



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

Кафедра Гидрофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему

**Методика долгосрочного
прогноза минимального
стока рек Ленинградской
области**

Исполнитель Сальников Иван Андреевич

Руководитель кандидат географических наук, доцент

Шаночкин Сергей Владимирович

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

доктор технических наук, профессор Коваленко Виктор Васильевич

«26» 06 2016 г.

Санкт-Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ	4
1.1. Географическое положение.	4
1.2. Геологическое строение	5
1.3. Рельеф.	6
1.4. Климат.	7
1.5. Почвы	8
1.6. Растительность	10
1.7. Режим рек	11
ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	13
ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	29
3.1. Кратчайшая связывающая сеть	30
3.2. Минимальный сток	34
ГЛАВА 4. РАЙОНИРОВАНИЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	36
4.1. Результаты кластеризации на основании анализа матрицы годовых модулей стока 30-ти суточного минимального	38
4.2. Результаты районирования на основании анализа матрицы годовых модулей стока суточного минимального стока	42
4.3. Результаты районирования на основании анализа матрицы физико-географических характеристик	45
5. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗА 30-ТИ СУТОЧНОГО МИНИМАЛЬНОГО ЛЕТНЕ-ОСЕННЕГО СТОКА	48
5.1. Выбор наиболее информативных	48
5.1.1. Индексы циркуляции Вангенгейма	48
5.1.2. Индекс засушливости Д.А. Педя	50
5.1.3. Модуль стока до начала межени	51
5.1.4. Уровни ладожского озера	51

5.1.5 Итоговая таблица предикторов	51
5.2 Прогностические уравнения регрессии и их оценка	52
5.3 Итоговые таблицы и оценивание методики	55
Заклучение	59
Литиратура	60

Введение

Цель работы:

Разработка методики прогноза минимального 30-ти суточного летне-осеннего стока рек ЕТР.

Сведения о стоке рек за меженный период в будущем летне-осеннем сезоне необходимы для правильного планирования площадей посевов, планирования выработки электроэнергии гидростанциями, определения сроков физической навигации и т.д. Как известно, оптимизация процессов функционирования, связано с прогнозом водоносности рек, и не только в период паводка, но и в лимитирующий период и особенно сезон, поскольку даже значительные запасы воды, накопленные в водохранилище в весенний период, могут быть сработаны в летне-осенние месяцы или зимой при малой водности рек.

Основным инструментом для районирования территории послужил метод классификации КСС (Кратчайшая связывающая сеть). Единого общего подхода для районирования, одинаково хорошо работающего во всех ситуациях, на сегодняшний день нет. В связи с этим, одной из основных задач данной работы было районирование территории Ленинградской области методом КСС.

Разработка метода прогноза велась в пределах каждого однородного района для наиболее изученных гидрометрических створов.

Задачи работы:

1. Определение признаков, отражающие наиболее существенные особенности формирования стока за летне-осенний период.

2. С помощью метода построения кратчайшей связывающей сети, осуществить районирование территории Ленинградской области по квазиоднородным условиям формирования минимального стока.

3. Отобрать наиболее информативные тест предикторы для построения локальных зависимостей в выделенных районах

4. Выполнить ретроспективный прогноз минимального стока в ряде конкретного створа

5. Оценить эффективность сконструированных уравнений на зависимом и не зависимом материале.

6. Дать содержательный анализ полученных результатов.

Исходными данными послужили ландшафтные характеристики, а также многолетние и ежегодные значения гидрологических характеристик минимального 30-ти суточного и суточного летне-осеннего стока рек Ленинградской области.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО – ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

1.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ.

Исследуемый район расположен в северо-западной части Европейской территории Российской Федерации и включает в себя бассейны крупных рек: Невы, Волхова, Вуоксы. Ленинградская область граничит со следующими областями: на севере – с Республикой Карелия, на востоке – с Вологодской областью, на юго-востоке – с Новгородской областью, на юге – с Псковской областью. Так же, Ленинградская область граничит с двумя странами Европейского союза: на западе – с Эстонией, на северо-западе – с Финляндией.

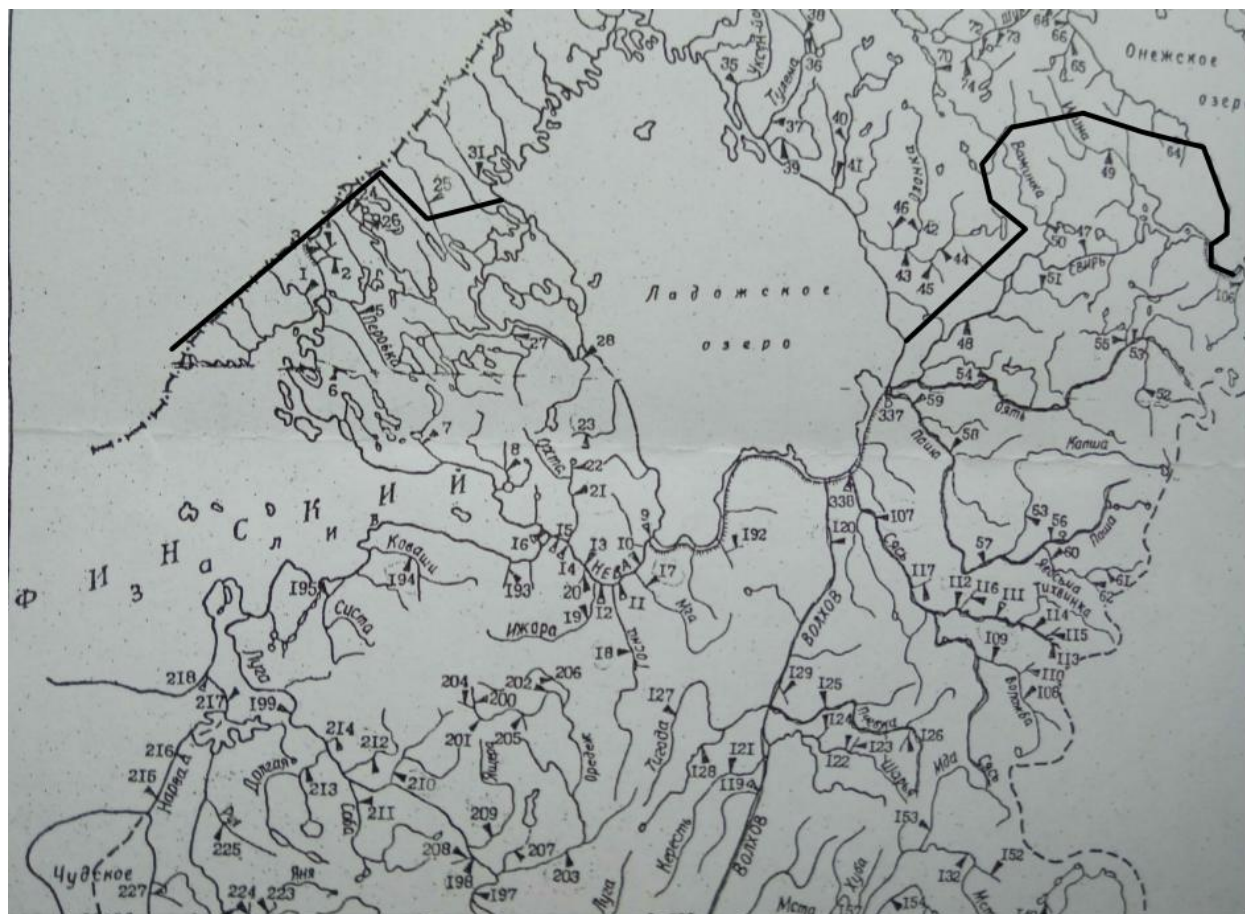


Рисунок 1.1- Схема гидрографической сети Ленинградской области
Северо-Западной территории РФ.

Ленинградская область омывается следующими крупными водами: с запада-Финским заливом, на севере – Ладожским озером, на Северо-востоке- Онежским озером.

Площадь Ленинградской области равна 83 908 км².

Площадь водных объектов равна 10 060 км².

Ленинградская область входит в Северо-Западный Федеральный Округ.

1.2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ.

Территория области находится на стыке двух крупнейших тектонических структур.

Северо-запад области расположен на Балтийском кристаллическом щите, где выходят на поверхность архейские и раннепротерозойские породы. Поэтому на этой территории основными полезными ископаемыми являются гранит, облицовочный камень и песчано-гравийный материал.

На южных берегах Финского залива и Ладожского озера в кембрийский период сформировались мощные толщи осадочных пород (синих глин с прослойками песчаников).

Приблизительно 400 миллионов лет назад, в ордовикский период, произошло образование оболовых песчаников, содержащих месторождения фосфоритов горючих сланцев (запад области). На юге области на поверхность выходят породы девонского периода.

В восточной части области близко к поверхности находятся породы, образовавшиеся в каменноугольный период. Там присутствуют месторождения бокситов, известняков и доломитов.

Окончательно рельеф области сформировался в четвертичный период в результате четырёх оледенений и последовательно сменявших их межледниковых эпох. Поэтому на большей части области присутствуют месторождения торфа, глины и песка.

1.3. РЕЛЬЕФ.

Область целиком расположена на территории Восточно-Европейской Русской равнины. Этим объясняется равнинный характер рельефа с незначительными абсолютными высотами (50—150 метров над уровнем моря). Территория Карельского перешейка (северо-западной части) отличается пересечённым рельефом, многочисленными скальными выходами и большим количеством озёр. Карельский перешеек является частью Балтийского кристаллического щита. Высочайшая точка Карельского перешейка — гора Кивисюръя высотой 203 м над уровнем моря.

Низменности в основном расположены по берегам Финского залива и Ладожского озера, а также в долинах крупных рек. Основными из них являются Выборгская, Приозерская, Приладожская, Предглинтовая (Приморская), Плюсская, Лужская, Волховская, Свирская и Тихвинская.

Крупнейшими возвышенностями являются Лемболовская, Ижорская, Лодейнопольская, Вепсовская возвышенности и Тихвинская гряда. Наивысшая точка области — гора Гапсельга (291 метр над уровнем моря) — находится на Вепсовской возвышенности¹ Интересным географическим объектом является Балтийско-Ладожский глинт —

высокий (до 40—60 метров) обрыв, протянувшийся более чем на 200 км с запада на восток области. Он является берегом древнего моря.

1.4. КЛИМАТ.

Климат Ленинградской области умеренно континентальным с чертами морского влияния.

Особое значение имеет перенос воздуха с Северной Атлантики и Арктических морей. Температура зимних месяцев более высокая, чем на тех же широтах, но дальше к востоку. Даже в январе наблюдаются оттепели (до 5—6°C), но в холодные годы температура достигает —30°C и ниже. Большое влияние на климат оказывает близость Балтийского моря, а в районах Карельского перешейка — наличие многочисленных озер, разбросанных по всему перешейку, и особенно Ладожское озеро. Средне-годовые температуры воздуха положительные и колеблются от 3,2 до 4° С, закономерно понижаясь по мере удаления от побережья Финского залива и повышения местности.

Самым холодным месяцем является февраль со среднемесячной температурой воздуха от —8,3 до —8,6° С. Минимальная температура воздуха достигала, по данным станции г. Выборга, — 37,2° С (в 1941 г.). Первые морозы наступают в начале октября и продолжаются до конца апреля. Безморозный период длится от 91 до 152 дней в году. Максимальная глубина промерзания почв: песчаных до 0,70 м, суглинистых до 1,3 м. Снежный покров появляется во второй половине октября — в начале ноября, а сходит в апреле. Среднее число дней в году со снежным покровом 132, причем наибольшей высоты снежный покров достигает обычно в середине марта. В начале апреля среднесуточная температура становится выше 0°C. Начало весны с устойчивым переходом дневных температур через 0°C характеризуется значительной

изменчивостью погоды, с частым чередованием ясных и пасмурных, теплых и холодных дней. Возвраты холодов — обычное явление. Падение температуры ниже 0°С прекращается лишь в среднем к июню, а заморозки на почве возможны до середины июня. Максимальная среднемесячная температура наблюдается в июле (16— 17° С), но вторжение юга теплых воздушных масс может повысить температуру в отдельные дни до 30° С и выше. В тоже время повышению температуры часто препятствуют северо-западные ветры.

Наступление осени характеризуется значительным снижением температуры, и во второй половине сентября нередко наблюдаются заморозки. Однако в целом осень продолжительная и сравнительно тёплая, периоды затяжных малоинтенсивных дождей часто сменяются сухой, теплой и ясной погодой.

