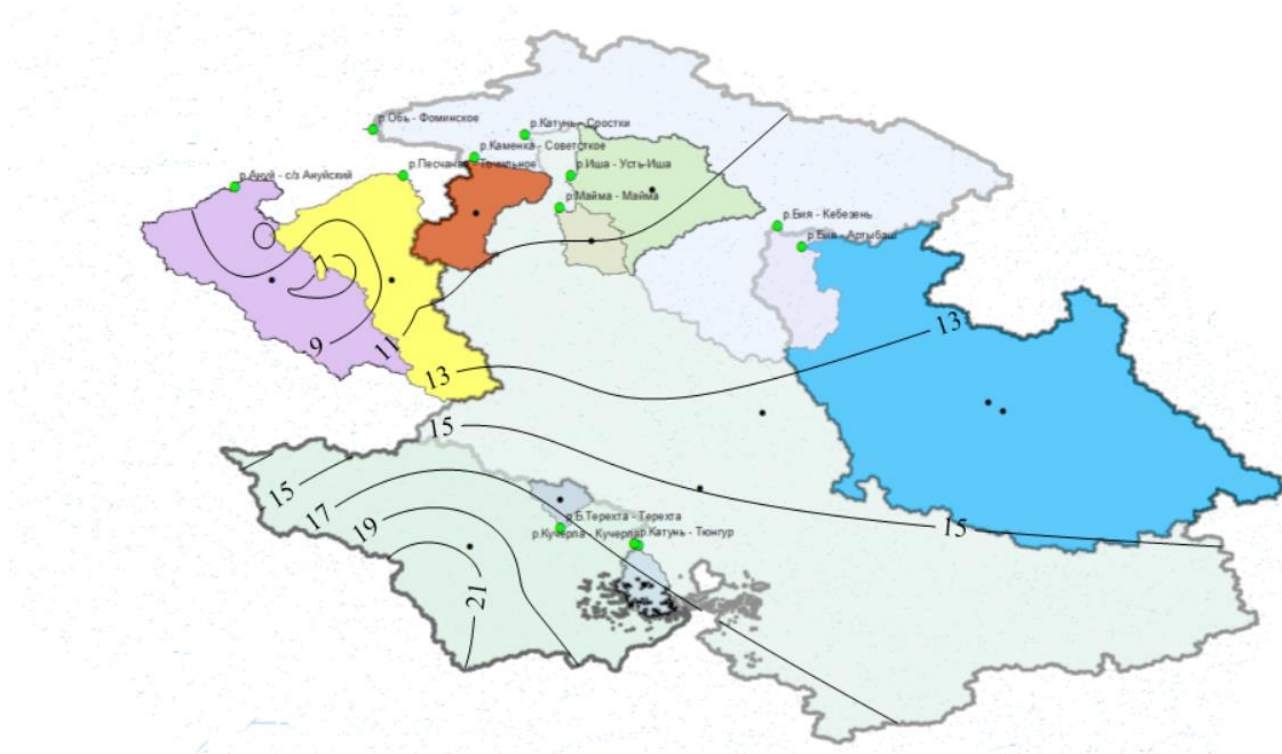


Рисунок 4.3.1 – Схема изолиний модуля стока для верхнего течения Оби.

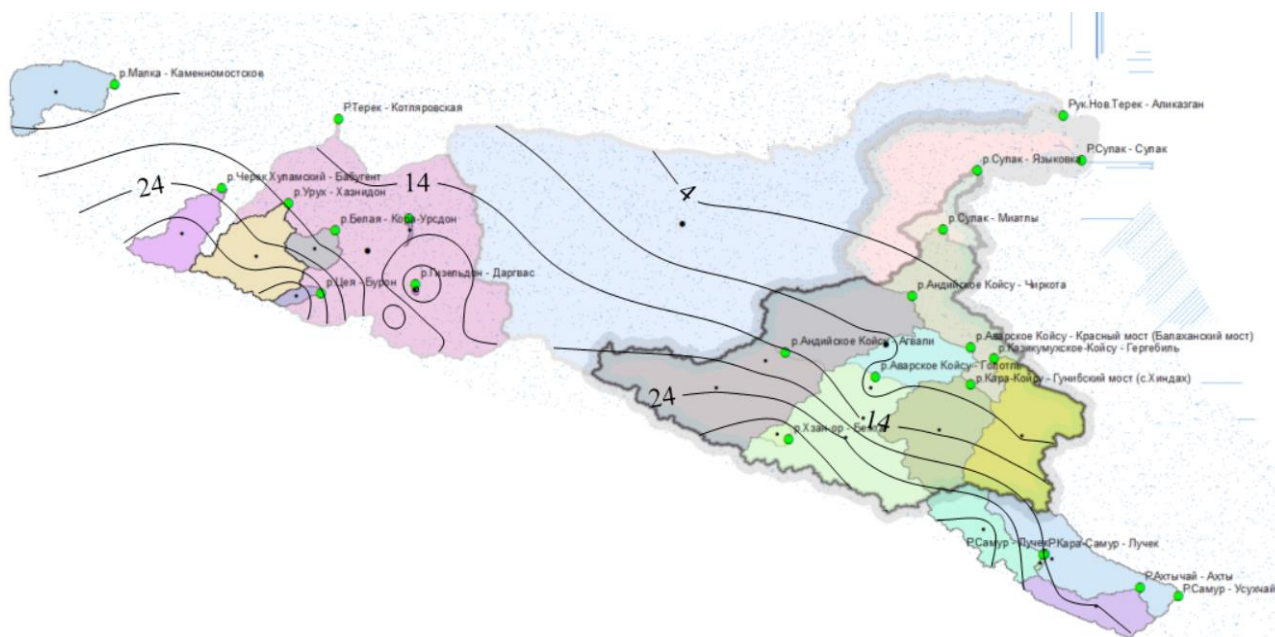


Рисунок 4.3.3 – Схема изолиний модуля стока для рек Северного Кавказа.

Для рек Северного Кавказа наблюдается аналогичная ситуация с значениями модуля стока как и для верхнего течения Оби. Из-за уменьшения неровностей рельефа значения постепенно уменьшаются, тем самым максимальные значения находятся в самой высокогорной северной части.

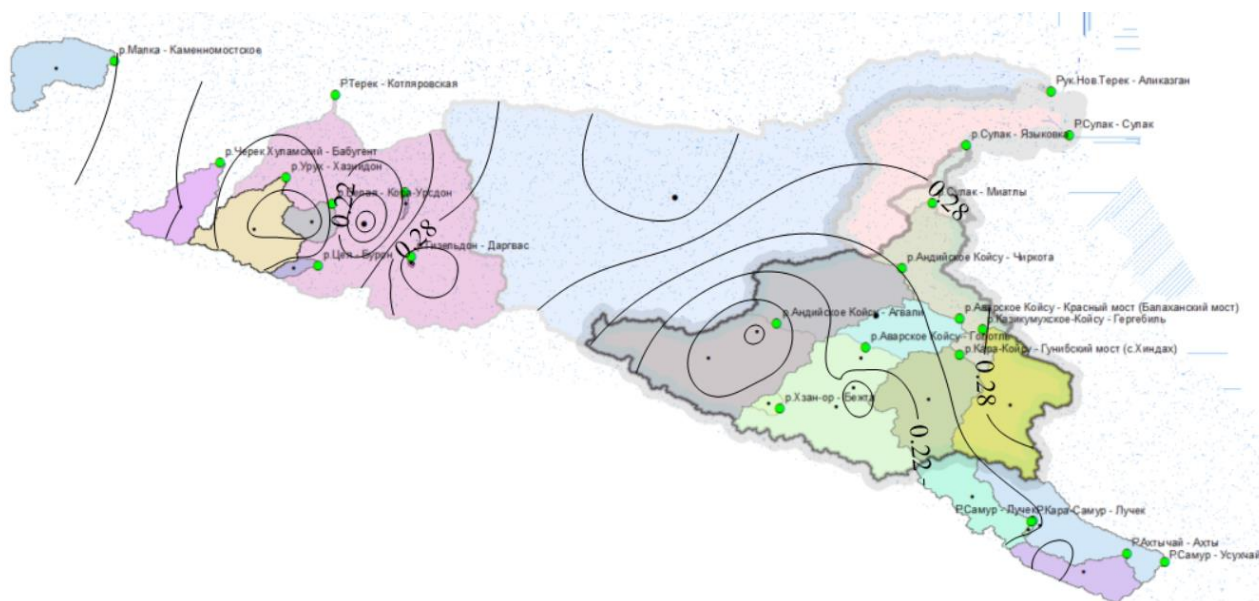


Рисунок 4.3.4 – Схема изолиний коэффициента вариации для рек Северного Кавказа.

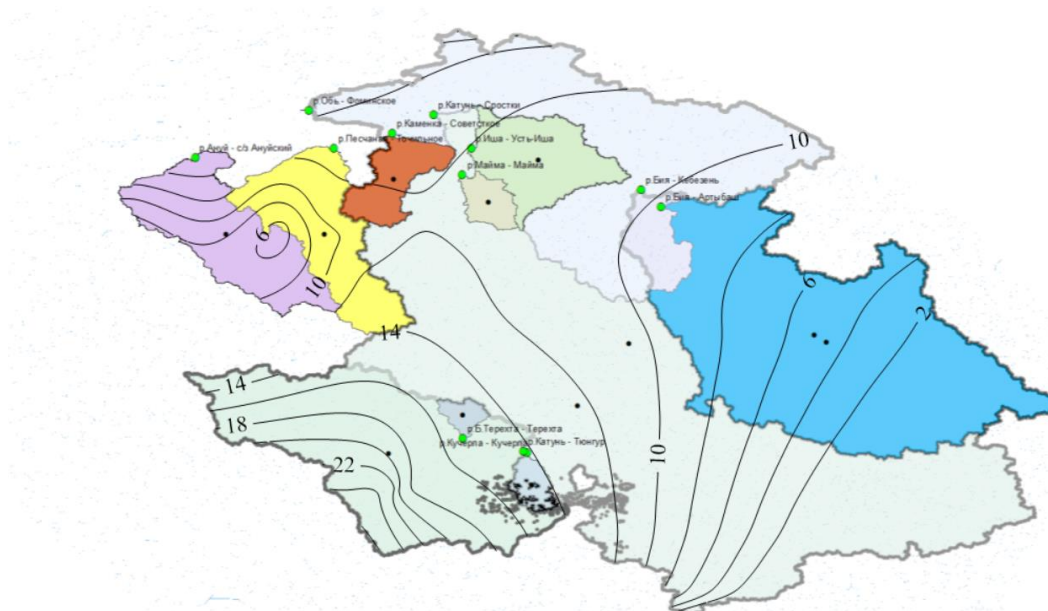
Изолинии коэффициента вариации распределены крайне неравномерно и сосредоточены вокруг водосборов таких рек как Андийское Койсу на востоке и рек бассейна Терека на западе. Дело в том, что между двумя рассматриваемыми зонами проходит горный хребет, который условно разделяет данную область на два участка.

Построение карт-схем с изолиниями модуля стока различными методами интерполяции

Помимо метода Кригинга в программном обеспечении *Surfer* поддерживаются ещё 7 методов интерполяции. Выбор метода не всегда очевиден, а зависит от поставленной цели и имеющихся исходных данных.

С целью ознакомления на примере верхнего течения Оби рассмотрим изолинии модуля стока на нескольких методах интерполяции.

Метод минимальной кривизны – приближенный метод, стремящийся пройти через исходные точки с минимальным числом изгибов.



Далее рассмотрен метод обратных расстояний. Основное преимущество метода – его точность и умение производить интерполяцию при недостаточности данных. Изолинии, построенные по данному методу, выглядят практически идентичными методу Кригинга.

И последний метод, который будет рассмотрен, это метод радиальных базисных функций.

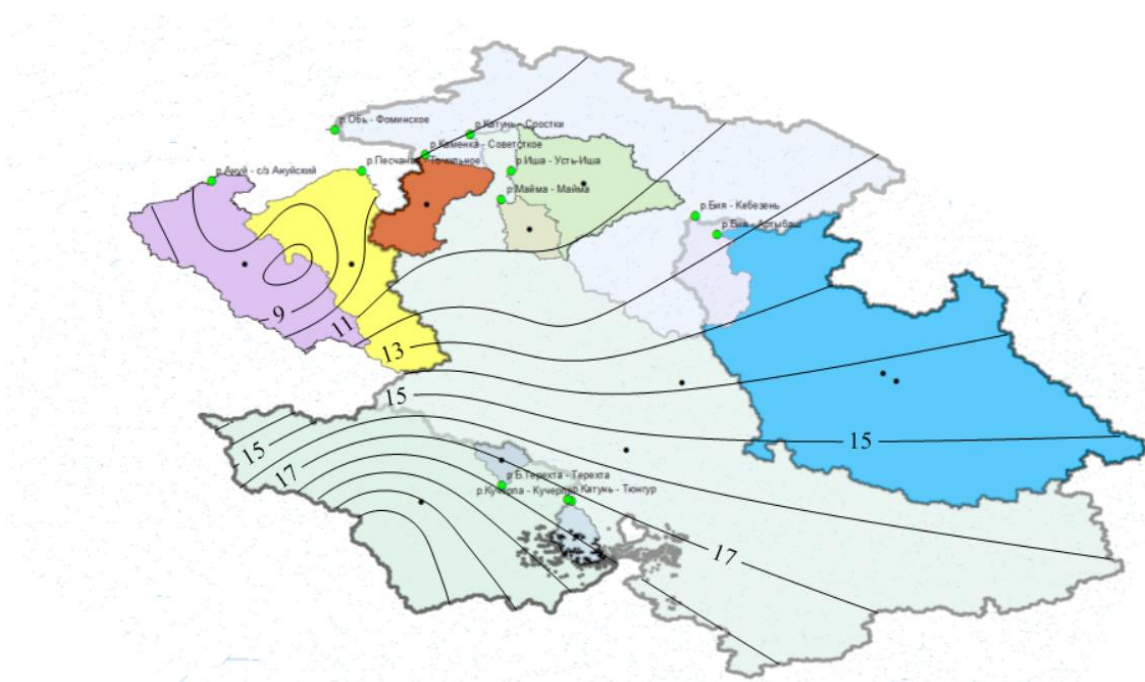


Рисунок 4.3.7 – Схема изолиний модуля стока для верхнего течения Оби с помощью метода радиальных базисных функций.