В связи с тем, что с уменьшением температурных контрастов между океаном и континентом циклоническая деятельность весной проявляется слабее, на весну падает наименьшее количество осадков и наименьшее количество дней с осадками. Летом же, когда происходит оживление циклонической деятельности, количество осадков увеличивается и достигает за июнь — август 40% годовой суммы.

Максимальные значения относительной влажности наблюдаются в осенне-зимние месяцы. В соответствии с годовым ходом относительной: влажности и температуры величины испарения с почвы и снежного покрова имеют минимальные значения зимой (1—5 мм) и максимальные летом (в июне 65 л ш).

1.5. ПОЧВЫ.

Основным типом почв в области являются подзолистые, бедные перегноем и отличающиеся значительной кислотностью. При этом на суглинках, в низких местах с повышенным накоплением влаги, главным образом в еловых лесах, образуются сильноподзолистые почвы с

мощным верхним слоем. В более высоких местах, менее благоприятных для накопления влаги, образуются среднеподзолистые почвы.

На супесях и песках, плохо удерживающих влагу, в сосняках встречаются слабоподзолистые почвы. Там, где преобладает травяная растительность, — на лесных вырубках, в редких смешанных или лиственных лесах — образовались дерново-подзолистые почвы.

На территории Ижорской возвышенности, на породах, содержащих известь, которая нейтрализует кислотность и предохраняет верхний слой почвы от вымывания, сформировались дерново-карбонатные почвы. Это лучшие среди почв области: они богаче других перегноем и минеральными веществами, имеют хорошо выраженную комковатую структуру. Их также называют «северными чернозёмами».

В низинах и на плоских участках местности, при слабом стоке (плохом дренаже) атмосферных вод, вызывающем их застой на поверхности, а иногда при высоком уровне стояния грунтовых вод образуются торфянистые и болотистые почвы. Они распространены в центральной части области, на востоке Карельского перешейка, на побережье Финского залива, в Приладожье.

В некоторых местах на луговых террасах (по рекам Волхову, Луге и другим), заливаемых водой в половодье, из речных наносов образуются богатые перегноем аллювиальные почвы. Их площадь невелика.

Основными почвообразующими породами являются глины, суглинки, пески и торф. Сельскохозяйственное использование почв области требует их искусственного улучшения.

1.6. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ.

Территория области расположена в зоне тайгив её средней (на севере области) и южной подзонах (большая часть области), незначительная часть — в зоне смешанных лесов (юг области — преимущественно в пределах Лужского района, а также островами на Ижорской возвышенности, Путиловском плато и в некоторых прилегающих к ним районах, например, в Кингисеппском. Леса занимают 55,5 % территории области. Лесные ресурсы сильно истощены. Коренные сосновые и особенно еловые леса сохранились местами, главным образом на северо-западе и востоке области, но в основном они замещены малоценными и малопродуктивными производными мелколиственными лесами и мелколесьями (берёзы бородавчатая и пушистая, осина, ольха серая). В сырых местах встречаются леса из ольхи чёрной. На участках с плодородными почвами в составе лесов иногда встречаются широколиственные породы — клён остролистный, липа мелколистная, дуб черешчатый, вязы шершавый и гладкий, ясень обыкновенный, а в подлеске — лещина обыкновенная. Преимущественно в западной и южной частях области изредка можно встретить даже небольшие участки реликтовых широколиственных лесов. В лесах области произрастают лекарственные растения и ягоды: ландыш майский, толокнянка, черника, брусника, клюква, малина, багульник, можжевельник, лапчатка прямостоящая. Территории, прилегающие к Санкт-Петербургу, заняты под сельское хозяйство (пашни, луга, кустарники).

1.7. РЕЖИМ РЕК.

Для рек Ленинградской области характерно смешанное питание; преобладает снеговое питание (менее 50%) и примерно в равной доле участвуют талые, дождевые и грунтовые воды. В соответствии с этим гидрографы рек района характеризуются высоким весенним половодьем, формирующимся за счет таяния снега, летней и зимней межени, которые при обильном грунтовом питании относительно обеспечены водой, и осенним паводком, образующимся за счет дождей и достигающим в редких случаях размеров весеннего половодья. Бывают, впрочем, и аномальные годы, когда при обложных летних дождях наблюдается довольно высокая водность рек в течение всего летне-осеннего периода. На крайнем юго-западе района, в бассейне Немана, как результат оттепелей, характерными являются зимние паводки.

По мере удаления от северо-восточных границ района на юго-запад, к бассейну Немана, доля снегового стока в питании рек уменьшается, тогда как дождевое и грунтовое питание, наоборот, увеличиваются.

При обильных осадках реки района отличаются относительно высокой водностью. Средние величины модулей стока составляют 6-9 л/сек км², за исключением Валдайской, и некоторых других возвышенностей, где норма достигает 10-12 л/сек км²; в низменных и заболоченных равнинах относительная водность более низка. В пределах района наименьшим стоком характеризуются реки, текущие по обширной Волхово-Ильменской низменности. Максимальный сток на реках наблюдается весной, т. е. в периоды наиболее интенсивного поступления талых вод, причем максимумы весенних половодий являются довольно высокими.

Обращают на себя внимание низкие максимумы стока на озерных реках (Нева, Свирь, Волхов) и высокие максимумы рек, стекающих со склонов Валдайской возвышенности (Куныя). По своим значениям максимумы, образованные талыми снеговыми водами, превышают дождевые максимумы и лишь на очень малых бассейнах может редко наблюдаться обратное явление.

Летом и зимой сток на более или менее значительных реках сильно уменьшается, однако на большинстве водотоков не падает ниже 1,0-1,5 л/сек км² и лишь в пределах Волхово-Ильменской низменности понижается до 0,5 л/сек км². На малых реках минимумы стока могут быть ниже приведенных величин, причем на очень малых водотоках, площади водосбора которых не превышают 100 км², наблюдаются случаи пересыхания и перемерзания.

Резкие колебания стока обуславливают значительные колебания уровня воды в реках. Во время весенних половодий подъемы воды (исключая озерные реки) составляют 4-6 м, а на отдельных водотоках достигают 10-12 м над меженным уровнем. При этом реки выходят из берегов и затопляют свои широкие поймы. Летом и зимой уровни занимают наиболее низкое положение в году.

ГЛАВА 2. (АНАЛИЗ)ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Ленинградская область обладает обширной и относительно хорошо изученной территорией. Из более 100 постов было выбрано 23 поста, с наибольшей изученностью с 1950 года и по сей день, с водосборами от 300 км².

Таблица 2.1 - Список рек и постов, наблюдения на которых были использованы.

№ на карте	Река	Пост
1	Селезневка	Лужайка
2	Гороховка	Токарово
3	Сестра	Белоостров
4	Коваши	Леднивщина
5	Систа	Среднее Райково
6	Долгая	Загорье
7	Плюсса	Плюсса
8	Лемовта	Хотнеша
9	Луга	Воронино
10	Тигода	Любань

11	Тосно	Тосно
12	Мга	Горы
13	Пчевжа	Белая
14	Шарья	Гремячево
15	Корость	Сяброницы
16	Тихвинка	Горелуха
17	Сясь	Яхвино
18	Паша	Дуброво
19	Паша	Поречье
20	Паша	Часовенское
21	Оять	Акупова гора
22	Яндеба	Яндеба
23	Могрега	Куйтоша

Посты нанесены на схематичную карту под условными номерами, указанными в таблице 1.

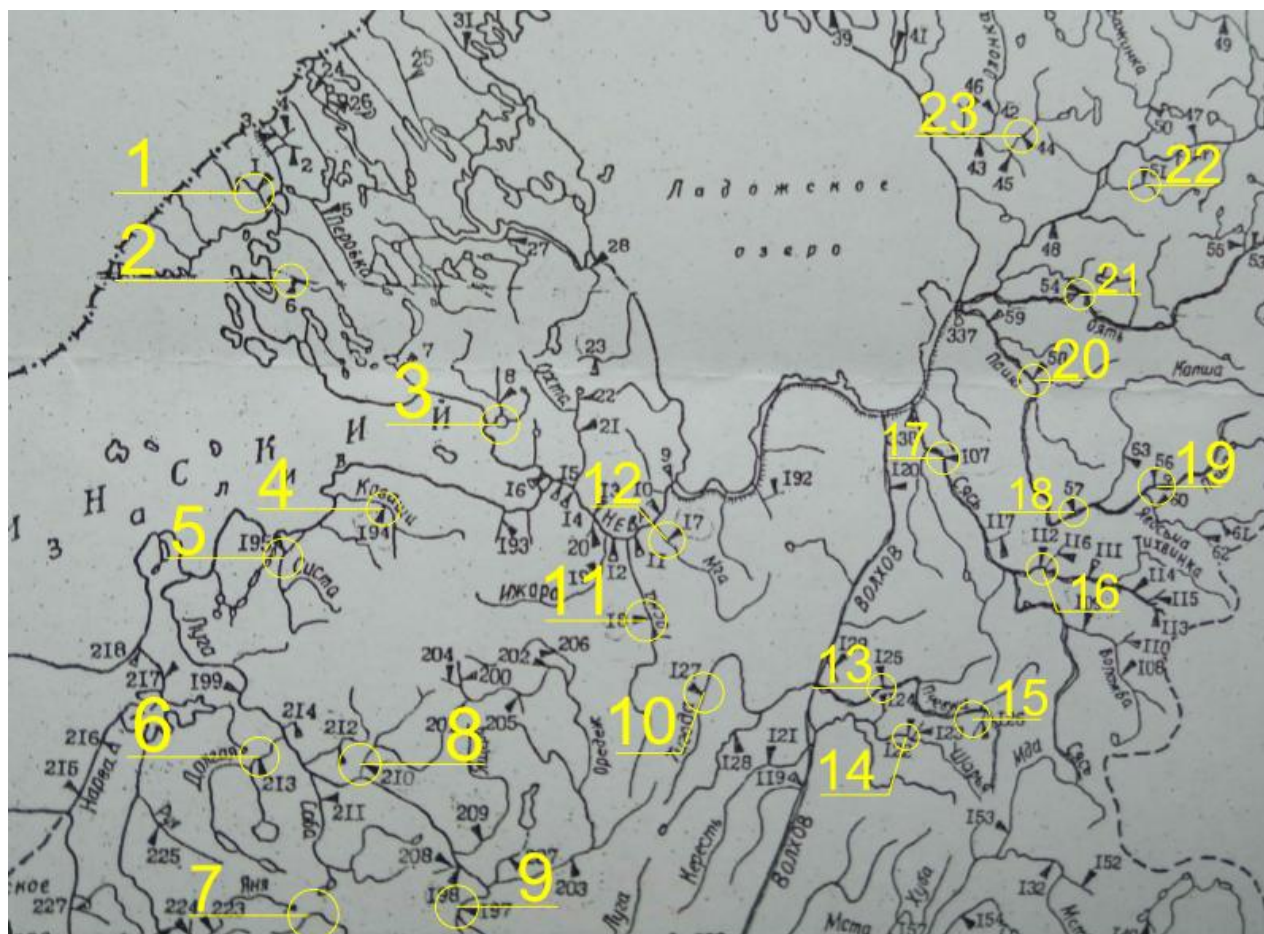


Рисунок 2.1 - Схематичное расположение исследуемых постов.

Согласно А.М. Владимирову, по первостепенному значению в генезисе минимального стока факторы могут быть сгруппированы в три группы. Первая группа включает в себя стокообразующие факторы – осадки, являющиеся главным источником формирования поверхностного стока, и подземные воды, определяющие сток при отсутствии осадков за длительный период. Основное значение имеет величина подземного питания в меженный период; при устойчивой межени поверхностные воды практически не участвуют в формировании минимального стока. Вторая группа факторов – косвенных – непосредственно не участвующих в формировании низкого стока, но влияющих на режим и расход низкого стока через пространственно-временное распределение осадков. Основные из них – это гидрогеологические особенности строения водосборов, потери на испарение (температура, дефицит влажности воздуха), а также рельеф, залесенность и заболоченность,

характер растительности, наличие карста. 16 Третья группа факторов включает в себя факторы бассейнового регулирования, состоящие из азональных характеристик водосбора (площадь, средняя высота, уклон, густота речной сети, глубина эрозионного вреза). В общем случае, для рек с высокой зарегулированностью стока отмечается сглаженное половодье, меньшая высота паводков и, соответственно, меньшая продолжительность межени и более высокий минимальный сток.