Данный метод также принято считать точным интерполятором, ведь построенные изолинии схожи с методом Кригинга. Данный метод наиболее применим к моделям слабо изменяющейся формы.

Данный метод плохо подходит, если наблюдаются резкие изменения исследуемой переменной на коротких дистанциях.

Основываясь на всем вышеизложенном, можно заключить, что применять можно любой из этих методов, так как они являются наиболее точными интерполяторами, в отличие от других методов (ближайшей точки, Шепарда и линейной интерполяции). Для данной работы за основу взят метод Кригинга и все дальнейшие построения будут производиться с помощью его.

Расчет градиента изменения стока с помощью *Surfer*

Исходными данными для расчета градиента стока являются значения нормы стока по выбранным гидрологическим постам на определенной

территории. Каждый гидрологический пост в программе является точкой с определенной привязкой к координатам (X и Y).

Градиент в программном пакете *Surfer* рассчитывается по следующему уравнению [14]:

$$\|\vec{g}\| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (16)$$

где $\partial z/\partial x$, $\partial z/\partial y$ – разность конечного и начального значений, для которой вычисляется градиент, по координатам x и y соответственно.

В свою очередь изменения величины z по координатам вычисляется по ниже приведенным формулам:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}, \quad (17)$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y} \quad (18)$$

где Z_E , Z_W , Z_N , Z_S – интерполированные (методом Крикинга) значения между известными величинами Z, которые берутся из созданного ранее Grid файла, который можно интерпретировать также, как сетку, состоящую из ячеек:

$$\begin{array}{ccccc}
 & & \bullet & & \\
 & & Z_{NN} & & \\
 & & \bullet & & \\
 & Z_{NW} & Z_N & Z_{NE} & \\
 & \bullet & \bullet & \bullet & \\
 Z_{WW} & Z_W & Z & Z_E & Z_{EE} \\
 & \bullet & \circ & \bullet & \\
 & Z_{SW} & Z_S & Z_{SE} & \\
 & \bullet & \bullet & \bullet & \\
 & & Z_{SS} & & \\
 & & \bullet & &
 \end{array} \quad (19)$$

Таким образом, градиент рассчитывается по формуле:

$$\|g\| = \sqrt{\left(\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right)^2} \quad (20)$$

Практика применения пакета *Surfer 7.0* при расчете градиентов стока показала, что градиенты, рассчитанные программным способом по формуле дают достаточно точные результаты.

Данный расчет был применен к рассматриваемым бассейнам.

Проведя необходимые манипуляции в программе были получены следующие значения градиента стока: для Северного Кавказа градиент составляет 0,0857, а для верхнего течения Оби – 0,0153.

4.4 Метод Карасёва И.Ф

Расчет по методике Карасёва И.Ф для верхнего течения Оби

Градиентный критерий

Для того, чтобы выполнить расчет и узнать минимальный размер водосбора, при котором наблюдения на постах выявляются изменения нормы стока, необходимо обратиться к формулам (1) и (2). В первую очередь необходимо рассчитать погрешность определения нормы стока

$$\sigma_0 = \frac{0,22}{\sqrt{59}} = 0,029 \quad (21)$$

За коэффициент вариации и норму стока принимается среднее значение по всем рассматриваемым водосборам.

$$F_{\text{град}} \geq \frac{8 \cdot 0,029^2}{0,015^2} \cdot 12,5^2 \quad (22)$$

$$F_{\text{град}} \geq 4481 \text{ км}^2$$

Таким образом получен первый критерий для вычисления оптимально количества постов.

Корреляционный критерий

Данный критерий рассчитывается с помощью формул (3) и (4). Но прежде необходимо узнать значение L_0 , что представляет собой расстояние, при котором функция $r(1)$ переходит через ноль. Для этого нужно построить следующий график, по оси X у которого будет представлено расстояние между центрами водосборов, а по оси Y – значение корреляционной функции (прил.6).

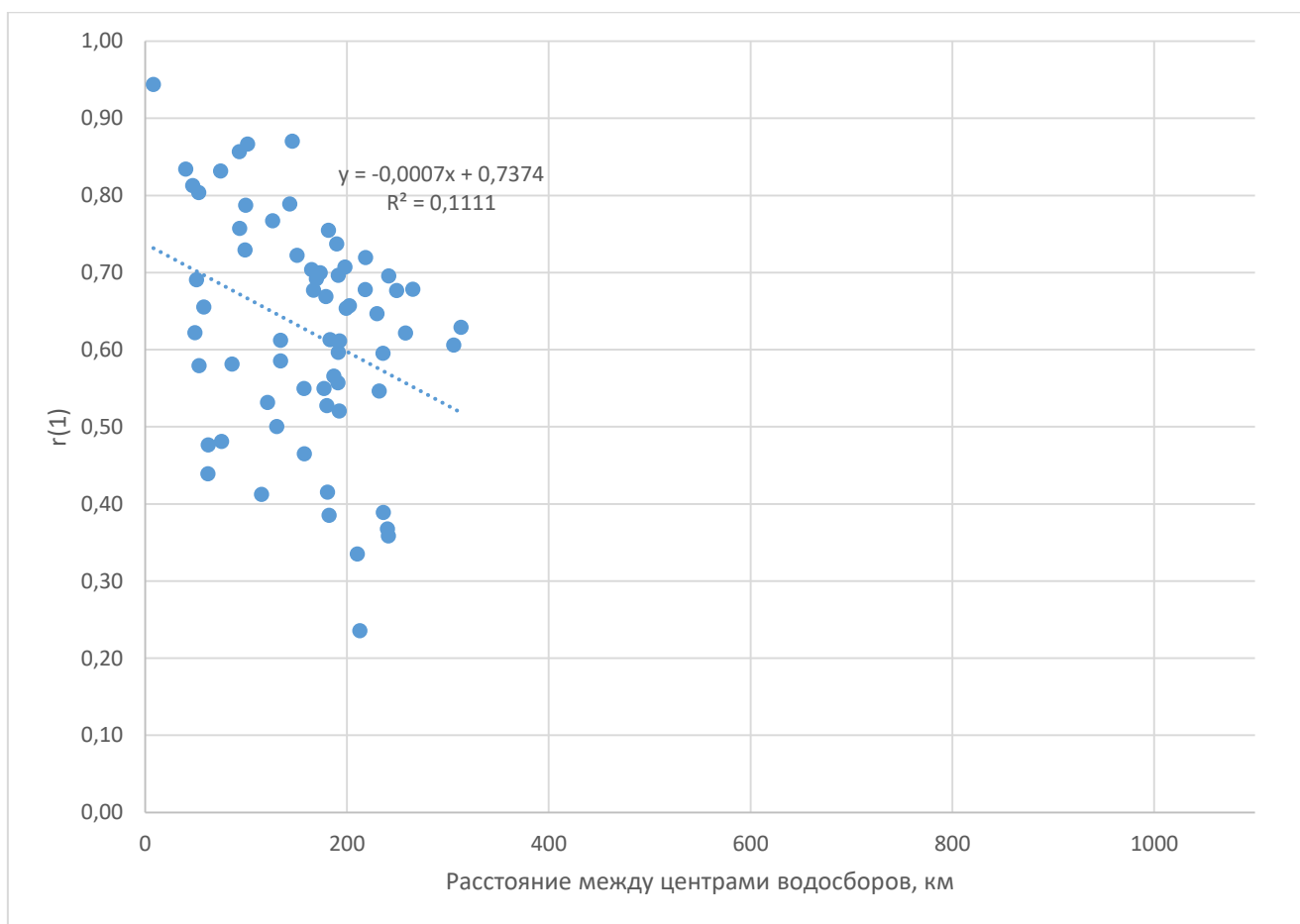


Рисунок 4.4.1 – График связи расстояния между центрами водосборов и корреляционной функции для района верхнего течения Оби.

Необходимо узнать в какой точке линейный тренд пересечет ось X. в данном случае местом пересечения, и следовательно $L_0 = 1052$ км.

$$a = \frac{1}{1052} = 0,001 \quad (23)$$

С учетом представленных выше расчетов остается узнать верхнюю границу расчетной площади бассейна, контролируемой режимным постом:

$$F_{\text{кор}} \leq \frac{0,029^4}{0,001^2 \cdot 0,22^4} \quad (24)$$

$$F_{\text{кор}} \leq 318 \text{ км}$$

Репрезентативный критерий

Для получения репрезентативного критерия необходимо построить еще один график по оси X у которого будет представлена площадь водосбора рассматриваемых гидрологических постов, а по оси Y – модуль стока.

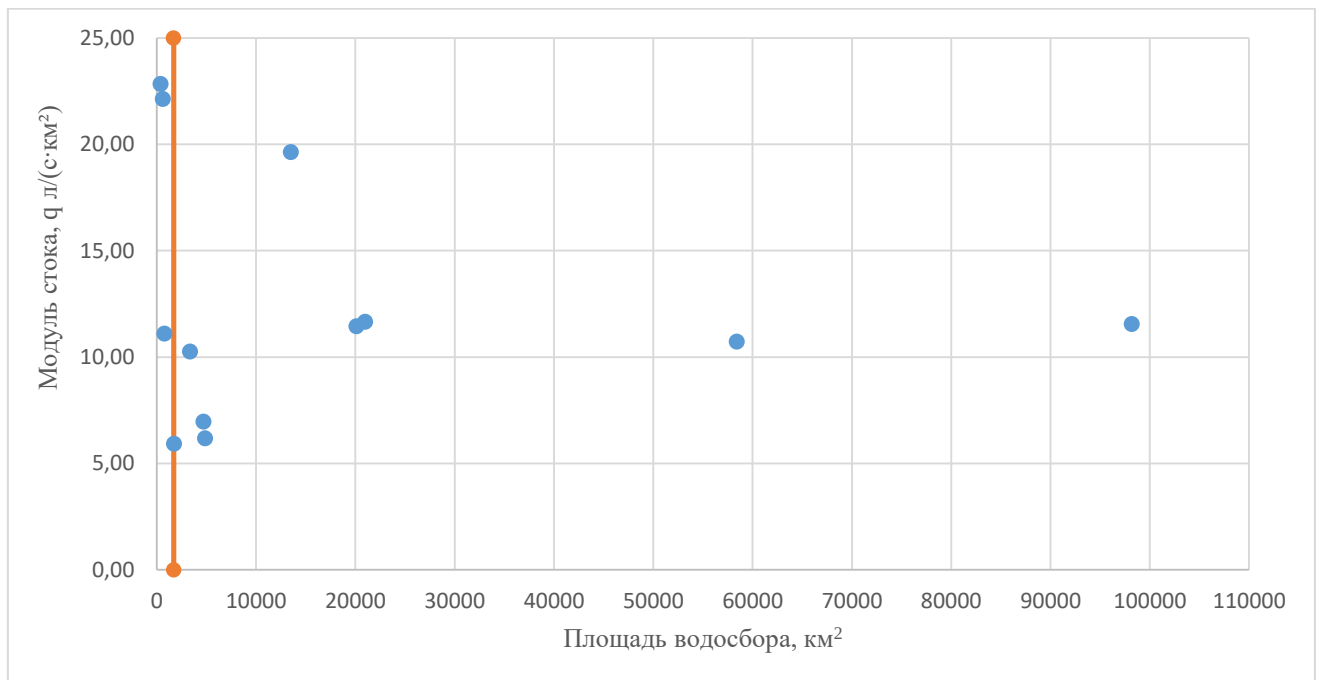


Рисунок 4.4.2 – График распределения модуль стока по площади водосбора.

Из данного графика также необходимо определить значение площади водосбора, которому будет соответствовать предельно малая площадь на стоковых станциях. В свою очередь она не должна быть слишком маленькой,

иначе это приведет к тому, что будут отражаться не общие закономерности стока, а местные особенности.

Там, где точки на графике переходят из хаотично разбросанных в более выровненную линию и будет являться точкой репрезентативной площади. В данном случае репрезентативный критерий равняется 1700 км^2 .

Результаты по нахождению оптимальной площади водосбора и числа постов

Оптимальная площадь $F_{\text{опт}}$, приходящаяся на один режимный пост, должна находится в диапазоне (5), если же данное соотношение нарушено, то Карасёвым рекомендуется использовать следующие соотношения (6).

В данном случае цепочка неравенств нарушена (что происходит довольно часто). Это приводит к тому, что сеть постов не будет оптимальной при заданном уровне погрешности σ , а все проводимые расчеты будут с некоторой погрешностью.

При нарушении цепочки необходимо, чтобы оптимальная площадь $F_{\text{опт}}$ была больше репрезентативного $F_{\text{репр}}$ и градиентного $F_{\text{град}}$ критериев.

Таким образом получаем, что оптимальная площадь для верхнего течения Оби должна составлять 4500 км^2 . Соответственно, общее число режимных постов находится делением площади, с которой поступает вода, на оптимальную площадь.

Оптимальное число режимных постов, приходящихся на рассматриваемую территорию общей площадью $107\,790 \text{ км}^2$ должно стремиться к 24. Современное число постов, работающих на приток таких рек, как Бия и Катунь равняется 20.

Это является довольно хорошим показателем, так как количество работающих станций дает достаточное описание гидрологического режима изучаемых рек.

Расчет по методике Карасёва И.Ф для рек Северного Кавказа

Представленный выше расчет нужно повторить еще раз, но уже для района рек Северного Кавказа.

Градиентный критерий

Обратиться вновь к формулам (1), (2) и рассчитаем погрешность определения нормы стока

$$\sigma_0 = \frac{0,24}{\sqrt{45}} = 0,036 \quad (25)$$

За коэффициент вариации и норму стока принимается среднее значение по всем рассматриваемым водосборам.

$$F_{\text{град}} \geq \frac{8 \cdot 0,036^2}{0,086^2} \cdot 18,9^2 \quad (26)$$
$$F_{\text{град}} \geq 506 \text{ км}^2$$

Таким образом получен градиентный критерий, значение которого не должно быть меньше 506 км².

Корреляционный критерий

Нужно построить график связи и определить точку пересечения линейного тренда с осью X. Расчет представлен в приложении 7.

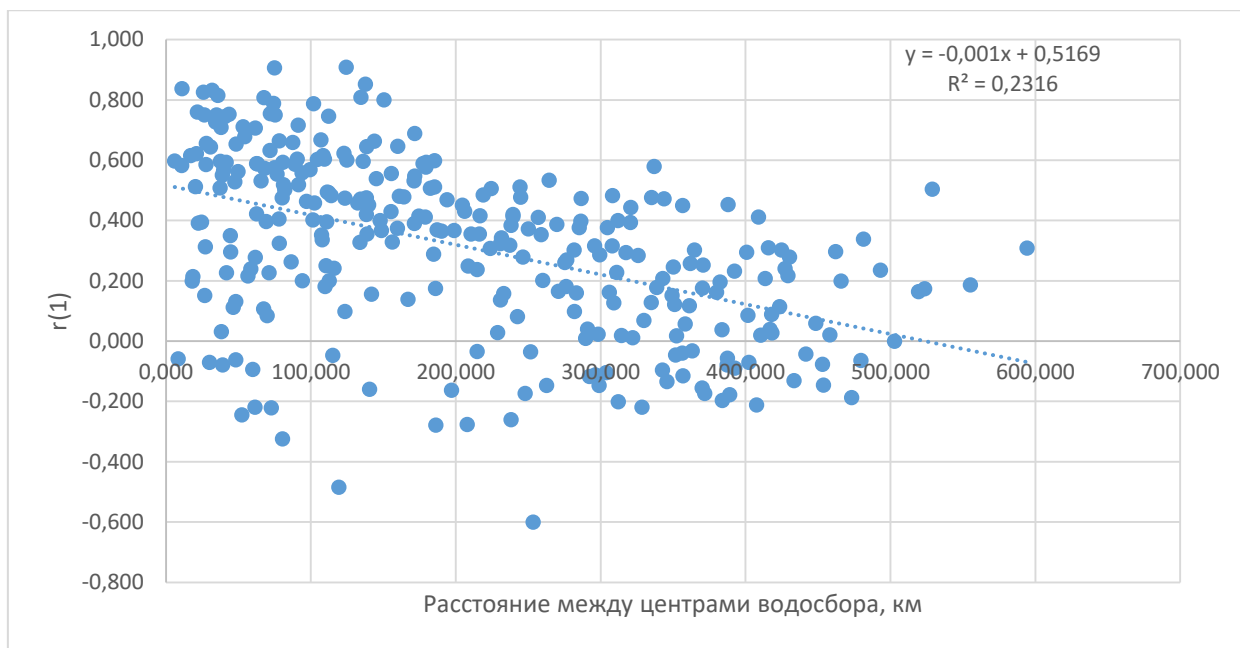


Рисунок 4.4.3 – График связи расстояния между центрами водосборов и корреляционной функции для рек Северного.

В данном случае местом пересечения является расстояние, равное 517 км.

$$a = \frac{1}{517} = 0,002 \quad (27)$$

$$F_{\text{кор}} \leq \frac{0,036^4}{0,002^2 \cdot 0,24^4} \quad (28)$$

$$F_{\text{кор}} \leq 132 \text{ км}$$

Репрезентативный критерий

Для получения репрезентативного критерия построен график распределения модуля стока по площадям водосбора исследуемых рек.

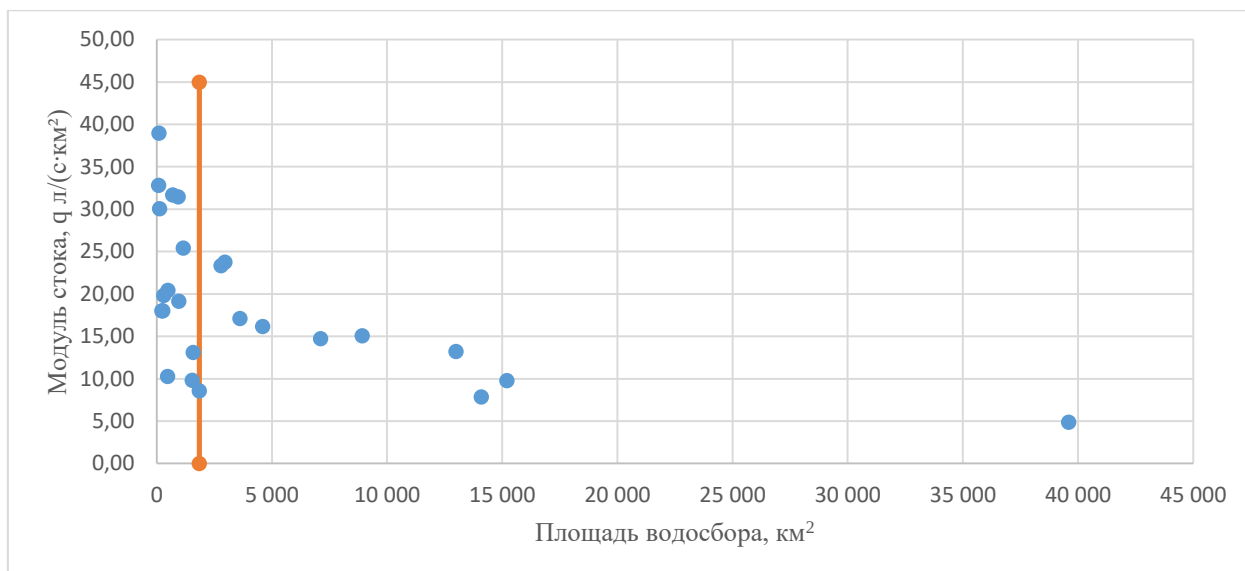


Рисунок 4.4.4 – График распределения модуль стока по площади водосбора.

Там, где точки на графике переходят из хаотично разбросанных в более выровненную линию и будет являться точкой репрезентативной площади. В данном случае репрезентативный критерий равняется 1850 км².

Результаты по нахождению оптимальной площади водосбора и числа постов

Для району Северного Кавказа наблюдается аналогичная ситуация, как и для верхнего течения Оби. Оптимальная площадь так же должна быть больше репрезентативного $F_{\text{репр}}$ и градиентного $F_{\text{град}}$ критериев.

Получаем, что оптимальная площадь для рек Северного Кавказа должна составлять 1900 км². Оптимальное число режимных постов, приходящихся на рассматриваемую территорию общей площадью 65 260 км² должно стремиться к 34.

Современное число постов, действующих на реках Северного Кавказа значительно больше оптимального количества, что дает наиболее полную картину, отражающую гидрологический режим рек полугорных и горных районов Кавказа.

4.5 Использование 3D моделей для организации сети на водосборах полугорных и горных рек

Актуальность использования 3D моделей

С развитием информационных систем во всем мире изменения коснулись и гидрологии. Особое место заняли геоинформационные технологии, которые стали инструментом исследования гидрологических процессов. Широкое применение в науке объясняется тем, что гидрологические задачи имеют пространственный характер.

Спектр ГИС приложений заключается не только в обработке пространственных данных, но и их моделировании, а также прогнозировании. На данный момент функционирование современных гидрологических моделей не является возможным без ГИС – обеспечения.

Для данной работы необходимо найти 3D модель рельефа для нескольких исследуемых территорий. Полугорные и горный районы для всех расчетов стоит рассматривать именно как цифровую модель рельефа, так как большинство гидрологических характеристик в первую очередь зависит от рельефа местности, а обычное представление без учета высот не является надежным.

Гидрологическая ЦМР главным образом должна представлять собой модель, в которой форма и направление смоделированных водных объектов будет совпадать с реальными объектами на исследуемой территории.

Построение карт-схем в *ArcGIS* в 2D

Основной задачей данной работы является представление распределения модуля стока и коэффициента вариации с учетом рельефа местности в 3D перспективе. Но для этого необходимо первым шагом построить изолинии на плоскости.

Аналогично программе *Surfer ArcGIS* строит изолинии по рассчитанным ранее основным характеристикам. Интерполяция значений так же производится по методу Кригинга.

Основным минусом программного обеспечения *ArcGIS* в отличие от *Surfer* является то, что проводится интерполяция значений не по всему выбранному водосбору, а лишь по четырем граничным точкам, что на выходе является прямоугольником.

Далее представлены изолинии, построенные с помощью интерполяции Кригинга для верхнего течения Оби и рек Северного Кавказа. Шаг выбран с учетом основных принципов построения карт изолиний.

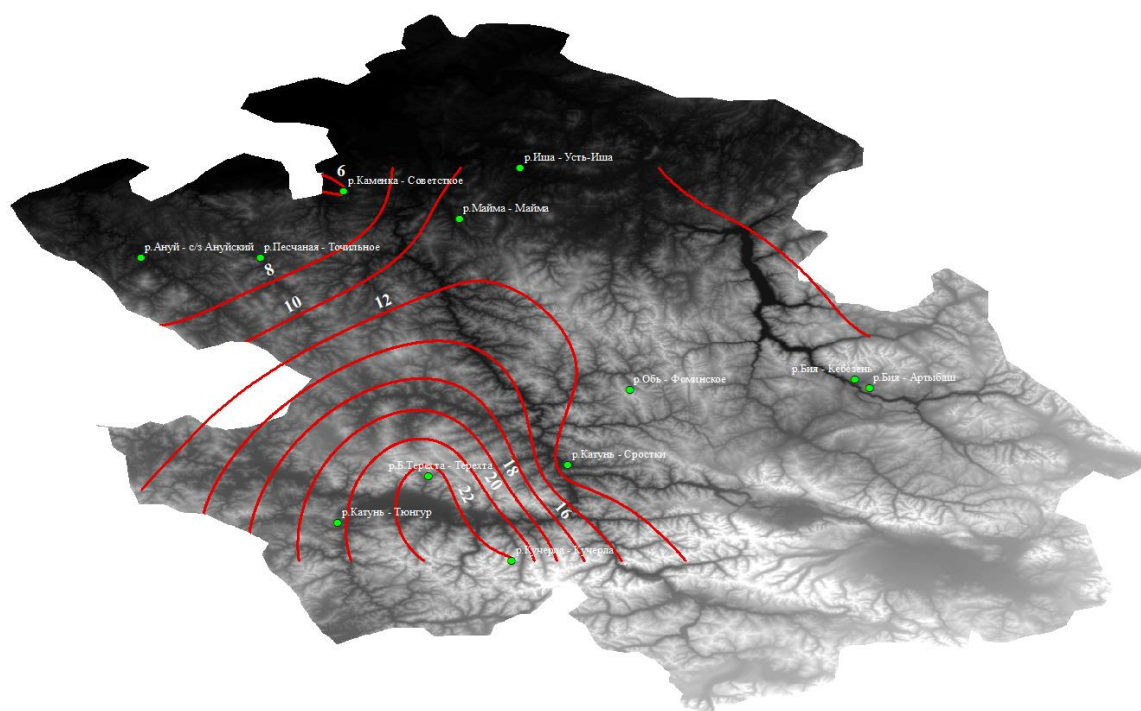


Рисунок 4.5.1 – Схема изолиний модуля стока для верхнего течения Оби с использованием программы *ArcGIS*.