Для лучшего представления характеристик минимального стока сформировано 3 матрицы данных. 2 матрицы составлены из ежегодных стоковых данных, другая учитывает ландшафтно - гидрологические и многолетние стоковые показатели рек и их водосборов.

Основные характеристики минимального стока:

- 1) Минимальный расход воды;
- 2) Индекс атмосферной циркуляции (по Вангейшгейму);
- 3) Индекс засушливости;
- 4) Даты начала, минимума и окончания межени;

Минимальный расход воды пересчитан в модули и занесён в первую и вторую матрицу. Это сделано для нивелирования значений между реками, значительно отличающихся по площади водосбора. Начало и конец межени приведен в третью матрицу.

В четвёртой матрице представлены ландшафтные характеристики водосборов, характеризующие основные факторы подстилающей поверхности, такие как: площадь бассейна, уклон, средняя высота, озёрность, заболоченность, залесённость.

Таблица 2.2 – Модуль стока(30сут)абсолютных значений [л/с*км²]
(фрагмент)

Год\Пост	1	2	3	4
1950	1,58	3,63	2,38	0,97
1951	1,21	3,19	2,41	3,11
1952	1,79	3,43	2,90	2,22

1953	1,32	5,64	4,90	3,80
1954	3,70	4,86	4,28	1,78
1955	1,83	4,00	2,56	2,95
1956	1,91	4,97	3,03	3,13
1957	3,23	5,06	3,00	3,88
1958	1,60	3,83	3,67	2,59
1959	0,35	3,11	1,90	2,89
1960	0,37	4,44	2,38	1,11
1961	0,33	5,24	3,49	2,40
1962	3,17	10,27	7,92	5,96
1963	0,35	3,06	2,87	1,88
1964	0,53	3,59	2,41	0,97
1965	2,67	8,04	4,26	1,13
1966	2,04	11,69	3,92	6,61
1967	0,60	4,60	3,67	1,92
1968	1,63	5,97	3,90	1,33
1969	0,86	4,24	1,85	1,27
1970	1,36	4,40	2,38	1,76
1971	1,09	5,07	3,00	1,86
1972	1,05	1,99	1,95	0,55
1973	0,91	2,53	1,56	0,53
1974	2,08	6,44	5,00	3,17
1975	1,13	3,70	2,21	1,01
1976	1,09	4,41	4,49	2,40
1977	2,08	3,93	2,62	1,58
1978	1,50	3,40	2,77	2,18
1979	2,72	5,40	3,18	2,46
1980	2,82	5,36	4,21	1,45

Таблица 2.3 - Модуль стока (сут) значений [л/с*км²] (фрагмент)

Год\Пост	1	2	3	4
1950	1,17	3,36	2,21	0,85
1951	1,11	2,84	2,18	2,69
1952	1,42	3,11	2,28	1,92
1953	1,09	4,79	2,82	3,19

1954	3,17	4,37	3,26	1,60
1955	1,69	3,74	2,28	2,59
1956	1,50	4,56	2,69	2,89
1957	2,51	4,74	2,56	3,50
1958	1,56	3,61	3,18	2,00
1959	0,25	2,54	1,67	1,86
1960	0,21	3,74	1,92	0,91
1961	0,19	4,56	2,67	2,00
1962	1,38	4,74	6,28	3,98
1963	0,27	3,61	2,31	1,68
1964	0,37	2,54	1,92	0,91
1965	1,23	6,31	2,67	0,91
1966	1,23	9,23	1,64	4,77
1967	0,41	4,19	2,77	1,60
1968	1,26	5,30	1,59	1,07
1969	0,21	3,94	1,77	1,15
1970	1,11	3,93	2,33	1,29
1971	1,05	4,50	1,82	1,72
1972	0,82	1,77	1,82	0,48
1973	0,82	2,29	1,46	0,40
1974	1,75	6,21	3,85	1,35
1975	1,07	3,56	1,97	0,83
1976	1,01	3,87	3,23	1,33
1977	1,91	3,74	2,38	1,25
1978	1,32	3,06	2,10	1,70
1979	1,73	4,34	2,51	2,30
1980	2,14	4,24	2,51	1,13

Таблица 2.4 - Ландшафтные характеристики.

№ поста	Уклон, %	Озерность, %	Заболоченность, %	Лесистость, %	Средняя высота водосбора, мБС
1	1,53	4	3	84	61
2	0,76	9	3	68	42
3	2,05	1	6	78	84
4	0,75	1	2	68	68
5	1,72	1	3	77	92
6	0,38	5	14	56	64
7	0,2	1	16	58	86
8	1,52	1	6	75	106
9	0,32	1	19	53	58
10	0,59	1	14	80	50
11	0,4	1	12	75	54
12	2,4	2	7	70	67
13	0,86	1	13	76	67
14	1,04	0	25	68	79
15	0,33	1	7	77	45
16	1,13	1	13	66	108
17	0,8	2	15	59	100
18	0,9	5	17	76	124
19	1,13	1	14	78	155
20	0,93	1	18	65	96
21	1,75	1	10	75	169
22	2,89	3	6	88	125
23	2,2	2	8	90	98

Таблица 2.5 - Ландшафтные и стоковые многолетние характеристики.

№	Площадь водосбора ,км ²	Модуль стока л\ (с*км ²)
1	486	1,6
2	700	4,8
3	390	3,3
4	505	2,3
5	573	4,0
6	777	1,8
7	5090	0,5
8	948	1,6
9	864	0,8
10	589	0,8
11	1300	0,7
12	709	1,0
13	1690	1,2
14	353	1,3
15	833	0,5
16	2070	3,6
17	6230	2,6
18	3910	3,3
19	1110	3,9
20	5710	3,0
21	4830	3,8
22	280	2,3
23	381	2,9

Оценка сходства между объектами сильно зависит от абсолютного значения признака и степени его вариации. Чтобы устранить влияние на классификацию необходимо провести корреляцию признаков по створам.

Таблица 2.6 – Значения корреляции Модуля стока(30сут).(фрагмент)

Пост	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00	-0,22	0,06	0,14	-0,27	0,02	0,64	0,58
2	-0,22	1,00	0,79	0,61	0,91	-0,13	-0,71	-0,22
3	0,06	0,79	1,00	0,60	0,76	0,04	-0,40	0,17
4	0,14	0,61	0,60	1,00	0,69	0,09	-0,13	0,31
5	-0,27	0,91	0,76	0,69	1,00	-0,07	-0,67	-0,14
6	0,02	-0,13	0,04	0,09	-0,07	1,00	0,12	0,06
7	0,64	-0,71	-0,40	-0,13	-0,67	0,12	1,00	0,74
8	0,58	-0,22	0,17	0,31	-0,14	0,06	0,74	1,00
9	0,68	-0,61	-0,24	0,02	-0,51	0,17	0,95	0,77
10	0,69	-0,59	-0,20	0,03	-0,53	0,17	0,97	0,83
11	0,68	-0,62	-0,26	-0,03	-0,56	0,10	0,98	0,82
12	0,64	-0,48	-0,05	0,13	-0,43	0,16	0,88	0,88
13	0,58	-0,38	0,09	0,19	-0,27	0,26	0,80	0,83
14	0,63	-0,36	0,13	0,20	-0,26	0,15	0,81	0,88
15	0,64	-0,57	-0,19	0,04	-0,49	0,20	0,94	0,82
16	-0,23	0,71	0,75	0,56	0,75	0,10	-0,62	-0,14
17	0,03	0,39	0,55	0,38	0,45	0,21	-0,24	0,07
18	-0,09	0,44	0,65	0,44	0,52	0,24	-0,30	0,08
19	-0,31	0,65	0,69	0,42	0,71	0,20	-0,62	-0,24
20	-0,05	0,40	0,66	0,43	0,48	0,25	-0,24	0,16
21	-0,23	0,71	0,75	0,55	0,76	0,11	-0,58	-0,13
22	0,02	0,34	0,59	0,48	0,41	0,12	-0,06	0,28
23	-0,14	0,52	0,59	0,44	0,51	0,13	-0,43	-0,07

Таблица 2.8 - корреляции модуля стока(сут).(фрагмент)

Пост	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,2	1,1	1,4	1,1	3,2	1,7	1,5	2,5
2	3,4	2,8	3,1	4,8	4,4	3,7	4,6	4,7
3	2,2	2,2	2,3	2,8	3,3	2,3	2,7	2,6
4	0,9	2,7	1,9	3,2	1,6	2,6	2,9	3,5
5	2,3	1,7	3,0	3,2	1,3	1,5	3,9	2,9
6	1,5	0,2	1,4	3,5	0,4	0,2	0,3	0,8
7	0,5	0,3	0,4	0,9	0,4	0,3	0,4	0,6
8	1,3	1,1	1,5	2,0	1,2	1,0	1,1	1,2
9	0,4	0,2	0,4	1,4	0,7	0,5	0,6	1,3
10	1,2	0,4	0,6	1,2	1,0	0,5	0,5	0,7
11	0,4	0,3	0,4	0,7	0,5	0,3	0,3	0,6
12	0,5	0,4	0,2	2,3	0,8	0,6	1,0	0,6
13	0,6	0,4	1,2	2,0	0,5	0,5	0,6	1,0
14	0,8	0,4	0,9	1,3	0,9	0,8	0,7	1,2
15	0,1	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0	0,3	0,2
16	2,6	2,4	3,5	3,8	2,8	3,4	2,6	3,4
17	1,4	1,1	1,7	3,7	2,3	2,1	1,8	2,2
18	2,2	2,0	2,8	6,1	3,7	1,8	2,0	2,5
19	2,6	2,0	3,3	6,6	4,3	2,3	3,0	2,9
20	2,2	1,4	2,9	6,2	3,2	2,0	1,5	2,0
21	1,9	1,5	3,8	3,6	5,1	2,0	3,2	2,7
22	1,1	2,8	1,8	3,1	2,6	0,7	1,0	1,3
23	0,6	2,5	2,0	0,8	5,1	5,6	5,3	0,6

Таблица 2.9 - Корреляционная матрица физико-географических характеристик.

Пост	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00	0,97	0,99	0,89	1,00	0,89	0,89	0,94
2	0,97	1,00	0,98	0,97	0,98	0,94	0,92	0,97
3	0,99	0,98	1,00	0,95	1,00	0,95	0,94	0,98
4	0,89	0,97	0,95	1,00	0,92	0,97	0,93	0,96
5	1,00	0,98	1,00	0,92	1,00	0,92	0,92	0,96
6	0,89	0,94	0,95	0,97	0,92	1,00	0,99	0,99
7	0,89	0,92	0,94	0,93	0,92	0,99	1,00	0,99
8	0,94	0,97	0,98	0,96	0,96	0,99	0,99	1,00
9	0,98	0,99	1,00	0,97	0,99	0,96	0,95	0,98
10	0,98	0,97	0,99	0,93	0,99	0,96	0,96	0,99
11	0,98	0,97	1,00	0,94	0,99	0,96	0,97	0,99
12	0,97	0,99	1,00	0,97	0,98	0,97	0,96	0,99
13	0,97	0,98	0,99	0,95	0,98	0,97	0,97	0,99
14	0,93	0,89	0,94	0,83	0,94	0,92	0,95	0,95
15	0,95	0,97	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	1,00
16	0,96	0,97	0,99	0,96	0,98	0,98	0,98	1,00
17	0,92	0,95	0,97	0,95	0,94	0,99	1,00	1,00
18	0,99	0,95	0,99	0,90	0,99	0,93	0,95	0,97
19	0,97	0,98	0,99	0,97	0,98	0,98	0,97	0,99
20	0,98	0,97	0,99	0,92	0,98	0,96	0,97	0,99
21	0,99	0,99	1,00	0,95	1,00	0,94	0,94	0,97
22	1,00	0,96	0,99	0,89	1,00	0,90	0,91	0,95
23	0,96	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,99

Для проведения многомерного статистического анализа необходимо ввести понятие сходства исследуемых объектов по признакам. В каждую группу должны попасть объекты, наиболее близкие друг к другу. В качестве такого понятия в многомерном анализе для количественной оценки применяется понятие «метрика». Конкретные алгоритмы этого подхода, называемого иногда геометрическим, могут отличаться друг от друга видом необходимой информации, способом измерения близости объектов и критериями оптимизации классификации. Метрическое расстояние и является мерой «близости» исследуемых объектов. Предполагая, что исследуемый объект обладает количеством признаков, он может быть представлен как точка в n – мерном пространстве, расстояние в котором описывается метрическим расстоянием. Применяются в многомерном статистическом анализе следующие меры расстояний [11]:

$$1) \text{ евклидово расстояние: } d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2};$$

$$2) \text{ взвешенное евклидово расстояние: } d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m w_k (x_{ik} - x_{jk})^2};$$

$$3) \text{ расстояние city – block: } d_{ij} = \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|;$$

$$4) \text{ расстояние Минковского: } d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|^p \right)^{1/p}.$$

где: d_{ij} – расстояние между i -м и j -м объектом;

x_{ik}, x_{jk} – значения k – й переменной соответственно у i – го и j – го объекта;

w_k – вес, приписываемый k – й переменной.