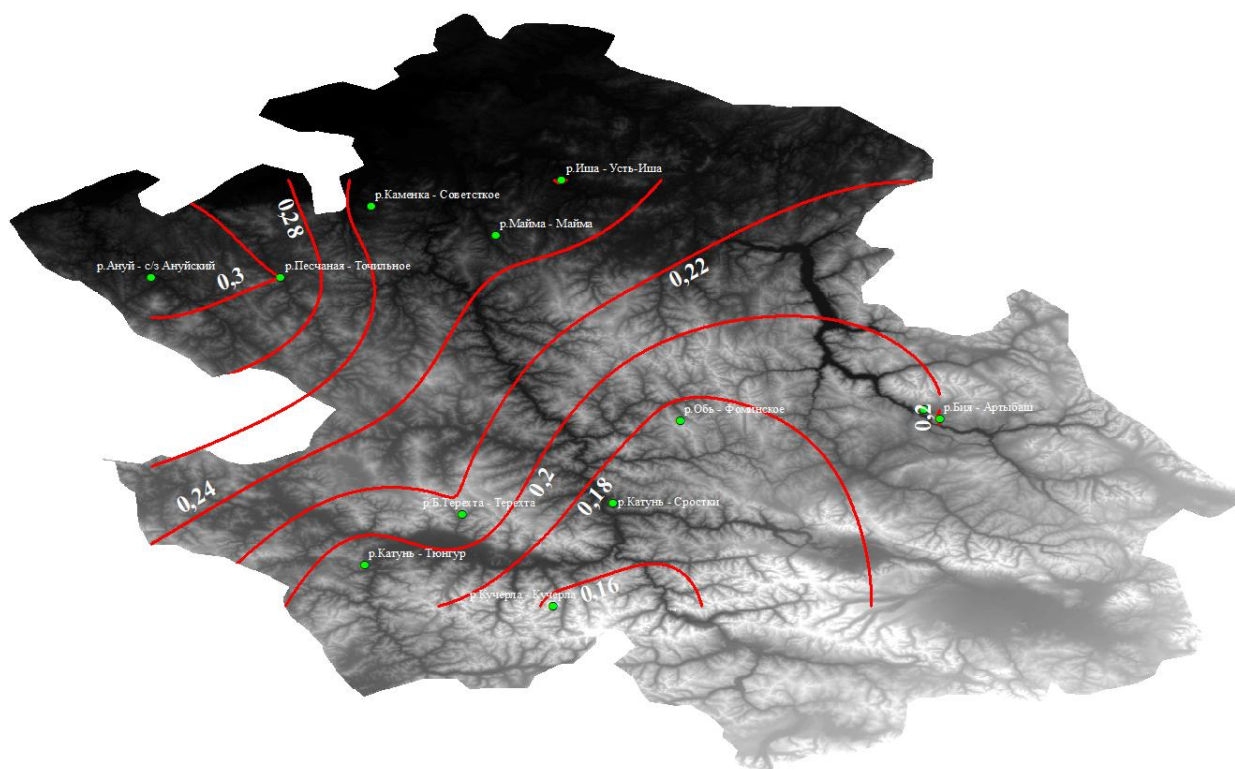


Рисунок 4.5.2 – Схема изолиний коэффициента вариации для верхнего течения Оби с использованием программы *ArcGIS*.

Уже на данном этапе можно увидеть значительные различия с построенными изолиниями в *Surfer*. В данном случае программа *ArcGIS* выполняет расчеты с наибольшей точностью, так как все построения выполняются с учетом всех неровностей поверхности земли. Данная функция не доступна в программе *Surfer*, так как не работает с 3D моделями поверхности Земли.

Рассмотрим, как поменялись изолинии модуля стока и коэффициента вариации на территории Северного Кавказа.

Алтайские горы, откуда берет начало река Обь значительно ниже гор Северного Кавказа. Именно этот фактор становится решающим в построении изолиний для высокогорного района. Можно заметить, как изолинии проходят через весь водосбор, разделяя его, это явление можно объяснить наличием высокогорных хребтов. В некоторых районах изолинии изображены замкнутыми.

Пересчет расстояния с учетом рельефа

На данном этапе уже были определены расстояния между центрами водосбора, но без учета рельефа местности.

Для всех построений в ArcGIS была выбрана единая система координат. Система координат – это основная структура, которая определяет положение объектов в 2-х или 3-х измерениях. В данной работе ей послужила GCS_WGS_1984. Это универсальная всемирная система геодезических параметров земли с погрешностью менее 2 см.

С помощью программы ArcGIS была построена линия, соединяющая точки центров, а впоследствии разбита на вершинах на отдельные отрезки. После этого был получен текстовый файл с подробными отметками изменения высоты на каждом участке линии. Таким образом было получено расстояние, являющееся наиболее достоверным.

Необходимо провести сравнение данных, полученных простым вычислением расстояний на 2D и 3D моделях.

Таблица 4.7 – Результаты сравнения расстояние между центрами водосборов верхнего течения Оби в 2D и 3D проекциях

№	Расстояние 3D, км	Расстояние 2D, км
1	47,0	45,4
2	77,0	75,9
3	220	210
4	39,2	38,7
5	192	183
6	200	192
7	172	170
8	172	163
9	46,4	45,2
10	307	290
11	7,92	7,79

В данном случае № участка обозначает путь от первого гидрологического поста до второго и так далее.

Как можно заметить, при небольших расстояниях разность между двумя моделями достигает порядка 0,2 км (участок №11), а при увеличении расстояния разность может достигать 20 км (участок №10). Аналогичная ситуация наблюдается и на реках Северного Кавказа.

Таблица 4.8 – Результаты сравнения расстояния между центрами водосборов рек Северного Кавказа в 2D и 3D проекциях

№	Расстояние 3D, км	Расстояние 2D, км
1	97,6	92,4
2	122	115
3	16,5	15,2
4	36,9	30,5
5	29,1	23,4
6	71,8	60,7
7	32,8	28,5
8	80,5	69,5
9	26,2	21,8
10	137	116
11	32,3	27,7
12	5,34	4,45
13	33,3	28,9
14	32,2	28,7
15	384	330
16	119	109
17	102	94,3
18	31,2	29,8
19	49,4	40,8
20	26,9	24,4
21	17,4	15,1
22	6,89	5,75
23	32,9	27,8
24	90,2	83,5

По полученным значениям можно определить, что некоторые существенные различия могут пагубно сказаться на точных расчётах, ведь разница в расстоянии, которая может составлять 20 км, не даст точных результатов.

В данном случае будет осуществлен пересчёт по методике Карасёва И.Ф с учетом вычисленных расстояний между центрами водосбора по 3D модели, и проведется сравнение моделей.

Пересчет по методике Карасёва И.Ф с учетом 3D расстояния

С учетом новых рассчитанных расстояний с помощью 3D модели были пересчитаны корреляционные критерии для верхнего течения Оби и Северного Кавказа, так как именно этот критерий напрямую связан с расстоянием между центрами водосбора.

Также с помощью программы *ArcGIS* был пересчитан градиентный критерий с использованием внутренних вспомогательных операций.

Таблица 4.9 – Сравнение результатов расчётов методом Карасёва И.Ф для верхнего течения Оби по 2D и 3D моделям

2D модель		3D модель	
$F_{\text{град}}, \text{км}^2$	4481	$F_{\text{град}}, \text{км}^2$	5535
$F_{\text{корел}}, \text{км}^2$	562	$F_{\text{корел}}, \text{км}^2$	178
$F_{\text{репр}}, \text{км}^2$	1700	$F_{\text{репр}}, \text{км}^2$	1700
$F_{\text{опт}}, \text{км}^2$	4500	$F_{\text{опт}}, \text{км}^2$	5550
$N_{\text{опт}}$	24	$N_{\text{опт}}$	19

Таким образом можно отметить, что корреляционный критерий существенно уменьшается, так как расстояние между центрами водосбора на 3D модели составляет большие значения.

Градиентный критерий наоборот приобретает большие значения. Это может быть связано с тем, что градиентное значение модуля стока рассчитывается так же с учётом неровностей рельефа, поэтому имеет более точное распределение.

Так как меняется градиентный критерий, согласно ему, подбирается оптимальная площадь водосбора, которая должна быть немного больше. Следовательно, меняется и количество постов, приходящихся на водосбор. Таким образом количество постов с 24 штук уменьшается до 19.

Аналогичная ситуация наблюдается и на водосборах рек Северного Кавказа.

Таблица 4.10 – Сравнение результатов расчётов методом Карасёва И.Ф для рек Северного Кавказа по 2D и 3D моделям.

2D модель		3D модель	
$F_{\text{град}}, \text{км}^2$	506	$F_{\text{град}}, \text{км}^2$	2106
$F_{\text{корел}}, \text{км}^2$	132	$F_{\text{корел}}, \text{км}^2$	499
$F_{\text{репр}}, \text{км}^2$	1850	$F_{\text{репр}}, \text{км}^2$	1850
$F_{\text{опт}}, \text{км}^2$	1900	$F_{\text{опт}}, \text{км}^2$	2150
$N_{\text{опт}}$	34	$N_{\text{опт}}$	30

Оптимальное количество постов с 34 уменьшается до 30 штук, что до сих пор является наименьшим числом, чем количество действующих постов в настоящее время.

Построение карт-схем в ArcGIS в 3D

На данном этапе распределение модуля стока в 2D выглядело следующим образом (рисунок 4.5.5). Чтобы представить это в 3D модель, необходимо задать координаты, соответствующие натуральной высоте. Для этого на цифровую модель рельефа гор Северного Кавказа было наложено распределение модуля стока по методу Кригинга.

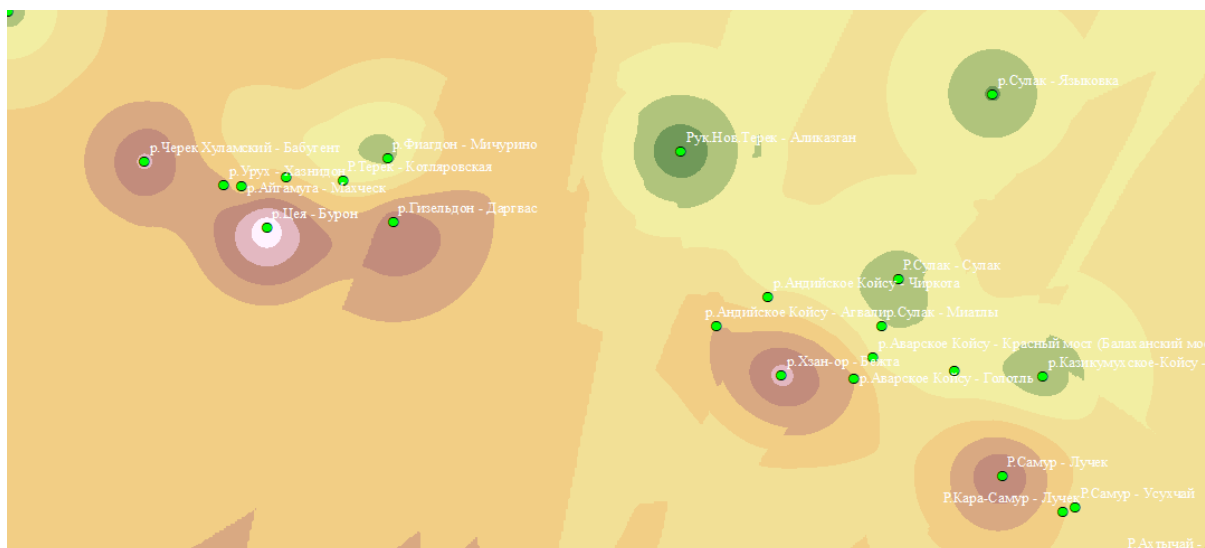


Рисунок 4.5.5 – Распределение модуля стока на реках Северного Кавказа с помощью метода Кригинга в 2D модели.

После выполнения всех манипуляций распределение модуля в 3D модели выглядит следующим образом (рисунок 4.5.6):

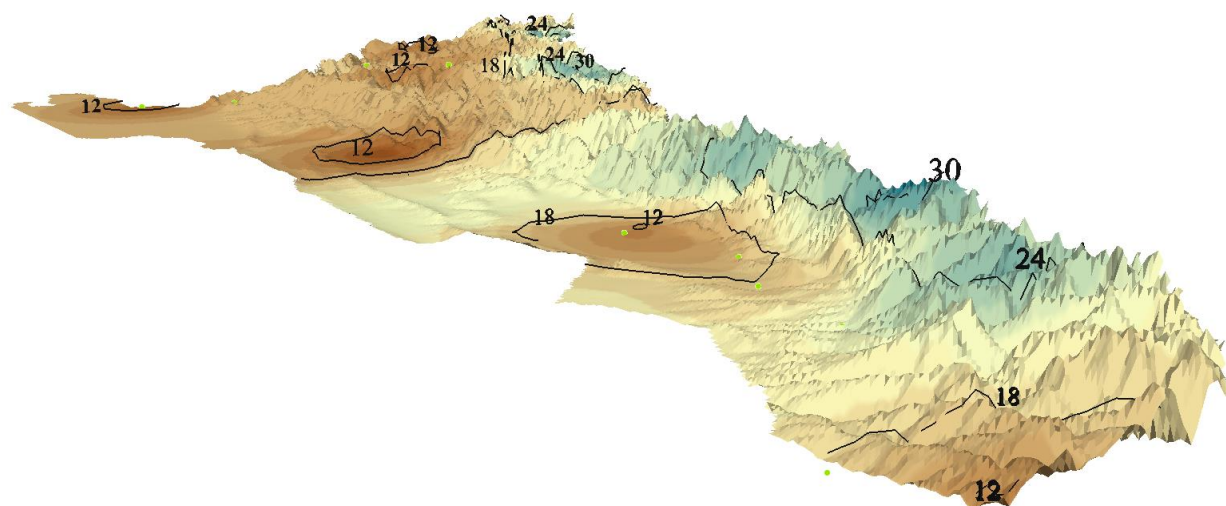


Рисунок 4.5.6 – Распределение модуля стока на реках Северного Кавказа с помощью метода Кригинга в 3D модели.

По полученной 3D можно без препятствий узнать не только необходимое значение исследуемой величины, но и понять природу ее формирования. Таким

образом можно увидеть постепенное увеличение модуля стока с повышением рельефа. Если в низинных территориях модуль стока достигает порядка 12 л/(с·км²), то на высокогорье его значение может превышать 30 л/(с·км²).

Для верхнего течения Оби построена аналогичная 3D модель.

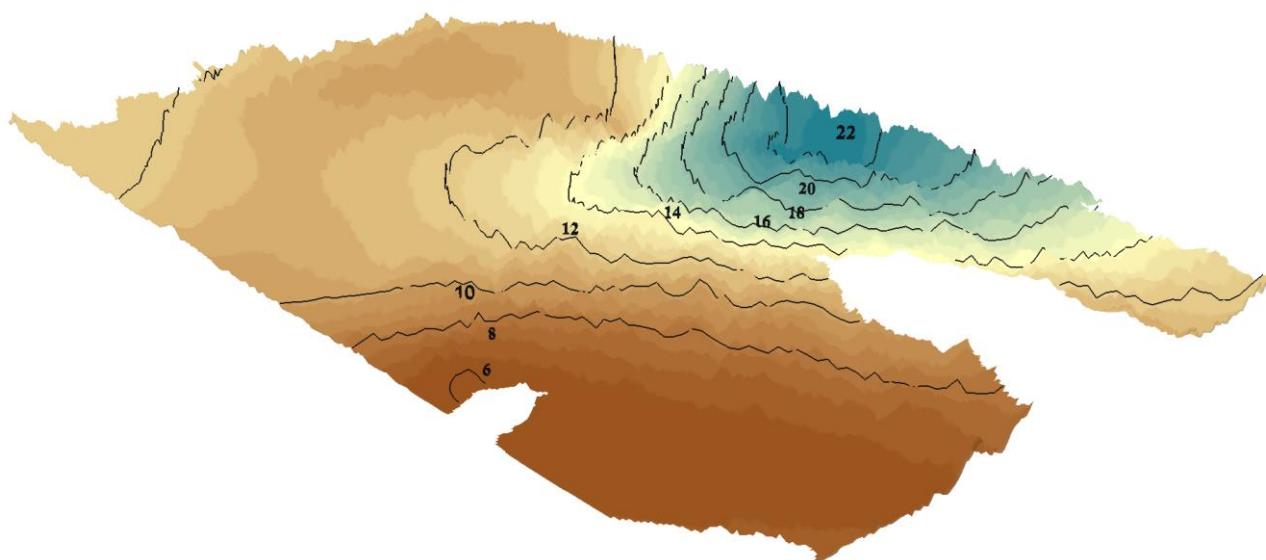


Рисунок 4.5.7 – Распределение модуля стока верхнего течения Оби с помощью метода Кригинга в 3D модели.

Основная проблема *ArcGIS* состоит в том, что программа строит распределение Кригинга не по всему водосбору, а лишь по крайним точкам, образуя прямоугольник.

Заключение

В ходе выполнения данной работы был собран массив среднегодовых расходов воды по территориям трех УГМС: Обь-Иртышского, Западно-Сибирского и Северо-Кавказского. Восстановлению не подлежали только данные с Обь-Иртышского УГМС в связи с их недостаточностью.

С помощью метода Карасёва И.Ф для верхнего течения Оби было найдено оптимальное число гидрологических постов, которое равнялось 24. На территории водосборов рек Бия и Катунь в данный момент действует 20 гидрологических постов, что говорит о небольшой недостаточности.

После проведения аналогичных расчётов по территории Северного Кавказа оптимальное количество постов должно достигать 34, но в настоящее время функционирует больше 40.

После этого были построены 3D модели выбранных участков, с помощью которых было найдено расстояние между центрами водосборов с учётом рельефа и выполнен пересчёт по методу Карасёва И.Ф.

С помощью автоматизированной программы *ArcGIS* были найдены интересующие характеристики с более высокой точностью, поэтому результаты по методу Карасёва И.Ф для 2D и 3D модели немного меняется.

Если раньше оптимальным числом гидрологических постов для верхнего течения Оби было 24, то теперь это количество равняется 19, а для рек Северного Кавказа – 30.

Список использованных источников

1. По Чеботарёву, А.И Изучение вод территории СССР и развитие гидрологии. [Электронный ресурс] – URL:<http://abratsev.ru/hydrosphere/history1.html> (Дата обращения 19.12.2022).
2. Росгидромет, история федеральной службы [Электронный ресурс] – URL:<https://www.meteorf.gov.ru/about/history/> (Дата обращения 13.01. 2023)
3. Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение «Государственный Гидрологический Иститут» (ФГБУ «ГГИ») Обзор состояния системы гидрологических наблюдений, обработки данных и подготовки информационной продукции в 2020 году, Росгидромет, 2021 [Электронный ресурс] – URL:[http:// www. hydrology.ru/sites/default/files/Books/obzor_seti_2020.pdf](http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/obzor_seti_2020.pdf) (Дата обращения 20.01.2023)
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6, часть I. [Электронный ресурс] – URL:[http://www.hydrology.ru/ sites/default/files/Books/nastavl_v6_ch1.pdf](http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/nastavl_v6_ch1.pdf) (Дата обращения 03.02.2023)
5. Карасев, И.Ф. О принципах размещения и перспективах развития гидрологической сети [Текст] / И.Ф. Карасев // Труды ГГИ.– 1968.– Вып. 164.– С.36.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 8 – Северный Кавказ, Гидрометеиздат, 1973 г. С.8 – 20
7. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 11 – Средний Урал и Приуралье, Гидрометеиздат, 1973 г. С 20 – 72
8. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 15 – выпуск 2 – Алтай и Западная Сибирь, Гидрометеиздат, 1969. С. 5 – 4
9. Учебно-методическое пособие Основы работы в программе «*Surfer*» // Издательство Казанского государственного университета, 2008. С.1 – 10
10. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс] – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (Дата обращения: 15.02.2023)

11. Ресурсы для ArcMap, ArcGIS Desktop [Электронный ресурс] – URL: <https://www.esri.com/ru> (Дата обращения: 02.04.2023)
12. Earth resources observation science (EROS) Center – USGS EROS Archive [Электронный ресурс] – URL: <https://www.usgs.gov/centers> (Дата обращения: 28.04.2023)
13. Владимирова А.М. Гидрологические расчёты // Ленинград Гидрометеоздат. – 1990 – С.81–86
14. Surfer 7 // Surface Mapping System 7 [Электронный ресурс]: GoldenSoftware Inc, 1997–2001. – URL: <http://www.goldensoftware.com>

Приложения

Приложение А – Исходные данные среднегодовых расходов воды на территории Обь-Иртышского УГМС

Фвод.	1680	10 600	1240	9800	27300	69100	87800	468	26800
Год	р.Щучья - Лаборовая	р.Щучья - Щучье	р.Собь - Харп	р.Сыня - Овгорт	р.Северная Сосьва - Хулимсунт	р.Северная Сосьва - Сартынья	р.Северная Сосьва - Игрим	р.Шома-Я - Шома-Я	р.Ляпин - Ломбовож
1952			37,5						
1953			32,1						
1954			31,7						
1955		73,7	26,3						
1956		99	26,6						
1957		143	35,8						
1958		106	26,8				834		
1959		139	33,6				733		
1960		71,4	24,8				545		
1961		92,5	30,6				666		
1962		125	36,6						
1963		90,5	32,6			572	638		
1964		92	20,8			580	721		
1965		135	34,2	132		858	1030		
1966	28,8	141	35,2			820	928		
1967	20,3	96,1	34,8			446	500		
1968	21,1		32,4	105		532	668		
1969	22,1		20,2	109		823	858		
1970			21,2	78,7		533	665		
1971			29,2	117		760	892	4,4	
1972						610	698	2,79	
1973						620	731	3,29	
1974			28,2			646	702	2,87	
1975			30,9	142		681	768	3,53	
1976			23,2	81,1		591	789	3,05	
1977			29,8	71,9		385	496	2,17	
1978			29,2	122		851	1090	3,89	
1979	23,8		32,5	107		758	1040		337
1980	23,1			72,4		441	579	1,75	190
1981			37,4	98,9	156	510	658	2,53	274
1982			39,1	103	161	587	707	2,84	274

Продолжение приложения А

1983				118	234	775	892	3,94	306
1984	29		36		146	604	736	3,45	332
1985	22,8	110	23,9		273	876	1070	3,28	295
1986	27,5	105	35,9	126	285	809	917	3,77	344
1987	27,2	119	32,7		233	759	871	3,13	309
1988	21,6	90,1	32,8	69,5	128	450	627	2,38	215
1989	24,7		38,7	65,7	153	435	583	2,54	184
1990	25,7	88,8	29,5	90,6	262	667		2,98	294
1991	30,4		46,1		220	758	837	3,72	393
1992	24,1		41,6	74,5	187	592	730	3,09	299
1993	30,7		45		219	714	913	4,24	308
1994			36,2			927	1040		
1995			51,9				786	2,39	
1996			37,6	98			738		
1997			37,5				823	3,07	
1998			41,5				806	4,18	
1999			41,3				1230	4,00	
2000	22,2		27,7	72,9			784		
2001	26,5		39,5	113			789	3,48	
2002	27,8		37,5				893	5,09	
2003	29,7		48,6	93,5		751	712	4,00	
2004	19		29,8	89,8		512	463	2,48	252
2005	30,8		46,5	82,8		475	431	1,77	
2006	24		38,4	118		782	635	5,09	
2007	32		35,1	225		808	604	3,29	
2008	28		45,8	143			584		
2009			37,7	95,9			524		
2010			47,5	79,6			370		
2011	19,8		46,4	82		571	458		
2012			31			541	448	1,81	
2013			26,2			378	366	1,8	
2014			41,3	151		788	603	3,55	
2015			53,4	169		674	636	2,83	
2016			32,1	103		704		4,23	
2017			36,8	133		780		3,28	
2018	26,7		34,3	96,7		645		2,93	
2019	34,5		55,4	112		954	720	5,29	
2020	33,8		44	118		745	717	3,84	

Приложение Б – Исходные данные среднегодовых расходов воды на территории Западно-Сибирского УГМС

Гводосбора	383	13 500	627	780	3360	58 400	1730	98200	4720	4870	20 100	21 000
Год	р.Б.Терехта - Терехта	р.Катунь - Тюнгур	р.Кучерла - Кучерла	р.Майма - Майма	р.Иша - Усть- Иша	р.Катунь - Сростки	р.Каменка - Советское	р.Обь - Фоминское	р.Песчаная - Точильное	р.Ануй - с/з Ануйский	р.Бия - Артыбаш	р.Бия - Кебезень
1962										32,5		
1963		232	11,7	7,54	24,7	506	8,45	961	24,8	24,6	155	178
1964	6,43	222		6,78	25	511	7,02	1000	20	23		199
1965	6,85	220		8,38	31,5	545	9,48	1010	22,9	23,5	181	204
1966	8,88	314	16,7	12,9	61,6	760	17,7	1460	34,6	42,5	305	325
1967	8,73	222	14,2	7,42	26,4	580	8,49	1100	22,6	22,7	266	303
1968	5,56	213	13	7,65	26	483	9,38	869	22,5	27,3	167	189
1969	10,5	347	18,3	16,2	64,6	867	17,6	1650	45,3	49,7	329	374
1970	8,15	313	14,7	12,8	40,3	760	11,7	1390	34,8	34,2	245	290
1971	11	322	15,5	7,07	32,9	682	10,7	1090	29,7	32,5	164	209
1972	9,29	264	13,7	8,58	33,9	590	9,68	1090	26,7	27,6	215	254
1973	10,6	296	12,4	10,5	39,7	752	13,8	1360	41,6	42,2	271	301
1974	4,85	164	11,2	8,52	39,7	413	10	849	18,5	19,7	172	182
1975	9,23	240	14,7	8,41	36	592	11,3	1090	25,7	32,8	246	263
1976	8,11	239	14,2	8,71	36,6	566	9,47	1070	27,7	28,2	218	242
1977	10	268	15,7	8,61	38	663	11,9	1180	29	31,8	220	245
1978	6,82	208	14,5	9,08	36,6	534	11,3	848	25,2	27,9	196	223
1979	8,31	286	15,2	8,06	40,2	645	10,4	1030	21,3	27,3	192	210
1980	6,74	208	16,5	7,49	27,8	573	7,28	1040	18,3	20	221	241
1981	6,29	193	17,3	6,3	25,2	540	6,22	945	13,3	15,8	194	216
1982	6,03	189	13,4	6,56	23,6	479	7,05	977	13,8	11,6	221	235
1983	8,72	259	12,5	7,99	35,1	622	8,31	1180	23,9	24,7	236	239
1984	9,44	289	13,5	12,2	45,9	700	11,5	1380	42,4	31,2	319	318
1985	8,42		10	10,6	36,6	626	11	1250	34,1	36,8	248	246
1986	6,4		11,2	6,85	26,5	574	8,16	1020	22,8	32,3	210	219
1987	8,98		14,1	9,8	42,1	637	9,45	1190	37,9	30,4	245	266
1988	8,96		12,2	7,79	34,3	682	9,68	1210	34,3	29	269	275
1989	7,57		10,3	6,48	29,8	566	7,92	962	22,7	25,2	201	200