Рассчитаем метрическое расстояние для данных. Заменяем названия пунктов соответствующими номерами из таблицы 2.1.

Таблица 2.10 - Метрические расстояния для таблицы модулей стока (30сут) абсолютных величин(Фрагмент).

Пост	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,0	17,9	8,8	6,9	13,7	6,4	5,7	4,4
2	17,9	0,0	12,2	14,5	8,9	19,0	21,8	17,2
3	8,8	12,2	0,0	7,0	7,0	8,9	12,2	7,5
4	6,9	14,5	7,0	0,0	10,0	7,5	9,3	6,0
5	13,7	8,9	7,0	10,0	0,0	13,0	16,8	12,1
6	6,4	19,0	8,9	7,5	13,0	0,0	6,1	4,1
7	5,7	21,8	12,2	9,3	16,8	6,1	0,0	5,3
8	4,4	17,2	7,5	6,0	12,1	4,1	5,3	0,0
9	5,0	20,9	11,1	8,3	15,8	5,0	1,8	4,4
10	4,9	21,0	11,1	8,5	15,9	5,1	1,7	4,4
11	5,5	21,5	11,9	9,1	16,6	6,0	1,0	5,0
12	5,0	20,5	10,8	8,2	15,6	4,8	2,6	4,2
13	5,2	20,7	10,6	7,9	15,4	4,4	2,6	4,3
14	4,5	19,5	9,5	7,3	14,3	4,3	3,0	3,2
15	7,2	23,2	13,8	10,8	18,3	7,6	2,4	6,9
16	9,1	11,3	4,8	6,8	7,6	10,2	12,7	8,2
17	5,8	14,6	5,8	4,8	9,9	6,4	8,5	4,6
18	10,3	11,9	5,9	7,9	8,1	10,0	13,3	8,9
19	13,7	9,8	7,5	10,7	6,9	13,5	17,0	12,4
20	9,2	13,7	6,3	7,6	9,5	8,9	11,9	7,9
21	12,2	11,2	6,7	9,5	7,4	12,4	15,5	11,1
22	6,8	16,0	7,3	5,6	11,5	6,8	8,2	5,3
23	9,0	14,8	8,1	9,0	12,0	11,7	12,3	9,0

Таблица 2.11 - Метрические расстояния для таблицы модулей стока
(сут) абсолютных величин(Фрагмент).

Пост	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,0	17,9	8,8	6,9	13,7	6,4	5,7	4,4
2	17,9	0,0	12,2	14,5	8,9	19,0	21,8	17,2
3	8,8	12,2	0,0	7,0	7,0	8,9	12,2	7,5
4	6,9	14,5	7,0	0,0	10,0	7,5	9,3	6,0
5	13,7	8,9	7,0	10,0	0,0	13,0	16,8	12,1
6	6,4	19,0	8,9	7,5	13,0	0,0	6,1	4,1
7	5,7	21,8	12,2	9,3	16,8	6,1	0,0	5,3
8	4,4	17,2	7,5	6,0	12,1	4,1	5,3	0,0
9	5,0	20,9	11,1	8,3	15,8	5,0	1,8	4,4
10	4,9	21,0	11,1	8,5	15,9	5,1	1,7	4,4
11	5,5	21,5	11,9	9,1	16,6	6,0	1,0	5,0
12	5,0	20,5	10,8	8,2	15,6	4,8	2,6	4,2
13	5,2	20,7	10,6	7,9	15,4	4,4	2,6	4,3
14	4,5	19,5	9,5	7,3	14,3	4,3	3,0	3,2
15	7,2	23,2	13,8	10,8	18,3	7,6	2,4	6,9
16	9,1	11,3	4,8	6,8	7,6	10,2	12,7	8,2
17	5,8	14,6	5,8	4,8	9,9	6,4	8,5	4,6
18	10,3	11,9	5,9	7,9	8,1	10,0	13,3	8,9
19	13,7	9,8	7,5	10,7	6,9	13,5	17,0	12,4
20	9,2	13,7	6,3	7,6	9,5	8,9	11,9	7,9
21	12,2	11,2	6,7	9,5	7,4	12,4	15,5	11,1
22	6,8	16,0	7,3	5,6	11,5	6,8	8,2	5,3
23	9,0	14,8	8,1	9,0	12,0	11,7	12,3	9,0

Таблица 2.12 - Метрические расстояния для таблицы физико-географических характеристик.

Пост	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,0	16,8	7,4	16,3	7,6	30,1	29,3	9,9
2	16,8	0,0	13,2	8,1	12,1	16,8	18,3	11,1
3	7,4	13,2	0,0	10,8	3,2	23,8	22,4	3,0
4	16,3	8,1	10,8	0,0	9,1	17,4	17,2	8,1
5	7,6	12,1	3,2	9,1	0,0	24,1	23,1	3,6
6	30,1	16,8	23,8	17,4	24,1	0,0	4,9	21,0
7	29,3	18,3	22,4	17,2	23,1	4,9	0,0	19,8
8	9,9	11,1	3,0	8,1	3,6	21,0	19,8	0,0
9	35,0	23,3	28,2	22,7	28,9	7,1	5,8	25,6
10	12,1	18,1	8,4	17,0	11,5	24,3	22,1	9,5
11	13,1	13,9	6,9	12,2	9,3	19,5	17,5	6,1
12	14,7	8,5	8,1	5,7	8,2	16,1	15,2	5,3
13	13,2	15,1	7,4	13,6	10,1	20,4	18,3	7,1
14	27,5	23,8	21,5	23,0	23,8	17,0	13,5	20,3
15	8,7	12,7	2,2	10,3	4,2	22,5	21,0	2,5
16	20,8	13,0	13,9	11,2	14,9	10,8	8,6	11,4
17	20,8	13,0	13,9	11,2	14,9	10,8	8,6	11,4
18	16,2	16,6	11,9	17,5	14,6	20,2	18,5	11,8
19	12,9	16,9	8,1	15,6	11,1	22,4	20,1	8,6
20	24,4	17,3	17,7	16,3	19,2	10,6	7,3	15,6
21	11,8	12,8	5,0	10,7	7,3	19,9	18,1	4,0
22	5,3	21,2	10,2	20,6	11,6	33,1	31,8	13,2
23	8,1	23,7	12,2	22,9	14,0	34,7	33,1	15,2

ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В статистических исследованиях объединение первичных данных в кластеры является главным приёмом решения задач классификации. Измерение характеристик и построение описаний кластеров определяет причисление объекта к конкретному классу. Такой приём обработки больших массивов информации позволяет представить её в компактной, удобной форме.

Монотетический способ классификации в данном случае является традиционным и относится к приёмам формальной логики. При использовании данного метода выбирается один из множества признаков наиболее важный и основополагающий. Разбиение множества объектов производится в соответствии с значением этого признака.

Но при классификации водотоков невозможно из теоретических соображений выделить наиболее значимый признак, следовательно, целесообразно применение методов объективной классификации многомерных объектов. Этот тип классификации называется политетическим. Такой подход не требует упорядочивания признаков по значимости.

Данные методы получили широкое применение во многих областях науки: медицина, геология, гидрометеорология, экономика, география и т.д. .

3.1. КРАТЧАЙШАЯ СВЯЗЫВАЮЩАЯ СЕТЬ.

Одним из самых простых методов многомерного статистического анализа является метод, основанный на вычислении кратчайшей связывающей сети (КСС). Чтобы построить кратчайшую связывающую сеть, необходимо объединить множество исследуемых объектов сетью прямых звеньев, имеющих наименьшую суммарную длину. Каждая изолированная точка и каждый изолированный фрагмент соединяются с ближайшим соседом кратчайшим звеном. Изолированная точка – некая точка, несвязанная с другими точками на данном этапе. Фрагмент – множество точек, уже объединённых звеньями. Метод даёт лучшие результаты, если исходные точки распадаются на изолированные группы.

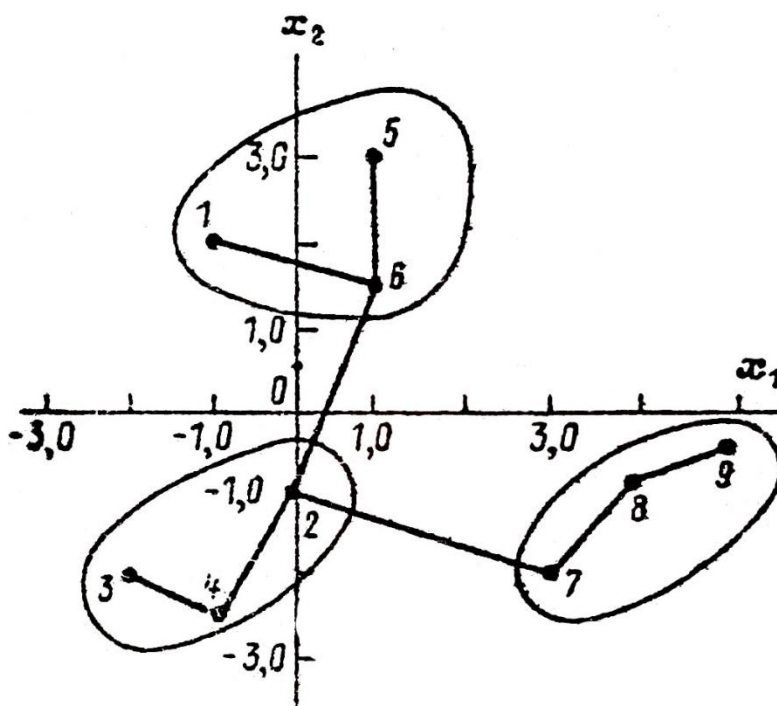


Рисунок 3.1 - Расположение объектов в исходном пространстве признаков и кратчайшая связывающая сеть.

Рассмотрим применение КСС на примере классификации некоторой совокупности из девяти точек. Расчёт начинается в вычислении матрицы метрических расстояний.

Таблица 3.1 - Матрица метрических расстояний между точками.

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	3,1	4,2	4,5	2,3	2,2	5,7	5,9	6,5
2	3,1	-	2,1	1,8	4,2	2,7	3,1	4,0	5,0
3	4,2	2,1	-	1,2	5,6	4,6	5,0	6,1	7,1
4	4,5	1,8	1,2	-	5,8	4,5	4,0	5,2	6,3
5	2,3	4,2	5,6	5,8	-	1,5	5,4	5,0	5,4
6	2,2	2,7	4,6	4,5	1,5	-	4,1	3,9	4,6
7	5,7	3,1	5,0	4,0	5,4	4,1	-	1,4	2,6
8	5,9	4,0	6,1	5,2	5,0	3,9	1,4	-	1,2
9	6,5	5,0	7,1	6,3	5,4	4,6	2,6	1,2	-

Первая строка матрицы метрических расстояний заносится в первую строку «решающей» (таблица 3.2.) матрицы. Определяется точка ближайшая к первой. Это точка №6, так как они соединены кратчайшим звеном. Выбранные точки рассматриваются как первый фрагмент и заносятся в итоговую (таблица 3.2.) таблицу с указанием длины звена. Расстояния от 6 – ой точки до всех оставшихся заносятся в первую строку вспомогательной таблицы (таблица 3.3.). Далее начинается формирование второй строки решающей таблицы, элементами которой являются меньшие из звеньев, соединяющие первую и шестую точку с остальными точками. Минимальное звено 6 – 5 этой строчки показывает, что ближайшей к первому фрагменту является точка 5. Заносим это звено во вторую строку итоговой таблицы.

Далее заполним соответствующую строку вспомогательной таблицы для точки 5 и повторим процесс сопоставления звеньев по изложенной схеме. Конечный результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.2 - Решающая таблица.