Продолжение приложения Б

Год	р.Б.Терехта - Терехта	р.Катунь - Тюнгур	р.Кучерла - Кучерла	р.Майма - Майма	р.Иша - Усть- Иша	р.Катунь - Сростки	р.Каменка - Советское	р.Обь - Фоминское	р.Песчаная - Точильное	р.Ануй - с/з Ануйский	р.Бия - Артыбаш	р.Бия - Кебезень
1990	10,4		12	6,87	33,4	685	9,66	1150	28,8	30,2	231	243
1991	7,48		11,1	6,7	29,9	482	10	966	29,7	23,9	190	224
1992	9,9		10,9	9,72	34,9	651	9,96	1140	38,4	33	219	241
1993	9,6		13	10,2	43,5	656	12,4	1160	40,9	37,2	263	290
1994	8,51		13,2	8,38	34,2	562	8,11	1090	33,7	14,9	191	226
1995	9,54		13,9	10,6	37	578	10,8	1390	57	24,8		311
1996	8,32		13	9,97	26,6	560	6,65	992	40,4	18,9		193
1997	7,56		12,4	6,91	27,4	566	7,72	978	32,9	13,9		212
1998	8,57		12,4	4,32	21,9	519	9,87	849	31	20,9		167
1999	9,31		14,6	9,05	32,4	625	7	1040	36,6	15,9	261	261
2000	8,6		12,4	9,96	29,2	604	8,72	1120	44,6	26,6	238	236
2001	10,7	322	15,1	9,18	40,6	729	9,93	1460	46,9	29,3	241	238
2002	10,6	311	16	8,67	31,9	643	10,2	1190	32,9	35,7	172	178
2003	5,12	206	11	6,26	24,8	508	9,12	943	28,1	30,8	193	177
2004	7,88	289	14,1	7,01	33	768	10,9	1180	33,8	32,1	247	235
2005	7,27	290	14,4	7,91	27,6	750	10,3	1120	34,5	29,5	232	192
2006	9,33	312	12,1	8,95	45,5	790	15,4	1350	48,4	47,9	316	318
2007	10	320	15,7	5,62	30,5	743	9,33	1160	34,4	30,7	197	197
2008	7,08	229	15,6	5,08	20,1	678	6,19	958	25,6	20,9	197	204
2009	12,9	301	12,9	9,51	44,7	719	11,3	1320	52,8	41,2	280	292
2010	12,2	281	16,5	9,37	41,4	469	13,3	1340	53,2	42,9	333	367
2011	7,26	196	11,7	7,04	24	461	8,32	858	28,1	21,1	187	209
2012	6,29	189	13,8	5,55	14,5		5,5	804	23,6	21,5	166	197
2013	13,1	421	17,8	11,9	48,4		12,4	1690	43,8	46	303	298
2014	10,9	309	14,5	11,3	41,5		12,5	1440	43,2	47,5	254	264
2015	10,9	318	15	11,1	41,7		11,4	1300	33	37,8	204	232
2016	13,7	357	18,5	9,33	32,7		14	1300	44,6	46,5	282	286
2017	9,35	283	16,8	10,9	35,1		12,3	1090	41,1	42	254	261
2018	10,4	298	15,1	8,39	35,1	623	13,7	1110	43,1	43,1	263	282
2019	7,92	285	15,5	8,2	33,8	602	10,6	994	32,6	31,5	214	230
2020	8,01	256	17,5	9,25	43,1	644	12,7	1160	34,5	33	295	306

Приложение В – Исходные данные среднегодовых расходов воды на территории Северо-Кавказского УГМС

Гвод.	15 200	14 100	13 000	7 110	84,2	2 960	1850	1580	4 604	2 790	926	3620	481
Год	Р.Сулак - Сулак	р.Сулак - Языковка	р.Сулак - Миатлы	р.Аварское Койсу - Красный мост (Балаханский мост)	р.Хзан - ор - Бежта	р.Аварское Койсу - Голотль	р.Казикумухское Койсу - Гергебиль	р.Кара-Койсу - Гунибский мост (с.Хиндах)	р.Андийское Койсу - Чиркота	р.Андийское Койсу - Агвали	Р.Самур - Лучек	Р.Самур - Усухчай	Р.Кара - Самур - Лучек
1976	124		167	132	3,24	76	12,6	17,3	86,6	70	30,4	63,7	9,06
1977	130		155	95,6	2	65,2	10,5	14,4	68,6	67,5	24,2	57,2	6,43
1978	171		209	128	2,93	77,7	13,3	20,3	82,2	79	31,8	69,1	9,33
1979	105		159	96,6	2,28	68,5	12	18	64,3	63,2	27,6	58,8	9
1980	141		185	104	3,19	80,1	11	16,4	72,9	67,6	25,5	53,8	8,82
1981			166	104	2,18	57,8	16,8	15,1	71	54	24,8	60,7	9,22
1982	158		183	96,5	2,55	68,5	13,9	15,1	77,6	68,6	23,1	54,6	7,51
1983	127		170	118	2,92	73,9	17,5		69,9	60,4	36,1	69,8	9,56
1984	137		182	93,7	2,53	56,3	13,2		70,3	65,7	22,3	56,9	8,85
1985													
1986			118	78,4	2,09	51	11,4		57	49,6	25,8	42,8	8,82
1987			198	119	3,63	80	15,6	18,9	82,3	80,4	37,2	62,8	12
1988	166		188	137	3,51	93,4	27,5	25,6	79,5	78,2	40,5	76,5	15
1989	129		156	85,4	2,19	62,3	21,1	18,1	62,6	54,3	25,3	44,9	8,67
1990	244		221	152	3,92	109	26,2	27,2	99	89,6	37,3	62,7	10,7
1991	180	102	148	104	2,28	60,9	27,7	20,4	65,6	67,5	26,3	42,1	7,85
1992	178	117	158	111	3,24	72,7	20,5	15,8	79,9	73,4	28	61,2	11,1
1993	207	148	195	128	2,78	86,1	23,5	33,3	74,8	75,4	31,3	68,4	13,1
1994		68,1	120	91,2	2,10	57,5	11,9	13,5	54,3	48,8	21	38,8	8,16

Продолжение приложения В

1995		90,7	132	87,7	2,45	65,6	11	13,6	59,5	54,8	17,5	39,2	7,62
1996	84,8	81,4	128	82,3	2,09	56,3	10,5	12,8	63,7	60,5	16,7	38	5,89
1997	193		219	135	3,31	99,3	17,7		83,3		27	79,3	
1998			138	79,5	2,24	60,8			67,2		24,6	50,9	
1999			152	96,9	2,94	68,9			72,5	60,7	29,1	78,3	
2000	144		146	99	2,37	71,3	14,5		65,3	50,3	31,9	66,1	
2001	156			116	3,02	81,2	21,3	25,6	76,9	72	31,8	48,1	
2002	246		219	141	3,44	90,7	23,9	28,1	101	83,1	42,3	103	
2003	157			105	2,76	72,1	13,1		72,8		30,2	77,4	
2004													
2005													
2006													
2007													
2008		118	173	134	3,26	87,4	17		84,2		32,3	63,3	10,1
2009	157	131	184	120	3,72	86,5	15,8	26,9	80,6		30,8	70,3	9,89
2010	164	161	198	136	3,06	80,3	16,1	26,6	90,6		38,7	89,5	14,8
2011		121	169	101	2,97	68,5		24,4	74,8		32,1		9,64
2012	119	73,3	131	84,7	2,21	60	12,7	19,8	63,6		28	60	9,11
2013	173	120	179	98,3	3,15	58,4	16,1	23,5	92,2		29	75,6	9,17
2014	101	86,3	142	79,3	2,9	46,5	9,92	16,8	66,9		23	47,6	7,36
2015	120	106	140	91	2,7	61,4	12,5	20,8	83,7		29,1	57,5	9,34
2016	171	170	208	114	3,96	70,7	18,9	26,7	93,1		36,4		15,1
2017	126	89,5	188		2,05	46,8	10,2	18,9	69,1		30,8		14,7
2018	116		208	132	2,47	64,8	14,8	27,7	66,9		46,3		13,7
2019	124	78,2	194	63,3	2,35	54,7	13,4	21,7	69,3	49,8	19,7		11,7
2020	128	86,9	192	52,4	1,6	63,5	11,6	20,2	60,4	42,9	19,4		7,81

Продолжение приложения В

Гвод.	960	269	8 920	39 600	474	129	100	304	218	1 150	695	1 540
Год	Р.Ахтычай - Ахты	Р.Усухчай - Усухчай	Р.Терек - Котляровская	Рук.Нов.Терек - Аликазган	р.Фиэгдон - Мичурино	р.Гизельдон - Даргвас	р.Цея - Бурон	р.Белая - Кора- Урсдон	р.Айгамуга - Махческ	р.Урух - Хазнидон	р.Черек Хуламский - Бабугент	р.Малка - Каменноостское
1976	17		119	84		1,79	3,24	5,88	3,85	26,1	23,9	11,5
1977	16,1	5,77	115	130	4,54	2,77	3,26	6,42	3,22	23,1	24,4	18,4
1978	18,2	5,36	132	181	4,47	3,08	5,12	9,10	4,59	25,8	25,8	15,1
1979	15,1	4,38	109	97	5,14	3,24	3,80	6,59	5,93	24,6	28,6	13,2
1980	16	4,95	114	124	7,15	3,12	3,98	5,70	3,73	26,1	24,9	12,1
1981	17,2	6,97	137	146	5,44	3,18	4,12	7,43	5,25	28,1	27,6	16,8
1982	15,8	5,97	144	180	5,26	3,18	4,50	7,52	6,82	28,3	25,0	14,9
1983	18,8	5	118	75	4,57	2,65	3,89	6,89	3,90	26,2	26,0	18,2
1984	13,4	4,33	137	137	7,23	2,99	4,49	9,24	5,98	40,2	25,3	19,4
1985												
1986	10,6	2,86	98	72,7	3,20		5,02		4,87	32,1	23,9	13,6
1987	18,8	4,55	149		3,85		4,52		5,00		33,2	12,6
1988	31,1	7,46	149	186		3,33	4,91	6,26	2,76		29,3	14,4
1989	15,9	3,94	150	133			4,53	4,98	3,66	29,7	32,3	12,9
1990	20,7		170	215	6,7		4,08	6,7	2,99		29,6	13,5
1991	14,7	3,63	149	152	4,65		3,01	4,61	3,25		24,4	12,5
1992	20,3	4,04	173		6,23		2,59	6,2	2,66	31	24,3	15,2
1993	26,2	5,86	166		4,85	4,08	3,37	6,46		36,2	23,4	15,9
1994	14,3	4,06	104		2,41	3,25	3,62	4,37	2,24	25,4	17,7	9,99
1995	16,3	4,67	150		3,53	4,48	5,36	5,77	3,27	34,3		12,4
1996	13,2		123		4,72		5,22	5,92	5,12	33,1		13,9

Продолжение приложения В

1997	26	5,62	141		4,42	4,7	4,77	7,33	2,86	44,7		15,2
1998	11,6	5	130		3,5	5,62	5,07	4,2	3,99	45,9		15,3
1999	15,2	5,44	127		3,01	3,62	4,39	2,6	1,83	28,9		11,2
2000	16,5	5,11	120		4,11	3,87	5,08	2,96		43,6		14,5
2001	13,1	5,25	114		3,17	3,68	2,38	4,42	4,16			11,6
2002	18,4	8,88	142		9,72	8,32	2,36	4,29		45,4		20,9
2003	16,6	7,42	117		5,58	5,99		2,00		32,4		21,4
2004												
2005												
2006												
2007												
2008	17,9		149	244	5,41	5,33	4,29	10,6		38	17,6	16
2009	19,9	3,39	133	226	5,84	5,26	3,19	8,79		30,9	15,4	18,6
2010	25,4		156		6,38	6,2	4,91	6,69		45,7	21,6	18
2011	26,6	3,13	132		5,85	5,12	4,72	5,82		27,1	17,3	14,8
2012	16,6			269	6,17	4,32	2,66	2,89		25,5	19,6	16,9
2013	14,8		136	249	5,1	4,17	2,77	5,06		25,3	17,9	16,1
2014	15,1	2,34	137	231	4,27	5,31	2,73	4,41		19,6	16,6	15,2
2015	17,6	1,87	128	209	3,99	4,14	3,01	5,16		19,4	20	15,2
2016	25,2		142	257	4,66	4,24	2,69	4,87		18,9	20	14,5
2017	24,6		133	227	4,59	1,65	2,97	6,4		23,7	19	16,5
2018	27,2		138	228	4,53		4,1	6,56		22,3	16,7	16,1
2019	17,3		136	192	4,72		2,79	8,22		11,9	18,2	16,1
2020	21		115	141	3,21	2,02	4,31	8,22		11,9	12	15