Решающая таблица									Вспомогательная таблица						
2	3	4	5	6	7	8	9		2	3	4	5	7	8	9
3,1	4,2	4,5	2,3	2,2	5,7	5,9	6,5	6	2,7	4,6	4,5	1,5	4,1	3,9	4,6
1	1	1	1	1	1	1	1								
2	3	4	5	7	8	9			2	3	4	7	8	9	
2,7	4,2	4,5	15	4,1	3,9	4,6		5	4,2	5,8	5,8	5,4	5,0	5,4	
6	1	1	6	6	6	6									
2	3	4	7	8	9				3	4	7	8	9		
2,7	4,2	4,5	4,1	3,9	4,6			2	2,1	1,8	3,1	4,0	5,0		
6	1	1	6	6	6										
3	4	7	8	9					3	7	8	9			
21	1,8	3,1	3,9	4,6				4	1,2	4,0	5,2	6,3			
2	2	2	6	6											
3	7	8	9						7	8	9				
1,2	3,1	3,9	4,6					3	5,0	6,1	7,1				
4	2	6	6												
7	8	9							8	9					
3,1	3,9	4,6						7	1,4	2,6					
2	6	6													
8	9								9						
1,4	2,6							8	1,2						
7	7														
9															
1,2															
8															

Таблица 3.3 - Итоговая таблица.

Звено	Длина
1 - 6	2,2
6 - 5	1,5

6 - 2	2,7
2 - 4	1,8
4 - 3	1,2
2 - 7	3,1
7 - 8	1,4
8 - 9	1,2

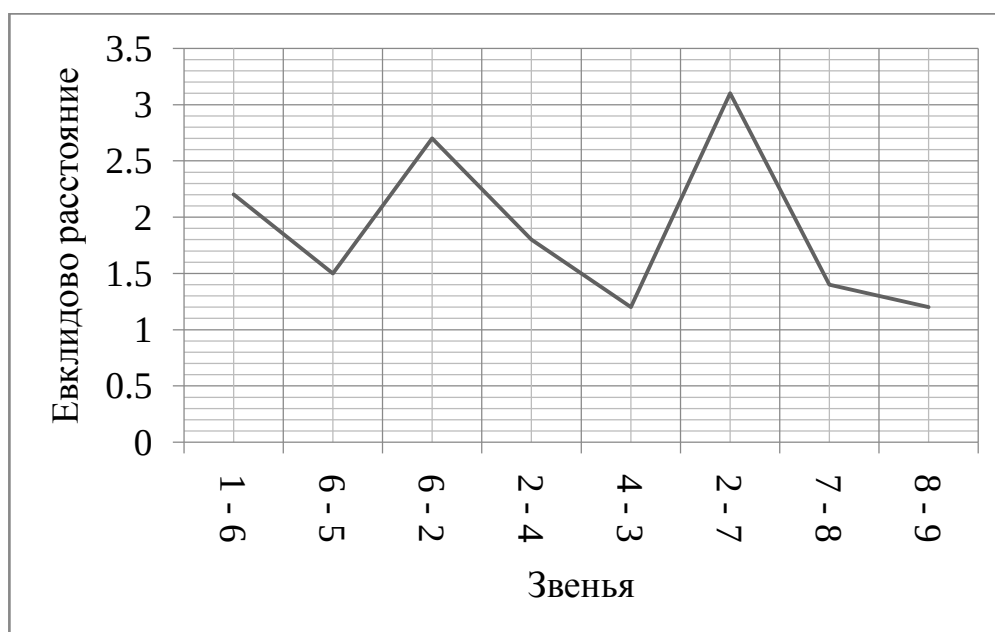


Рисунок 3.2 - График кратчайшей связывающей сети.

График имеет хорошо выраженные пики. Данные пики отделяют одну группу от другой и используются в качестве индикатора. Таким образом, построение КСС – это преобразование многомерного исходного пространства в одномерное, в котором типологические границы между классами устанавливаются визуально.

Однако, данный метод содержит элемент субъективизма. Не все относительные максимумы являются границами классов, некоторые вызваны следующими факторами: ошибка измерения признаков, не репрезентативность выборки и т. д. Определение пиков должен производить

исследователь. Для этого задаётся некоторая пороговая величина и считается, что звенья, имеющие значения связи меньше этой величины, объединяют точки одного класса, а звенья большей длины обозначают переход к другим классам. Трудность состоит в обосновании разумности пороговой величины. К недостаткам метода также можно отнести необходимость пересчитывать каждый раз кратчайшую сеть. Но выбор порогового значения также определяет и положительные стороны метода. Пороговое значение позволяет учесть и всю прочую информацию о классифицируемых объектах.

3.2 МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК.

Речной сток в периоды отсутствия половодья и значительных паводков принято называть меженным; а время, в которое он наблюдается, меженным периодом. Под последним подразумевается фаза водного режима реки, наблюдающаяся в зимний или летне-осенний сезон и характеризующаяся наличием относительно малых, устойчивых по величине расходов воды. Сток рек в меженный период формируется, главным образом, подземными водами. Однако в многоводные годы (сезоны, а также на больших реках и в средние по водности годы заметное участие в его формировании могут принимать поверхностные воды.

В меженный период включаются паводки, если величина объема каждого из них не превышает 10-15% объема стока за меженный период, предшествующий и последующий этому паводку. При частых и различных по величине паводках (пилообразный вид гидрографа стока) в меженный период не включаются паводки с расходами воды, превышающими предшествующие среднесуточные минимумы более чем в 3-5 раз (чем больше объема пика паводка, тем меньше должна быть величина превышения). Выделение меженных периодов производится за водохозяйственный год, т.е. год, начинающийся с весеннего сезона.

Наименьший сток реки в период межени, имеющий продолжительность до 30 дней (месяц), называется минимальным стоком.

К числу используемых физико-географических факторов относятся: гидрогеологические условия (инфильтрационная и водоудерживающая способность почво-грунтов, мощность и количество водоносных горизонтов, питающих рек, их трещиноватость и пористость и т.п.); площадь бассейна реки, средняя высота водосбора, глубина эрозионного вреза русла реки, залесенность, озёрность и заболоченность водосбора, общая увлажненность территории, выражаемая через модуль годового стока или коэффициент естественной зарегулированности.

Пока величина модуля минимального стока достаточно интенсивно изменится с увеличением площади бассейна реки, определяющим фактором являются местные особенности территории (гидрогеологические условия, глубина, глубина эрозионного вреза), которые могут быть учтены только региональными способами обобщения (районные зависимости).

Обобщение данных о минимальном 30-дневном (месячном) стоке рек осуществляется в основном в двух направлениях: построение карт изолиний минимального стока и районирование территории на основании изучения комплекса физико-географических условий, определяющих режим и величину минимального стока рек с установлением районных параметров и коэффициенту в расчетном уравнении.

По типу питания минимальный сток подразделяется на:

1. Сформированный только подземными водами;
2. Формирующийся поверхностными водами, образующимися от таяния снегов и выпадения дождей;
3. Формирующийся главным образом водами тающих ледников и выпадающих дождей;
4. Формирующийся главным образом водами тающих ледников и выпадающих дождей;

5. Сформированный в основном поверхностными (дождевыми) и неледными водами.

ГЛАВА 4. Районирование

Выделение классов в методе КСС произведём через задание некоторой пороговой величины для анализа и выделения границ классов при классификации методом Кратчайшей связывающей сети. Задание некоторой пороговой величины и сравнение её с длиной звеньев позволяет выделить границы классов. Недостатком данного метода можно считать существенный элемент субъективизма. Неоднозначность заключена в определении этого порогового значения, так как этим занимается сам исследователь. Из выше сказанного следует, что число кластеров определяется (является функцией) пороговой величиной. При сопоставлении множества результатов группирования применение фиксированного порогового значения значительно осложнит анализ. Это связано со значительными расхождениями в итоговом количестве получаемых кластеров. Различающиеся по характеру содержащихся значений исходных данных, в значительной степени оказывают влияние на ход классификации. Следовательно, даже при одном и том же пороговом значении, количество итоговых групп будет существенно отличаться для разных исследуемых величин.

Реализуем обратную зависимость. Зафиксируем число кластеров. Пороговое значение будет «плавающим» и будет определяться для каждой исследуемой величины отдельно. В результате получим определённое число кластеров, что значительно упростит представление и изучение полученных результатов. Однако, данный метод недостаточно объективен. Он заключается в определении итогового числа кластеров, которое необходимо

получить. Невозможно определить даже приблизительно данное значение так, чтобы учесть все возможные особенности исследуемой территории.

Подойдём к решению проблемы определения числа возможных кластеров с географической точки зрения. Каждый водосбор обладает уникальными климатическими характеристиками и факторами подстилающей поверхности. То есть параметрами, определяющими формирование летне-осеннего стока. Следовательно, кластер может быть образован любым водосбором. Будем делить пункты на 2 класса.

4.1. РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА МАТРИЦЫ ГОДОВЫХ МОДУЛЕЙ СТОКА 30-ТИ СУТОЧНОГО МИНИМАЛЬНОГО СТОКА.

Таблица 4.1 - Результат кластеризации методом кратчайшей связывающей сети матрицы годовых модулей стока 30-ти суточного минимального стока.

Звено	Евклидово расстояние
1-8	5,45
8-14	3,49
14-13	2,19
13-10	2,90
10-11	1,83
10-9	2,49
11-7	2,62
9-15	2,89
10-17	3,34
8-4	7,19
8-17	8,09
17-20	5,82
20-18	2,76
18-16	4,29
18-19	4,62
19-21	5,22
16-8	5,99
20-22	6,15
18-23	7,02
3-5	8,33
5-2	8,34
2-6	8,52

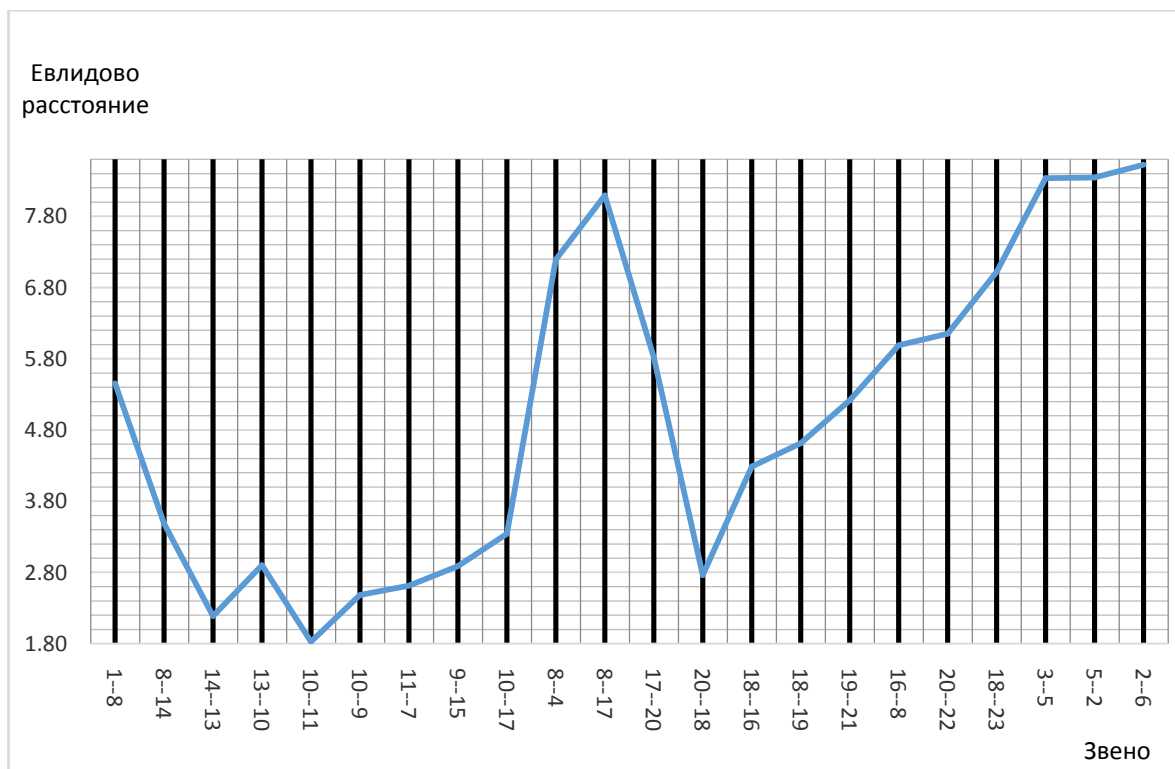


Рисунок 4.1 - График кластеризации методом кратчайшей связывающей сети матрицы годовых модулей стока 30-ти суточного минимального стока.