Приложение Г – Восстановленные данные среднегодовых расходов воды на территории Западно-Сибирского УГМС

Год	р.Б.Терехта - Терехта	р.Катунь - Тюнгур	р.Кучерла - Кучерла	р.Майма - Майма	р.Иша - Усть-Иша	р.Катунь - Сростки	р.Каменка - Советское	р.Обь - Фоминское	р.Песчаная - Точильное	р.Ануй - с/з Ануйский	р.Бия - Артыбаш	р.Бия - Кебезень
1962										32,5		
1963	8,00	232	11,7	7,54	24,7	506	8,45	961	24,8	24,6	155	178
1964	6,43	222	9,98	6,78	25	511	7,02	1000	20	23	188	199
1965	6,85	220	10,1	8,38	31,5	545	9,48	1010	22,9	23,5	181	204
1966	8,88	314	16,7	12,9	61,6	760	17,7	1460	34,6	42,5	305	325
1967	8,73	222	14,2	7,42	26,4	580	8,49	1100	22,6	22,7	266	303
1968	5,56	213	13	7,65	26	483	9,38	869	22,5	27,3	167	189
1969	10,5	347	18,3	16,2	64,6	867	17,6	1650	45,3	49,7	329	374
1970	8,15	313	14,7	12,8	40,3	760	11,7	1390	34,8	34,2	245	290
1971	11	322	15,5	7,07	32,9	682	10,7	1090	29,7	32,5	164	209
1972	9,29	264	13,7	8,58	33,9	590	9,68	1090	26,7	27,6	215	254
1973	10,6	296	12,4	10,5	39,7	752	13,8	1360	41,6	42,2	271	301
1974	4,85	164	11,2	8,52	39,7	413	10	849	18,5	19,7	172	182
1975	9,23	240	14,7	8,41	36	592	11,3	1090	25,7	32,8	246	263
1976	8,11	239	14,2	8,71	36,6	566	9,47	1070	27,7	28,2	218	242
1977	10	268	15,7	8,61	38	663	11,9	1180	29	31,8	220	245
1978	6,82	208	14,5	9,08	36,6	534	11,3	848	25,2	27,9	196	223
1979	8,31	286	15,2	8,06	40,2	645	10,4	1030	21,3	27,3	192	210
1980	6,74	208	16,5	7,49	27,8	573	7,28	1040	18,3	20	221	241
1981	6,29	193	17,3	6,3	25,2	540	6,22	945	13,3	15,8	194	216
1982	6,03	189	13,4	6,56	23,6	479	7,05	977	13,8	11,6	221	235
1983	8,72	259	12,5	7,99	35,1	622	8,31	1180	23,9	24,7	236	239
1984	9,44	289	13,5	12,2	45,9	700	11,5	1380	42,4	31,2	319	318
1985	8,42	290	10	10,6	36,6	626	11	1250	34,1	36,8	248	246
1986	6,4	240	11,2	6,85	26,5	574	8,16	1020	22,8	32,3	210	219
1987	8,98	277	14,1	9,8	42,1	637	9,45	1190	37,9	30,4	245	266
1988	8,96	281	12,2	7,79	34,3	682	9,68	1210	34,3	29	269	275
1989	7,57	228	10,3	6,48	29,8	566	7,92	962	22,7	25,2	201	200

Продолжение приложения Г

1990	10,4	268	12	6,87	33,4	685	9,66	1150	28,8	30,2	231	243
1991	7,48	228	11,1	6,7	29,9	482	10	966	29,7	23,9	190	224
1992	9,9	266	10,9	9,72	34,9	651	9,96	1140	38,4	33	219	241
1993	9,6	271	13	10,2	43,5	656	12,4	1160	40,9	37,2	263	290
1994	8,51	255	13,2	8,38	34,2	562	8,11	1090	33,7	14,9	191	226
1995	9,54	321	13,9	10,6	37	578	10,8	1390	57	24,8	290	311
1996	8,32	234	13	9,97	26,6	560	6,65	992	40,4	18,9	183	193
1997	7,56	231	12,4	6,91	27,4	566	7,72	978	32,9	13,9	200	212
1998	8,57	203	12,4	4,32	21,9	519	9,87	849	31	20,9	159	167
1999	9,31	245	14,6	9,05	32,4	625	7	1040	36,6	15,9	261	261
2000	8,6	262	12,4	9,96	29,2	604	8,72	1120	44,6	26,6	238	236
2001	10,7	322	15,1	9,18	40,6	729	9,93	1460	46,9	29,3	241	238
2002	10,6	311	16	8,67	31,9	643	10,2	1190	32,9	35,7	172	178
2003	5,12	206	11	6,26	24,8	508	9,12	943	28,1	30,8	193	177
2004	7,88	289	14,1	7,01	33	768	10,9	1180	33,8	32,1	247	235
2005	7,27	290	14,4	7,91	27,6	750	10,3	1120	34,5	29,5	232	192
2006	9,33	312	12,1	8,95	45,5	790	15,4	1350	48,4	47,9	316	318
2007	10	320	15,7	5,62	30,5	743	9,33	1160	34,4	30,7	197	197
2008	7,08	229	15,6	5,08	20,1	678	6,19	958	25,6	20,9	197	204
2009	12,9	301	12,9	9,51	44,7	719	11,3	1320	52,8	41,2	280	292
2010	12,2	281	16,5	9,37	41,4	469	13,3	1340	53,2	42,9	333	367
2011	7,26	196	11,7	7,04	24	461	8,32	858	28,1	21,1	187	209
2012	6,29	189	13,8	5,55	14,5	483	5,5	804	23,6	21,5	166	197
2013	13,1	421	17,8	11,9	48,4	921	12,4	1690	43,8	46	303	298
2014	10,9	309	14,5	11,3	41,5	710	12,5	1440	43,2	47,5	254	264
2015	10,9	318	15	11,1	41,7	727	11,4	1300	33	37,8	204	232
2016	13,7	357	18,5	9,33	32,7	800	14	1300	44,6	46,5	282	286
2017	9,35	283	16,8	10,9	35,1	661	12,3	1090	41,1	42	254	261
2018	10,4	298	15,1	8,39	35,1	623	13,7	1110	43,1	43,1	263	282
2019	7,92	285	15,5	8,2	33,8	602	10,6	994	32,6	31,5	214	230
2020	8,01	256	17,5	9,25	43,1	644	12,7	1160	34,5	33	295	306

Приложение Д – Восстановленные среднегодовых расходов воды на территории Северо-Кавказского УГМС

Гводосб	15 200	14 100	13 000	7 110	84,2	2 960	1850	1580	4 604	2 790	926	3620	481
Год	Р.Сулак - Сулак	р.Сулак - Языковка	р.Сулак - Миатлы	р.Аварское Койсу - Красный мост	р.Хзан- ор - Бежта	р.Аварское Койсу - Голотль	р.Казикумукское- Койсу - Гергебиль	р.Кара- Койсу - Гунибский мост	р.Андийское Койсу - Чиркота	р.Андийское Койсу - Агвали	Р.Самур - Лучек	Р.Самур - Усухчай	Р.Кара- Самур - Лучек
1976	124	140	167	132	3,24	76	12,6	17,3	86,6	70	30,4	63,7	9,06
1977	130	98,8	155	95,6	2	65,2	10,5	14,4	68,6	67,5	24,2	57,2	6,43
1978	171	130	209	128	2,93	77,7	13,3	20,3	82,2	79	31,8	69,1	9,33
1979	105	89,0	159	96,6	2,28	68,5	12	18	64,3	63,2	27,6	58,8	9
1980	141	109	185	104	3,19	80,1	11	16,4	72,9	67,6	25,5	53,8	8,82
1981	154	104	166	104	2,18	57,8	16,8	15,1	71	54	24,8	60,7	9,22
1982	158	119	183	96,5	2,55	68,5	13,9	15,1	77,6	68,6	23,1	54,6	7,51
1983	127	102	170	118	2,92	73,9	17,5	24,4	69,9	60,4	36,1	69,8	9,56
1984	137	103	182	93,7	2,53	56,3	13,2	17,1	70,3	65,7	22,3	56,9	8,85
1985													
1986	126	72,3	118	78,4	2,09	51	11,4	18,9	57	49,6	25,8	42,8	8,82
1987	148	130	198	119	3,63	80	15,6	18,9	82,3	80,4	37,2	62,8	12
1988	166	124	188	137	3,51	93,4	27,5	25,6	79,5	78,2	40,5	76,5	15
1989	129	85,1	156	85,4	2,19	62,3	21,1	18,1	62,6	54,3	25,3	44,9	8,67
1990	244	168	221	152	3,92	109	26,2	27,2	99	89,6	37,3	62,7	10,7
1991	180	102	148	104	2,28	60,9	27,7	20,4	65,6	67,5	26,3	42,1	7,85
1992	178	117	158	111	3,24	72,7	20,5	15,8	79,9	73,4	28	61,2	11,1
1993	207	148	195	128	2,78	86,1	23,5	33,3	74,8	75,4	31,3	68,4	13,1
1994	128	68,1	120	91,2	2,10	57,5	11,9	13,5	54,3	48,8	21	38,8	8,16
1995	123	90,7	132	87,7	2,45	65,6	11	13,6	59,5	54,8	17,5	39,2	7,62

Продолжение приложения Д

1996	84,8	81,4	128	82,3	2,09	56,3	10,5	12,8	63,7	60,5	16,7	38	5,89
1997	193	132	219	135	3,31	99,3	17,7	19,6	83,3	78,6	27	79,3	13,0
1998	143	95,6	138	79,5	2,24	60,8	14,7	18,3	67,2	53,8	24,6	50,9	6,95
1999	137	108	152	96,9	2,94	68,9	13,5	20,7	72,5	60,7	29,1	78,3	8,47
2000	144	91,3	146	99	2,37	71,3	14,5	22,2	65,3	50,3	31,9	66,1	9,02
2001	156	118	192	116	3,02	81,2	21,3	25,6	76,9	72	31,8	48,1	7,58
2002	246	173	219	141	3,44	90,7	23,9	28,1	101	83,1	42,3	103	9,82
2003	157	108	176	105	2,76	72,1	13,1	21,3	72,8	65,2	30,2	77,4	9,06
2004													
2005													
2006													
2007													
2008	155	118	173	134	3,26	87,4	17	22,4	84,2	78,1	32,3	63,3	10,1
2009	157	131	184	120	3,72	86,5	15,8	26,9	80,6	71,9	30,8	70,3	9,89
2010	164	161	198	136	3,06	80,3	16,1	26,6	90,6	79,0	38,7	89,5	14,8
2011	163	121	169	101	2,97	68,5	18,6	24,4	74,8	63,4	32,1	67,5	9,64
2012	119	73,3	131	84,7	2,21	60	12,7	19,8	63,6	56,1	28	60	9,11
2013	173	120	179	98,3	3,15	58,4	16,1	23,5	92,2	62,2	29	75,6	9,17
2014	101	86,3	142	79,3	2,9	46,5	9,92	16,8	66,9	53,7	23	47,6	7,36
2015	120	106	140	91	2,7	61,4	12,5	20,8	83,7	58,9	29,1	57,5	9,34
2016	171	170	208	114	3,96	70,7	18,9	26,7	93,1	69,2	36,4	75,5	15,1
2017	126	89,5	188	72,8	2,05	46,8	10,2	18,9	69,1	50,8	30,8	65,1	14,7
2018	116	94,9	208	132	2,47	64,8	14,8	27,7	66,9	77,2	46,3	94,0	13,7
2019	124	78,2	194	63,3	2,35	54,7	13,4	21,7	69,3	49,8	19,7	44,4	11,7
2020	128	86,9	192	52,4	1,6	63,5	11,6	20,2	60,4	42,9	19,4	43,8	7,81

Продолжение приложения Д

Гвод.	960	269	8 920	39 600	474	129	100	304	218	1 150	695	1 540
Год	Р.Ахтычай - Ахты	Р.Усухчай - Усухчай	Р.Терек - Котляровская	Рук.Нов.Терек - Аликазган	р.Фиэгдон - Мичурино	р.Гизельдон - Даргвас	р.Цея - Бурон	р.Белая - Кора- Урсдон	р.Айгамуга - Махческ	р.Урух - Хазнидон	р.Черек Хуламский - Бабугент	р.Малка - Каменноостское
1976	17	4,16	119	84	3,70	1,79	3,24	5,88	3,85	26,1	23,9	11,5
1977	16,1	5,77	115	130	4,54	2,77	3,26	6,42	3,22	23,1	24,4	18,4
1978	18,2	5,36	132	181	4,47	3,08	5,12	9,10	4,59	25,8	25,8	15,1
1979	15,1	4,38	109	97	5,14	3,24	3,80	6,59	5,93	24,6	28,6	13,2
1980	16	4,95	114	124	7,15	3,12	3,98	5,70	3,73	26,1	24,9	12,1
1981	17,2	6,97	137	146	5,44	3,18	4,12	7,43	5,25	28,1	27,6	16,8
1982	15,8	5,97	144	180	5,26	3,18	4,50	7,52	6,82	28,3	25,0	14,9
1983	18,8	5	118	75	4,57	2,65	3,89	6,89	3,90	26,2	26,0	18,2
1984	13,4	4,33	137	137	7,23	2,99	4,49	9,24	5,98	40,2	25,3	19,4
1985												
1986	10,6	2,86	98	72,7	3,20	2,18	5,02	6,78	4,87	32,1	23,9	13,6
1987	18,8	4,55	149	117	3,85	2,71	4,52	6,87	5,00	25,3	33,2	12,6
1988	31,1	7,46	149	186	4,63	3,33	4,91	6,26	2,76	27,5	29,3	14,4
1989	15,9	3,94	150	133	4,15	2,91	4,53	4,98	3,66	29,7	32,3	12,9
1990	20,7	7,85	170	215	6,7	3,90	4,08	6,7	2,99	29,5	29,6	13,5
1991	14,7	3,63	149	152	4,65	3,14	3,01	4,61	3,25	26,8	24,4	12,5
1992	20,3	4,04	173	170	6,23		2,59	6,2	2,66	31	24,3	15,2
1993	26,2	5,86	166	202	4,85	4,08	3,37	6,46	4,14	36,2	23,4	15,9
1994	14,3	4,06	104	168	2,41	3,25	3,62	4,37	2,24	25,4	17,7	9,99
1995	16,3	4,67	150	219	3,53	4,48	5,36	5,77	3,27	34,3	20,88	12,4
1996	13,2	2,96	123	224	4,72	4,01	5,22	5,92	5,12	33,1	20,67	13,9