График, построенный по таблице 4.1. представляет собой кривую с несколькими пиками. Пики могут отделять один кластер от другого, а также могут присутствовать внутри одной группы. Пороговое значение примем равным 5,5

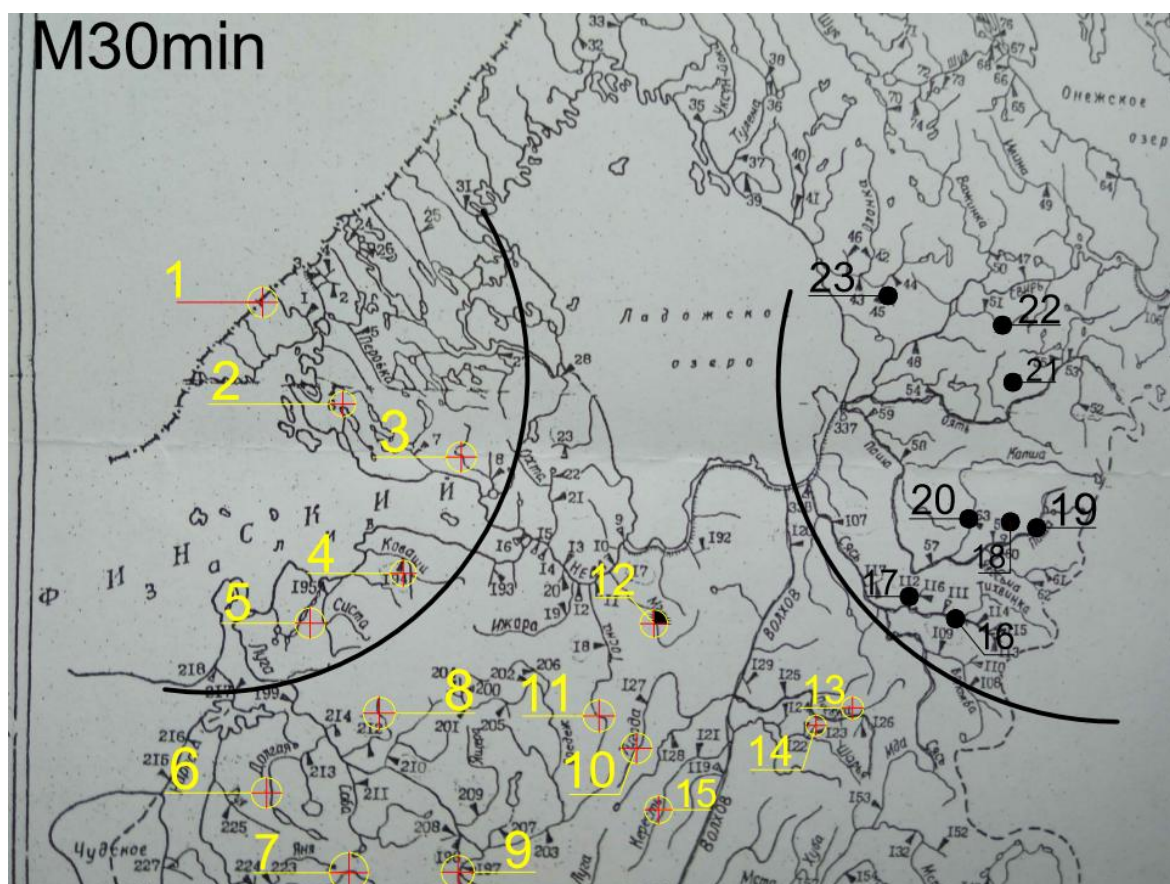


Рисунок 4.2 – Разделение кластеров методом кратчайшей связывающей сети матрицы годовых модулей стока 30-ти суточного минимального стока.

Наложение результатов, полученных методом кратчайшей связывающей сети на карту Ленинградской области, дает нам представление о расположении кластеров годовых значений модулей стока 30-ти суточного минимального стока.

Таблица 4.2 Распределение постов по кластерам методом кратчайшей связывающей сети матрицы годовых модулей стока 30-ти суточного минимального стока.

Кластер	1	2
Посты	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,2,3,4,5,16,17,18,19,20,21,22,23

Так же была построена карта изолиний годовых значений модуля стока 30-ти суточного минимального стока:

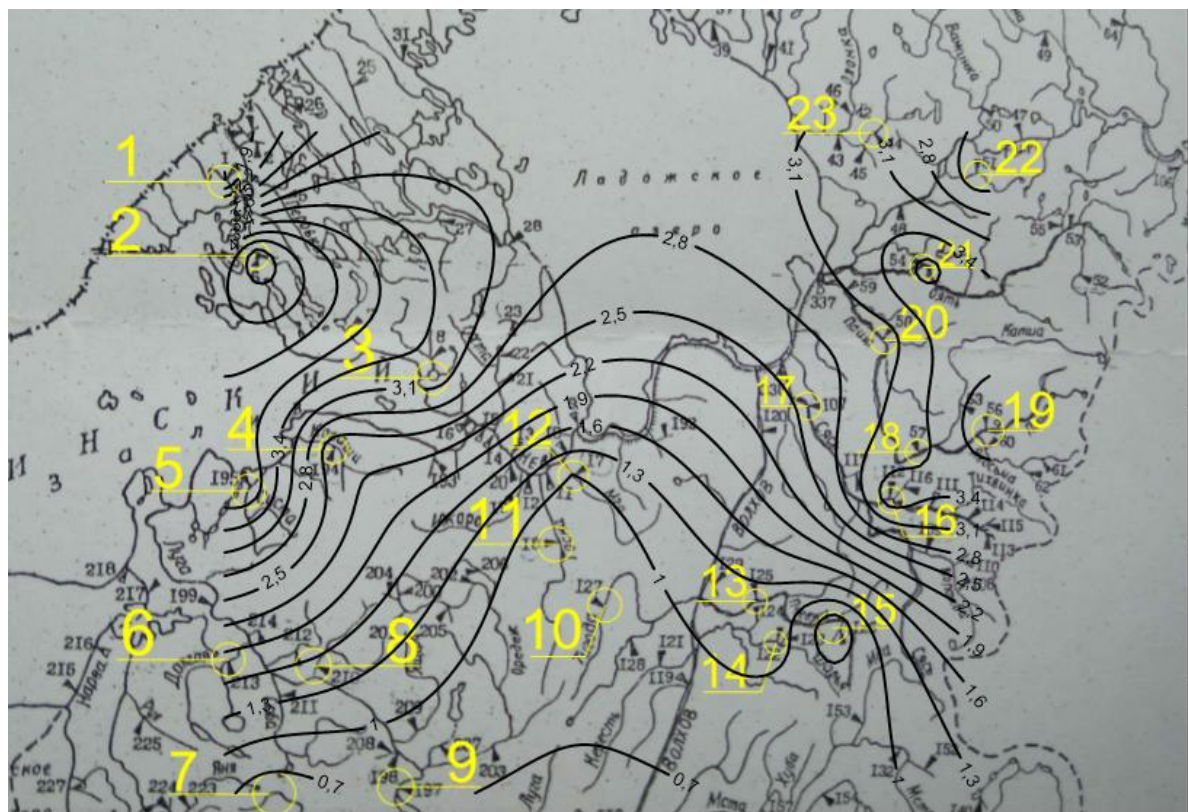


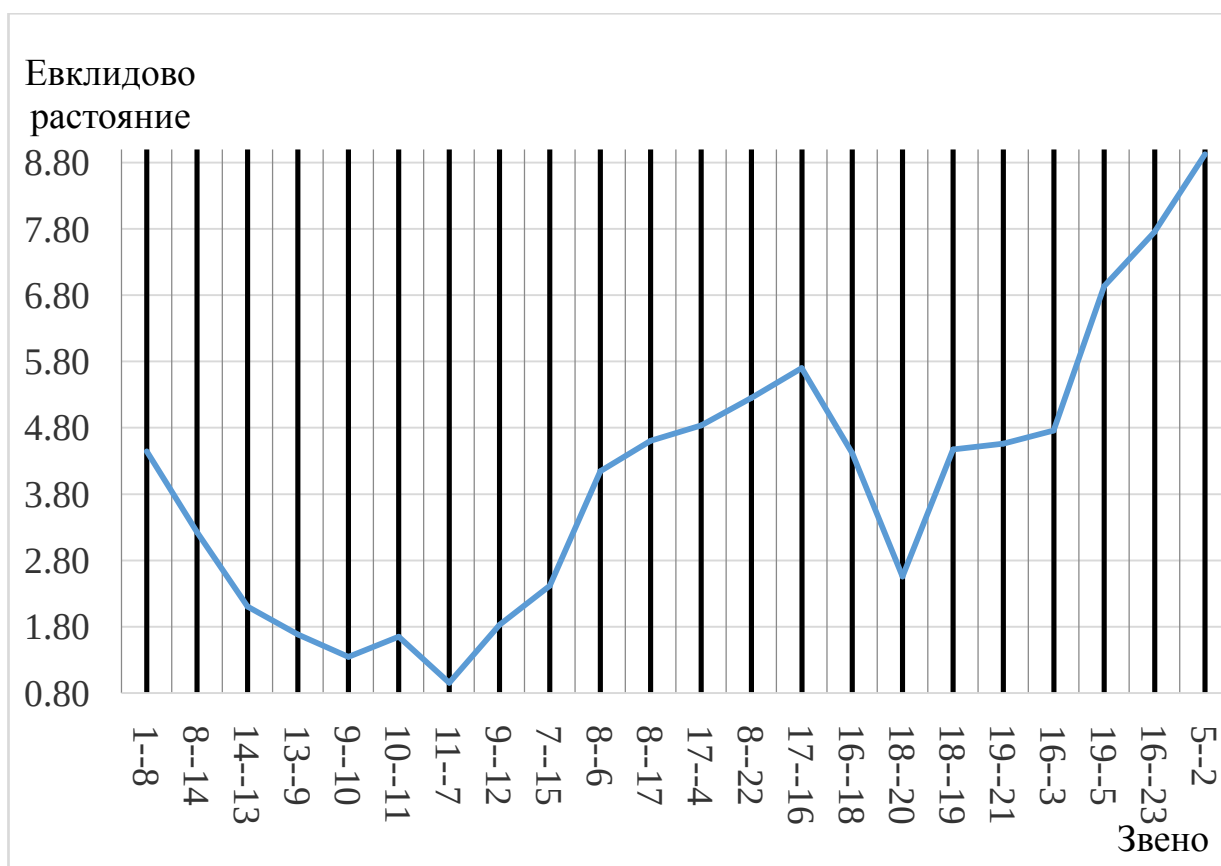
Рисунок 4.3 –Изолинии годовых модулей стока 30-ти суточного минимального стока.

Рисунок 4.3 , показывает, что есть взаимосвязь модулей меженного стока.

4.2. РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА МАТРИЦЫ ГОДОВЫХ МОДУЛЕЙ СТОКА СУТОЧНОГО МИНИМАЛЬНОГО СТОКА.

Таблица 4.3 - Результат кластеризации методом кратчайшей связывающей сети матрицы годовых модулей стока суточного минимального стока.

Звено	Длина
1-8	4,45
8-14	3,22
14-13	2,10
13-9	1,69
9-10	1,35
10-11	1,65
11-7	0,96
9-12	1,83
7-15	2,42
8-6	4,14
8-17	4,61
17-4	4,84
8-22	5,25
17-16	5,70
16-18	4,42
18-20	2,56
18-19	4,47
19-21	4,56
16-3	4,76
19-5	6,94
16-23	7,75
5-2	8,92



. Рисунок 4.4 - График кластеризации методом кратчайшей связывающей сети матрицы годовых модулей стока суточного минимального стока.

В целом, построение кратчайшей связывающей сети можно рассматривать как преобразование m -мерного исходного пространства в одномерное.

Дополнительные трудности при распределении по кластерам по данному графику может заключаться в превышении последнего пикового значения последующими звеньями. В этом случае звенья могут включать в себя объекты из предыдущих выделенных кластеров. Пороговое значение приравняем 5.5.

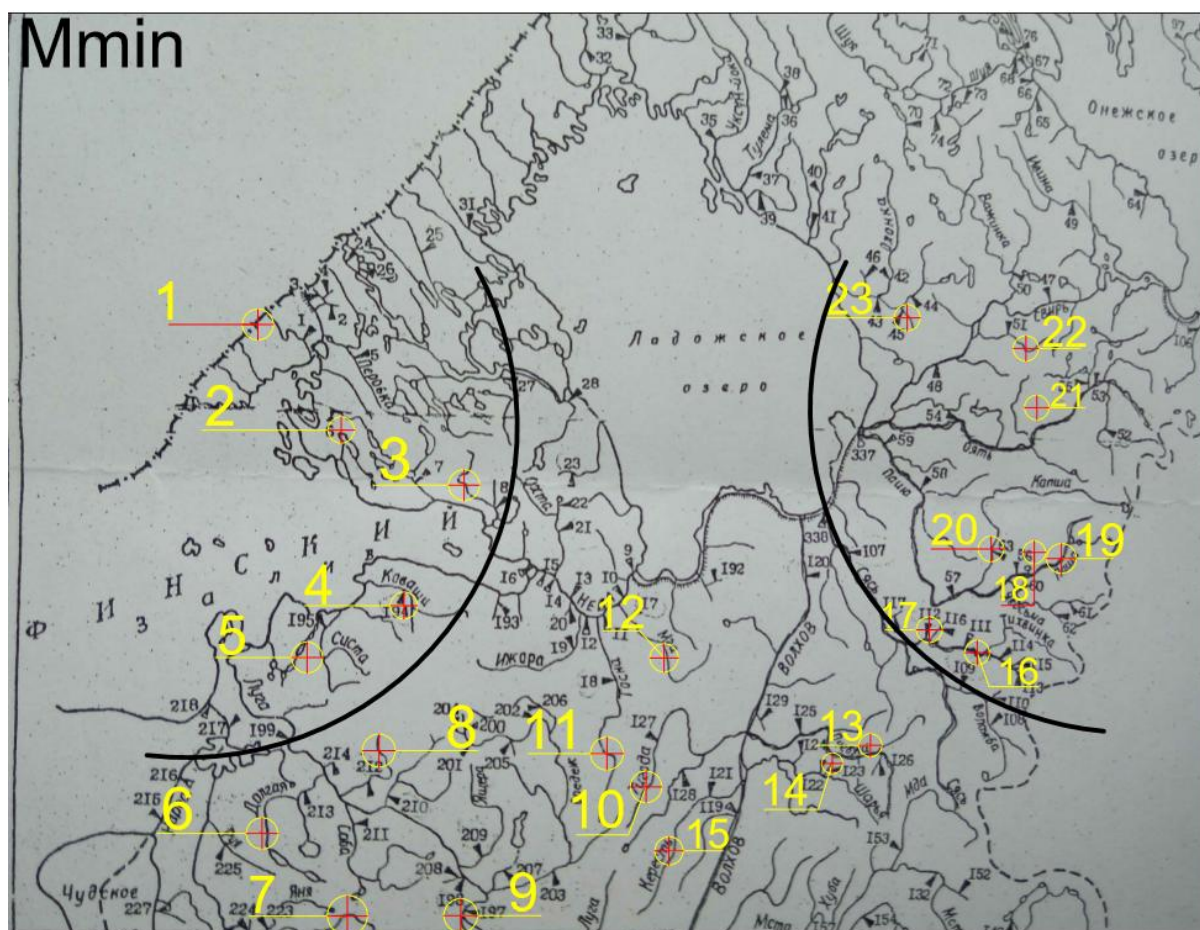


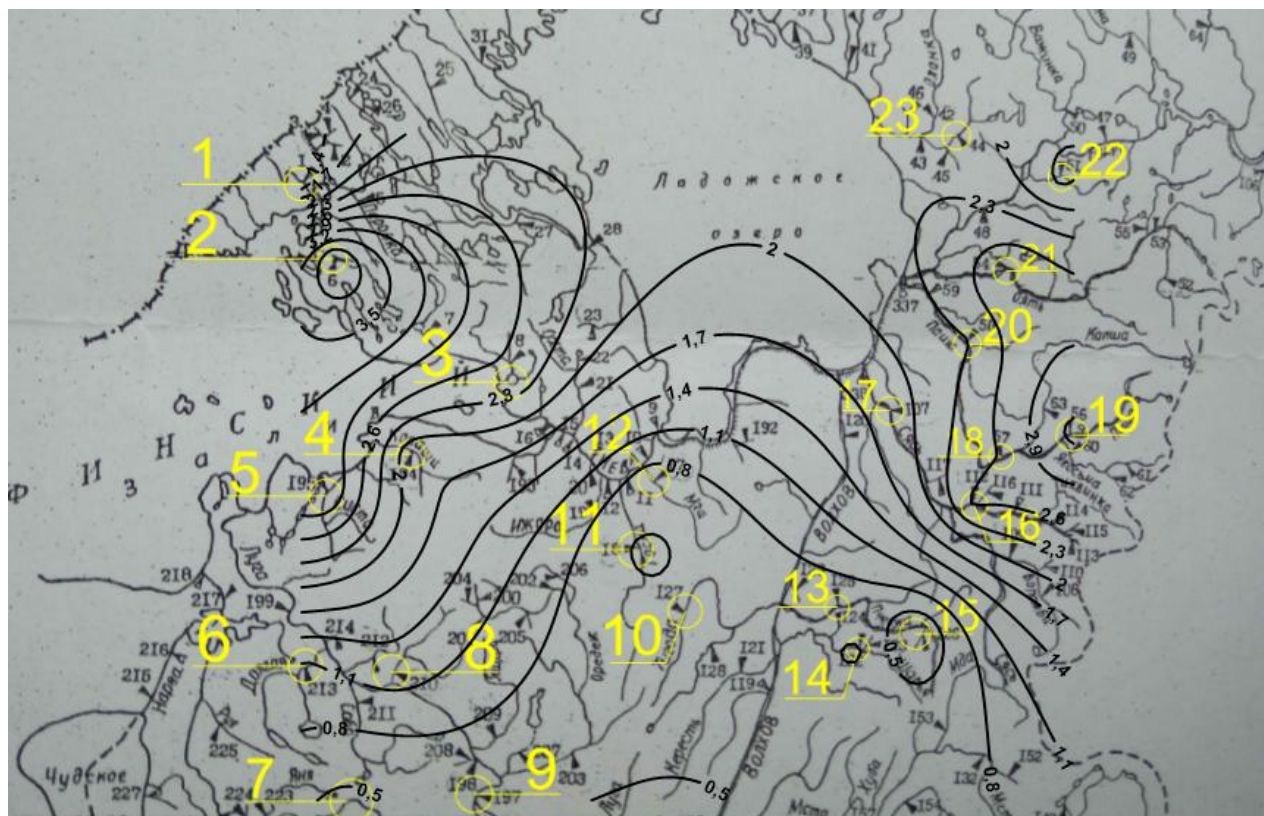
Рисунок 4.5 – Разделение кластеров методом кратчайшей связывающей сети матрицы годовых модулей стока суточного минимального стока.

Наложение результатов, полученных методом кратчайшей связывающей сети на карту Ленинградской области, дает нам представление о расположении кластеров годовых значений модулей стока суточного минимального стока.

Таблица 4.4 Распределение постов по кластерам методом кратчайшей связывающей сети матрицы годовых модулей стока суточного минимального стока.

Кластер	1	2
Посты	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,2,3,4,5,16,17,18,19,20,21,22,23

Так же была построена карта изолиний годовых значений модуля стока
30-ти суточного минимального стока:



5.ПРОГНОЗ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.

Основной идеей прогноза минимального 30-ти суточного стока рек Ленинградской области заключается в районировании территории по квазиоднородным условиям формирования минимального стока, выборе наиболее информативных предикторов для районов, в частности для исследуемых створов, составление уравнения регрессии.

5.1 ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРЕДИКТОРОВ.

1. ИНДЕКСЫ ЦИРКУЛЯЦИИ ВАНГЕНГЕЙМА

Наряду с многочисленными типизациями атмосферных процессов, основой которых служила главным образом локализация барических систем, в последнее время активно используются разного рода количественные показатели (индексы). Особенно успешно они изучаются в области изучения интенсивности атмосферной циркуляции и связанного с ней режима метеорологических элементов.

Индекс определяется как разность среднего давления (по приземным данным) или геопотенциала на двух широтах (по данным на уровне 3 км).

Изучая состояние атмосферной циркуляции при различных значениях индекса зональной циркуляции m , Россби предположил, что процессы общей циркуляции можно обобщить в двух типах: тип процессов с высоким индексом и тип процессов с низким индексом. Каждый тип, обусловлен определенным состоянием центров действия атмосферы, рядом особенностей циркуляции.

Атмосферные процессы, по Г.Я. Вангенгейму, обобщены в три формы общей циркуляции в пределах атлантико-евразийского сектора Северного полушария: W- западную, E- восточную и меридиональную С. При западной форме в толще тропосферы наблюдаются волны небольшой амплитуды, интенсивно смещающиеся с запада на восток. У земли наблюдается зональное смещение барических образований в направлении ведущего потока. Поскольку при этой форме у земли и на высотах зональные составляющие циркуляции максимально усилены, а меридиональные-ослаблены, то межширотный обмен воздушными массами по большей части ослабевает.

Циркуляции восточной формы E, так же как и процессы меридиональной формы характеризуются в тропосфере постоянными волнами значительной амплитуды.

Процессы меридиональной формы представляют собой постоянные волны большой амплитуды в тропосфере, что является наиболее аномальным, так как при них практически отсутствуют два немаловажных центра действия- исландский и алеутский (даже в зимний период, когда по многолетним данным они хорошо развиты. Поэтому гребень сибирского антициклона, южная часть которого расположена в субтропической зоне, соединяется с полярным антициклоном.

В данной работе, в качестве предикторов рассматривались индексы по Вангенгейму за предшествующие вскрытию месяцы: май, июнь. Данные индексы подверглись корреляционному анализу, в результате были выявлены наиболее значимые процессы, оказывающие влияние на минимальный сток.

В качестве предикторов было принято решение использовать индексы западной циркуляции за июнь и меридиональной циркуляции за май.

2. ИНДЕКС ЗАСУШЛИВОСТИ Д.А. ПЕДЯ.

Урожайность сельскохозяйственных культур сильно изменяется от года к году, что в большой степени определяется влиянием погодных условий. Из метеорологических параметров, в той или иной степени характеризующих урожайность сельскохозяйственных культур, ведущая роль принадлежит осадкам и температуре. Из показателей, включающих эти два важных метеорологических параметра, наибольшее распространение в последние годы получил индекс S , предложенный Д.А. Педем. В полном виде индекс S записывается так:

$$S=(\Delta T/\sigma_T)-(\Delta R/\sigma_R)-(\Delta W/\sigma_W)$$

где $\Delta T, \Delta R, \Delta W$ – аномалии температуры, осадков и запасов продуктивной влаги в почве, а $\sigma_T, \sigma_R, \sigma_W$ – соответствующие средние квадратичные отклонения. При нахождении индекса S берутся не сами значения T, R, W , а их аномалии по сравнению с климатической нормой. Необходимо помнить, что критерий S должен включать только независимые элементы. Индекс Педя косвенно характеризует степень увлажнения территории, а следовательно, опосредованно характеризует возможные потери при формировании стока. При избыточном увлажнении, когда отдельные факторы благоприятствуют этому явлению, индекс S приобретает наименьшее значение ($S \ll 0$). Кроме учета влияющих факторов важно еще, чтобы предложенный индекс можно было применять как для отдельных пунктов, так и определенной территории в интересующий период.

3. МОДУЛЬ СТОКА ДО НАЧАЛА МЕЖЕНИ.

Основным предиктором послужили значения модулей стока, среднемесячных значений до начала межени. Данные приведены в итоговой таблице 5.1

4. УРОВНИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Последним предиктором были взяты уровни Ладожского озера. Проведя корреляцию уровней Ладожского озера, за апрель, май, июнь, с модулями стока исследуемых створов, было принято решение взять в качестве предиктора, разницу уровней за май-июнь, т.к. они давали наибольшую информативность. Данные приведены в итоговую таблицу 5.2.

5. ИТОГОВАЯ ТАБЛИЦА ПРЕДИКТОРОВ

Таблица 5.1.