Продолжение приложения Д

1997	26	5,62	141	228	4,42	4,7	4,77	7,33	2,86	44,7	20,47	15,2
1998	11,6	5	130	266	3,5	5,62	5,07	4,2	3,99	45,9	18,76	15,3
1999	15,2	5,44	127	184	3,01	3,62	4,39	2,6	1,83	28,9	22,48	11,2
2000	16,5	5,11	120	194	4,11	3,87	5,08	2,96	2,43	43,6	22,01	14,5
2001	13,1	5,25	114	186	3,17	3,68	2,38	4,42	4,16	28,7	22,36	11,6
2002	18,4	8,88	142	378	9,72	8,32	2,36	4,29	3,08	45,4	13,74	20,9
2003	16,6	7,42	117	281	5,58	5,99	4,04	2,00	1,96	32,4	18,07	21,4
2004												
2005												
2006												
2007												
2008	17,9	5,11	149	244	5,41	5,33	4,29	10,6	6,16	38	17,6	16
2009	19,9	3,39	133	226	5,84	5,26	3,19	8,79	5,28	30,9	15,4	18,6
2010	25,4		156	290	6,38	6,2	4,91	6,69	4,25	45,7	21,6	18
2011	26,6	3,13	132	245	5,85	5,12	4,72	5,82	3,83	27,1	17,3	14,8
2012	16,6	4,01	150	269	6,17	4,32	2,66	2,89	2,40	25,5	19,6	16,9
2013	14,8	5,67	136	249	5,1	4,17	2,77	5,06	3,46	25,3	17,9	16,1
2014	15,1	2,34	137	231	4,27	5,31	2,73	4,41	3,14	19,6	16,6	15,2
2015	17,6	1,87	128	209	3,99	4,14	3,01	5,16	3,51	19,4	20	15,2
2016	25,2	5,61	142	257	4,66	4,24	2,69	4,87	3,37	18,9	20	14,5
2017	24,6	4,23	133	227	4,59	1,65	2,97	6,4	4,11	23,7	19	16,5
2018	27,2	3,92	138	228	4,53	4,06	4,1	6,56	4,19	22,3	16,7	16,1
2019	17,3	4,16	136	192	4,72	3,63	2,79	8,22	5,00	11,9	18,2	16,1
2020	21	4,29	115	141	3,21	2,02	4,31	8,22	5,00	11,9	12	15

Приложение Е – Расчет расстояния между центрами водосборов и их корреляционной функции для района верхнего течения Оби

Река-пост	Б.Терехта - Терехта	Катунь - Тюнгур	Кучерла - Кучерла	Майма - Майма	Иша - Усть-Иша	Катунь - Сростки	Каменка - Советское	Обь - Фоминское	Песчаная - Точильное	Ануй - с/з Ануйский	Бия - Артыбаш	Бия - Кебезень
Б.Терехта - Терехта	1	0,81	0,44	0,46	0,52	0,66	0,55	0,73	0,72	0,67	0,56	0,57
Катунь - Тюнгур	32,2	1	0,48	0,61	0,65	0,87	0,66	0,87	0,70	0,75	0,60	0,55
Кучерла - Кучерла	34,0	1,9	1	0,33	0,37	0,48	0,39	0,41	0,24	0,36	0,39	0,41
Майма - Майма	193,1	206,6	207,9	1	0,83	0,55	0,69	0,77	0,58	0,61	0,65	0,70
Иша - Усть-Иша	213,2	225,8	227,1	20,5	1	0,61	0,83	0,79	0,53	0,68	0,71	0,74
Катунь - Сростки	238,0	252,7	254,1	46,7	30,9	1	0,60	0,80	0,53	0,68	0,59	0,50
Каменка - Советское	227,4	245,0	246,4	48,4	43,0	26,3	1	0,69	0,58	0,86	0,68	0,70
Обь - Фоминское	254,6	275,3	277,0	90,0	84,8	60,7	42,2	1	0,70	0,72	0,79	0,76
Песчаная - Точильное	221,1	242,2	243,8	68,1	70,3	57,9	31,7	33,4	1	0,62	0,68	0,62
Ануй - с/з Ануйский	246,3	273,0	274,8	135,9	140,1	125,2	100,1	71,3	69,8	1	0,63	0,61
Бия - Артыбаш	196,0	192,8	193,3	103,5	105,8	133,9	148,4	190,5	171,6	238,7	1	0,94
Бия - Кебезень	203,1	202,2	202,8	91,4	91,6	118,8	134,5	176,5	159,1	227,2	16,6	1

Приложение Ж – Расчет расстояния между центрами водосборов и их корреляционной функции для рек Северного Кавказа

Река - пост	Сулак - Сулак	Сулак - Языковка	Сулак - Миатлы	Ав.Койсу - Красный мост	Хзан-ор - Бежта	Ав. Койсу - Голотль	Каз..Койсу - Гергебиль	Кара-Койсу - Гунибский мост	р.Анд. Койсу - Чиркота	р.Анд. Койсу - Агвали	Р.Самур - Лучек
Р.Сулак - Сулак	1	0,79	0,62	0,66	0,59	0,71	0,75	0,57	0,71	0,66	0,48
р.Сулак - Языковка	41	1	0,72	0,79	0,81	0,75	0,56	0,60	0,91	0,80	0,62
р.Сулак - Миатлы	55	32	1	0,58	0,56	0,62	0,41	0,60	0,68	0,66	0,58
р.Аварское Койсу - Красный мост	89	89	60	1	0,75	0,84	0,59	0,55	0,71	0,91	0,76
р.Хзан-ор - Бежта	163	150	118	78	1	0,73	0,47	0,50	0,83	0,75	0,60
р.Аварское Койсу - Голотль	121	106	74	42	44	1	0,59	0,53	0,65	0,81	0,55
р.Казикумух.-Койсу - Гергебиль	93	94	66	7	78	45	1	0,59	0,46	0,56	0,51
р.Кара-Койсу - Гунибский мост	106	108	78	19	69	44	14	1	0,52	0,48	0,75
р.Андийское Койсу - Чиркота	81	67	35	32	84	40	38	49	1	0,75	0,60
р.Андийское Койсу - Агвали	133	112	82	64	44	23	67	66	53	1	0,66
Р.Самур - Лучек	184	195	167	108	106	118	101	89	138	136	1
Р.Самур - Усухчай	205	224	201	144	155	163	137	128	176	183	50
Р.Кара-Самур - Лучек	184	195	167	108	106	118	101	89	138	136	0
Р.Ахтычай - Ахты	201	218	193	135	143	152	129	118	167	172	38
Р.Усухчай - Усухчай	208	227	203	146	157	165	139	129	177	184	51
Р.Терек - Котляровская	262	221	215	245	223	214	251	255	217	193	327
Рук.Нов.Терек - Аликазган	42	43	74	124	191	148	129	142	107	155	224
р.Фиагдон - Мичурино	236	197	184	203	172	168	209	211	178	145	277
р.Гизельдон - Даргвас	238	201	184	193	150	154	198	198	172	131	256
р.Цея - Бурон	272	235	218	226	179	186	231	230	206	164	284
р.Белая - Кора-Урсдон	262	223	209	226	189	189	231	233	202	167	294
р.Айгамуга - Махческ	284	246	231	244	200	205	249	249	222	183	305
р.Урух - Хазнидон	277	237	226	245	209	209	250	252	220	186	315
р.Черек Хуламский - Бабугент	299	260	249	269	232	232	274	276	244	210	338
р.Малка - Каменноостское	340	299	294	322	292	288	328	331	295	266	398

Продолжение приложения Ж

Река - пост	Самур - Усукчай	К.Самур - Лучек	Ахтычай - Ахты	Усукчай- Усукчай	Терек – Котляр.	Терек - Аликазган	р.Фиадон - Мичурино	р.Гизельдон - Даргвас	р.Цея - Бурон	р.Белая - Кора- Урсдон	р.Айгамуга - Махческ	р.Урух - Хазнидон	р.Черек - Бабугент	р.Малка – Каменн.
Р.Сулак - Сулак	0,49	0,34	0,36	0,69	0,53	0,40	0,51	0,41	-0,15	0,04	-0,20	0,39	0,06	0,22
р.Сулак - Языковка	0,65	0,48	0,48	0,58	0,48	0,37	0,47	0,40	-0,13	0,13	-0,04	0,30	0,09	0,20
р.Сулак - Миатлы	0,62	0,60	0,60	0,55	0,35	0,25	0,42	0,16	-0,12	0,38	0,16	0,02	0,02	0,30
р.Аварское Койсу - Красный мост	0,67	0,46	0,47	0,53	0,41	0,20	0,38	0,32	0,01	0,16	-0,10	0,40	0,25	0,11
р.Хзан-ор - Бежта	0,54	0,45	0,39	0,36	0,42	0,26	0,37	0,37	-0,17	0,08	-0,15	0,17	0,13	0,04
р.Аварское Койсу - Голотль	0,49	0,35	0,45	0,59	0,37	0,18	0,34	0,31	0,10	0,18	-0,11	0,38	0,21	0,04
р.Казикумух.Койсу - Гергебиль	0,30	0,35	0,40	0,46	0,58	0,18	0,29	0,23	-0,15	-0,03	-0,20	0,23	0,28	0,00
р.Кара-Койсу - Гунибский мост	0,63	0,57	0,57	0,33	0,32	0,40	0,27	0,39	-0,22	0,01	-0,10	0,12	-0,18	0,30
р.Анд.Койсу - Чиркота	0,65	0,43	0,37	0,51	0,45	0,42	0,51	0,41	-0,26	0,14	-0,03	0,20	0,02	0,25
р.Анд.Койсу - Агвали	0,59	0,42	0,43	0,48	0,51	0,24	0,48	0,33	-0,03	0,25	0,03	0,32	0,26	0,15
Р.Самур - Лучек	0,82	0,64	0,59	0,40	0,28	0,29	0,32	0,29	-0,11	-0,05	-0,17	0,16	0,09	0,24
Р.Самур - Усукчай	1	0,60	0,59	0,53	0,26	0,49	0,47	0,48	-0,09	-0,06	-0,21	0,31	-0,15	0,50
Р.К.Самур - Лучек	50	1	0,83	0,23	0,45	0,24	0,18	0,07	-0,08	0,20	-0,07	0,02	0,06	0,17

Продолжение приложения Ж

Р.Ахтычай - Ахты	13	38	1	0,23	0,45	0,28	0,18	0,12	0,03	0,21	-0,13	-0,04	-0,06	0,19
Р.Усухчай - Усухчай	2	51	13	1	0,24	0,30	0,41	0,30	0,02	-0,08	-0,19	0,34	0,17	0,31
Р.Терек - Котляровская	375	327	364	377	1	0,37	0,39	0,31	-0,08	0,15	-0,06	0,22	0,20	0,14
Рук.Нов.Терек - Аликазган	247	224	242	250	250	1	0,42	0,85	-0,16	-0,28	-0,28	0,36	-0,60	0,44
р.Фиагдон - Мичурино	326	277	314	327	56	232	1	0,51	-0,22	0,13	0,09	0,33	-0,05	0,60
р.Гизельдон - Даргвас	306	256	293	307	87	240	33	1	-0,09	-0,24	-0,22	0,52	-0,48	0,47
р.Цея - Бурон	334	284	321	335	87	273	48	34	1	0,21	0,20	0,40	0,28	-0,16
р.Белая - Кора- Урсдон	344	294	332	345	56	258	26	39	32	1	0,76	-0,07	0,11	0,16
р.Айгамуга - Махческ	355	305	343	356	72	282	51	51	23	25	1	-0,06	0,11	0,10
р.Урух - Хазнидон	364	315	352	366	46	271	42	60	45	21	27	1	0,03	0,24
р.Черек Хуламский - Бабугент	387	338	375	388	54	292	66	82	61	43	38	24	1	-0,32
р.Малка - Каменноостское	447	398	435	448	79	327	121	144	124	105	101	84	64	1