Год	Общие предикторы				Река	Тосно	Пчевжа	Паша
					Пост	Тосно	Белая	Часовское
	W^{VI}	C^V	S^{V-VII}	H_{lo}^{V-VI}	Год	Ms	Ms	Ms
1955	14	4	-1,4	-38	1955	0,4	0,9	3,8
1956	11	14	1,6	-8	1956	0,3	53	6,1
1957	9	10	-0,6	-12	1957	1,6	6,8	6,9
1958	0	2	-1,7	-64	1958	1,0	4,5	6,2
1959	3	14	1,1	7	1959	0,6	1,3	4,8
1960	14	6	0,9	3	1960	0,4	1,1	3,6
1961	15	7	0,3	-6	1961	1,0	12	13
1962	21	5	-1,8	-16	1962	11	62	10
1963	8	3	1,4	40	1963	0,5	1,6	3,1
1964	11	11	0,8	1	1964	0,4	0,9	31
1965	12	23	0,4	-3	1965	0,9	1,8	4,1
1966	5	5	1,1	-19	1966	1,3	42	5,3
1967	7	8	-0,4	-4	1967	0,6	3,2	5,4
1968	0	12	0,8	-10	1968	0,9	4,0	2,7
1969	5	12	-0,2	-3	1969	0,6	1,2	3,7

1970	0	9	1,7	0	1970	0,9	12	2,1
1971	0	12	0,7	-8	1971	0,6	4,0	2,8
1972	0	3	2,1	9	1972	1,4	0,5	1,8
1973	2	6	0,7	-2	1973	0,4	0,6	7,5
1974	8	5	-0,5	-3	1974	12	17	7,5
1975	4	8	0,2	1	1975	0,6	0,8	2,6
1976	4	2	-1,3	-8	1976	2,3	2,5	7,4
1977	2	2	0,7	-3	1977	1,3	9,1	4,8
1978	3	4	1	1	1978	0,8	1,8	19
1979	7	0	1,4	0	1979	0,6	15	18
1980	1	18	0,5	2	1980	1,2	15	3,6
1981	0	0	-0,1	-15	1981	7,6	3,4	20
1982	2	10	-1,2	-9	1982	1,7	4,0	8,8
1983	0	12	0,7	3	1983	0,5	1,8	4,0
1984	3	9	1,8	4	1984	0,5	4,8	20

5.2 ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ И ИХ ОЦЕНКА.

1. Уравнения с Учетом Msr

Р.Тосно

$$q = 5,01 \cdot q_p - 1,2 \quad S/\sigma = 0,61$$

р.Пчевжа

$$q = 9,8 \cdot q_p - 1,2 \quad S/\sigma = 0,89$$

р.Паша

не удалось написать уравнение т.к. S/σ много раз превышает допустимый интервал значений $n=30$ $S/\sigma < 0,8$

Качество уравнение р.Тосно равно 0,61, данное значение входит в интервал допустимости.

Качество остальных створов полученных уравнений оказалось значительно выше.

Учитывая, что режим выпадения осадков определяется характером атмосферной циркуляции, было принято решение учесть особенности путем введения в прогностическое уравнение количественных характеристик этих

процессов через индексы атмосферной циркуляции Вангенгейма. Для рек Тосно и Пчевжа, наиболее информативными характеристиками являются значения W^{VI} – западная циркуляция, для реки Паша E^V – восточная циркуляция, данные приведены в таблице 5.1.

2.1. Уравнение регрессии с учетом q_s и W^{VI} .

1) Тосно

$$q_p = 0.11 * q_i + 0.0006 * W_{VI} + 0.303 \quad S/\sigma = 0.44$$

2) Пчевжа

$$q_p = 0.021 * q_i + 0.04 * W_{VI} + 0.64 \quad S/\sigma = 0.64$$

3) Паша

$$q_p = -0.079 * q_i + 2.31 * W_{VI} + 10.2 \quad S/\sigma = 0.91$$

Качество отношение S/σ у рек Тосно и Пчевжа, находится в пределах погрешности методики. У реки Паша, показатели выходят за рамку $S/\sigma < 0.8$, потому мы возьмем предиктор C^V , т.к. он обладает для данной реки наибольшей информативностью.

2.2. Уравнение регрессии с учетом q_s и E^V для реки Паша.

$$q_p = 1 * q_i - 2.55 * E_V + 60.2 \quad S/\sigma = 0.85$$

Отношение S/σ не входит в допустимый интервал, но уже лучше.

На следующем этапе в качестве предикторов были выбраны 1- предыдущий сток, 2- индекс атмосферной циркуляции 3- индекс засушливости Педя, характеризующий степень увлажнения территории (Индекс Педя рассчитывался как осредненное значение за май-июнь). Данный индекс был посчитан для территории Ленинградской области. В результате были посчитаны следующие прогностические зависимости:

3.1 Уравнение регрессии с учетом q_s , W^{VI} и S^{V-VI} для рек Тосно и Пчевжа.

1) Тосно

$$q_p = 0.1 * q_i - 0.003 * W^{VI} - 0.1 * S^{V-VI} + 0.38 \quad S/\sigma = 0.41$$

2) Пчевжа

$$q_p = 0,02 * q_i + 0,02 * W^{VI} - 0,4 * S^{V-VI} + 0,9S/\sigma = 0,47$$

3.2 Уравнение регрессии с учетом q_s , E^V и S^{V-VI} для реки Паша

$$q_p = 0,02 * q_i - 0,006 * E^V - 0,66 * S^{V-VI} + 2,9S/\sigma = 0,74$$

Заметное увеличение качества отношения S/σ на всех створах.

Последним предиктором был выбран уровень Ладожского озера, а точнее разность уровней мая и июня т.к. они дают наибольшую информативность.

4.1 Уравнение регрессии с учетом q_s , W^{VI} , S^{V-VI} и H_{lo} , для рек Тосно и Пчевжа.

1) Тосно

$$q_p = 0,1 * q_i - 0,002 * W^{VI} - 0,07 * S^{V-VI} - 0,002 * H_{lo} + 0,35S/\sigma = 0,40$$

2) Пчевжа

$$q_p = 0,02 * q_i + 0,01 * W^{VI} - 0,45 * S^{V-VI} + 0,005 * H_{lo} + 0,95 \quad S/\sigma = 0,47$$

4.2 Уравнение регрессии с учетом q_s , E^V , S^{V-VI} и H_{lo} , для реки Паша.

$$q_p = 0,02 * q_i + 0,01 * E^V - 0,45 * S^{V-VI} + 0,01 * H_{lo} + 2,09 \quad S/\sigma = 0,7$$

ТУТ ДОЛЖЕН БЫТЬ ВЫВОД

5.3 ИТОГОВЫЕ ТАБЛИЦЫ И ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ МЕТОДИКИ

Ниже будут приведены итоговые таблицы для исследуемых створов где,

$q_{\text{ф}}$ -фактические значения модулей стока 30-ти суточного минимального летне-осеннего стока.

$q_{\text{п}}$ -прогнозируемые значения модулей стока 30-ти суточного минимального летне-осеннего стока по уравнениям с 4-мя wybranными предикторами.

Δ - разность $q_{\text{ф}}$ и $q_{\text{п}}$

δ - допустимая погрешность методики между $q_{\text{ф}}$ и $q_{\text{п}}$

$$\delta = \pm 0,674 * \sigma$$

σ - средне квадратичное отклонение

P- Оправдываемость методики

$$P = \frac{n_{\text{опр}}}{n} * 100\%$$

Таблица 5.2. Итоговые фактические и прогнозные значения модулей стока, их разница и оправдываемость прогноза для реки Тосно.

Год	$q_{\text{ф}}$	$q_{\text{п}}$	Δ
1955	0,38	0,57	-0,19
1956	0,60	0,26	0,34
1957	0,50	0,58	-0,08
1958	0,88	0,75	0,14
1959	0,20	0,31	-0,11
1960	0,18	0,30	-0,12
1961	0,27	0,42	-0,15
1962	1,73	1,67	0,06
1963	0,23	0,19	0,05
1964	0,25	0,32	-0,06
1965	0,33	0,40	-0,07
1966	0,71	0,45	0,26
1967	0,19	0,45	-0,25
1968	0,35	0,41	-0,07
1969	0,26	0,43	-0,17
1970	0,36	0,32	0,04

1971	0,30	0,39	-0,09
1972	0,12	0,32	-0,20
1973	0,22	0,35	-0,12
1974	1,89	1,64	0,25
1975	0,22	0,39	-0,17
1976	1,35	0,70	0,65
1977	0,51	0,45	0,06
1978	0,32	0,36	-0,04
1979	0,38	0,30	0,08
1980	0,85	0,43	0,42
1981	0,54	1,20	-0,66
1982	0,57	0,64	-0,07
1983	0,43	0,35	0,08
1984	0,46	0,25	0,20
		$\delta=$	0,299
		$p=$	86,6%

Таблица 5.3. Итоговые фактические и прогнозные значения модулей стока, их разница и оправдываемость прогноза для реки Пчевжа.

Год	q_f	q_p	Δ
1955	0,69	1,61	-0,93
1956	0,75	1,67	-0,92
1957	1,40	1,46	-0,07
1958	2,41	1,52	0,89
1959	0,39	0,57	-0,18
1960	0,87	0,78	0,09
1961	1,59	1,30	0,29
1962	4,66	3,52	1,15
1963	0,95	0,67	0,27
1964	0,58	0,77	-0,19
1965	1,06	0,97	0,09
1966	0,79	1,47	-0,68
1967	1,79	1,29	0,49
1968	1,09	0,64	0,45
1969	0,52	1,13	-0,61

1970	0,70	0,48	0,22
1971	0,67	0,70	-0,02
1972	0,33	0,06	0,27
1973	0,38	0,67	-0,29
1974	1,08	1,69	-0,62
1975	0,48	0,95	-0,47
1976	1,67	1,63	0,04
1977	1,45	0,88	0,57
1978	1,15	0,59	0,55
1979	0,86	0,79	0,07
1980	1,11	1,12	-0,01
1981	0,78	1,01	-0,24
1982	0,78	1,59	-0,80
1983	0,67	0,70	-0,03
1984	0,89	0,32	0,57
		$\delta=$	0,68
		$P=$	83,3%

Таблица 5.2. Итоговые фактические и прогнозные значения модулей стока, их разница и оправдваемость прогноза для реки Паша.

Год	q_f	q_p	Δ
1955	2,29	3,11	-0,81
1956	2,22	3,13	-0,91
1957	2,52	3,19	-0,66
1958	4,22	4,32	-0,10
1959	1,45	2,41	-0,96
1960	1,66	2,37	-0,71
1961	4,92	2,83	2,09
1962	4,94	3,92	1,02
1963	2,59	2,78	-0,18
1964	1,98	3,09	-1,11
1965	2,12	2,61	-0,49
1966	2,56	1,91	0,65
1967	1,69	3,18	-1,49

1968	2,10	2,25	-0,15
1969	1,80	3,04	-1,24
1970	2,05	1,83	0,22
1971	2,15	2,36	-0,20
1972	1,22	1,73	-0,52
1973	1,25	2,57	-1,33
1974	3,87	3,31	0,56
1975	1,89	2,83	-0,94
1976	6,01	3,77	2,24
1977	3,68	2,49	1,19
1978	4,64	2,72	1,92
1979	2,85	2,38	0,48
1980	2,22	2,69	-0,47
1981	3,23	3,17	0,06
1982	2,87	3,73	-0,86
1983	3,91	2,60	1,31
1984	3,70	2,27	1,42
		$\delta=$	1,8
		P=	90%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель квалификационной работы –создание методики прогнозирования минимального 30-ти суточного летне-осеннего стока.

В результате данного исследования:

- сформирован и проанализирован информационный блок данных;
- с использованием одного из эвристических методов объективной классификации(построение КСС) выполнено районирование территории Ленинградской области по условиям формирования минимального стока;
- осуществлен анализ потенциальных предикторов и отобраны наиболее прогностически-информативные;
- решающее правило представлено в виде линейных регрессионных уравнений;

-дана оценка эффективности разработанных зависимостей на ректроспективном материале;

-осуществлена проверка “работы” уравнения на независимом материале;

-намечены возможные пути усовершенствования предложенной методики.

ЛИТЕРАТУРА

5) Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный край. [текст] / под ред. И. М. Жилы и Н. М. Алюшинской. – Л.: Гидрометеиздат, 1972.

10) Айвазян С. А. Классификация многомерных наблюдений. [текст] / С. А. Айвазян, З. И. Бежаев, О. В. Староверов. – М.: Статистика, 1974. 240 с.

11) Сошникова Л. А. Многомерный статистический анализ в экономике: учебное пособие для вузов [текст] / Л. А. Сошникова, В. Н. Тамошевич. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 1999.- 558 с.