



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 **Синоптико-статистический  
метод прогноза сроков  
вскрытия рек Карелии**

Исполнитель Хромов Никита Вадимович

Руководитель кандидат географических наук, доцент

Шаночкин Сергей Владимирович

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой



(подпись)

доктор технических наук, профессор Коваленко Виктор Васильевич

«21» июня 2016 г.

Санкт-Петербург  
2016



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 **Синоптико-статистический  
метод прогноза сроков  
вскрытия рек Карелии**

**Исполнитель** Хромов Никита Вадимович

**Руководитель** кандидат географических наук, доцент

Шаночкин Сергей Владимирович

**«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой**

(подпись)

доктор технических наук, профессор Коваленко Виктор Васильевич

«\_\_»\_\_\_\_\_2016 г.

Санкт-Петербург  
2016

СОДЕРЖАНИЕ

## Оглавление

Введение.....	3
<b>1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ .....</b>	<b>4</b>
1.1. Географическое положение .....	4
1.2. Рельеф .....	5
1.3. Геологическое строение .....	6
1.4. Климат.....	7
1.5. Общие сведения о гидрографической сети.....	8
1.6. Ледовый режим рек .....	9
<b>2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....</b>	<b>10</b>
<b>3. МЕТОД РАЗЛОЖЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ ОРТОГОНАЛЬНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ .....</b>	<b>21</b>
3.1. Метод главных компонент .....	22
3.2. Применение метода главных компонент для решения задач классификации.....	28
<b>4. ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРЕДИКТОРОВ .....</b>	<b>35</b>
4.1. Естественные ортогональные составляющие среднемесячных аномалий давления на северном полушарии .....	36
4.2. Индексы циркуляции Вангенгейма .....	41
4.3. Индексы Северо-Атлантического колебания.....	43
4.4. Естественные ортогональные составляющие среднемесячных температур поверхности воды Атлантического океана.....	43
4.5. Индексы синоптического каталога Л.А. Вительса .....	45
<b>5. ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ .....</b>	<b>47</b>
5.1. Построение прогностических зависимостей для конкретных с.....	50
Заключение .....	51
Список использованных источников .....	52

## ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: Получить прогностические зависимости для прогноза сроков вскрытия рек Карелии.

Долгосрочные прогнозы ледовых явлений составляются по методам, основанным на анализе и учете развития атмосферных процессов в период, предшествующий этому явлению.

В качестве характеристик атмосферных процессов часто применяются разного рода локальные индексы циркуляции, характеризующие особенности процессов на пространствах, непосредственно примыкающих к бассейнам рассматриваемых рек.

Исследования последних лет показали, необходимость учета атмосферной циркуляции на всем северном полушарии. Одновременно получили развитие и методы линейного ортогонального преобразования метеорологических полей.

Все это создало предпосылки для разработки метода долгосрочных прогнозов ледовых явлений, базирующегося на учете атмосферных процессов над обширными районами северного полушария, представленными в виде коэффициентов разложения метеорологических полей на естественные ортогональные составляющие. Впервые этот метод был предложен в Главном управлении гидрометеорологической службы СССР.

Как правило, долгосрочные ледовые прогнозы имеют более высокую оправдываемость на крупных и средних водных объектах, так как сроки ледовых явлений на малых водотоках в значительной степени определяются локальным и в некотором смысле случайными факторами. В связи с этим, данный метод разрабатывался и использовался для прогноза ледовых явлений на крупных реках, таких как : Обь, Иртыш, Енисей, Ангара, Северная Двина, Печора.

Однако, в настоящей работе данный метод был применен к малым и средним рекам Карелии, с площадью водосбора не превышающей 15000 км<sup>2</sup>.

## ГЛАВА 1. ФИЗИКО – ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

## 1.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Республика Карелия расположена на северо-востоке Европы, на северо-западе Европейской части Российской Федерации. Западная граница Карелии совпадает с государственной границей Российской Федерации и Финляндии, имеет протяжённость 798,3 км, одновременно являясь границей с Европейским Союзом. На востоке Карелия граничит с Архангельской областью, на юге — с Вологодской и Ленинградской областями, на севере — с Мурманской областью.

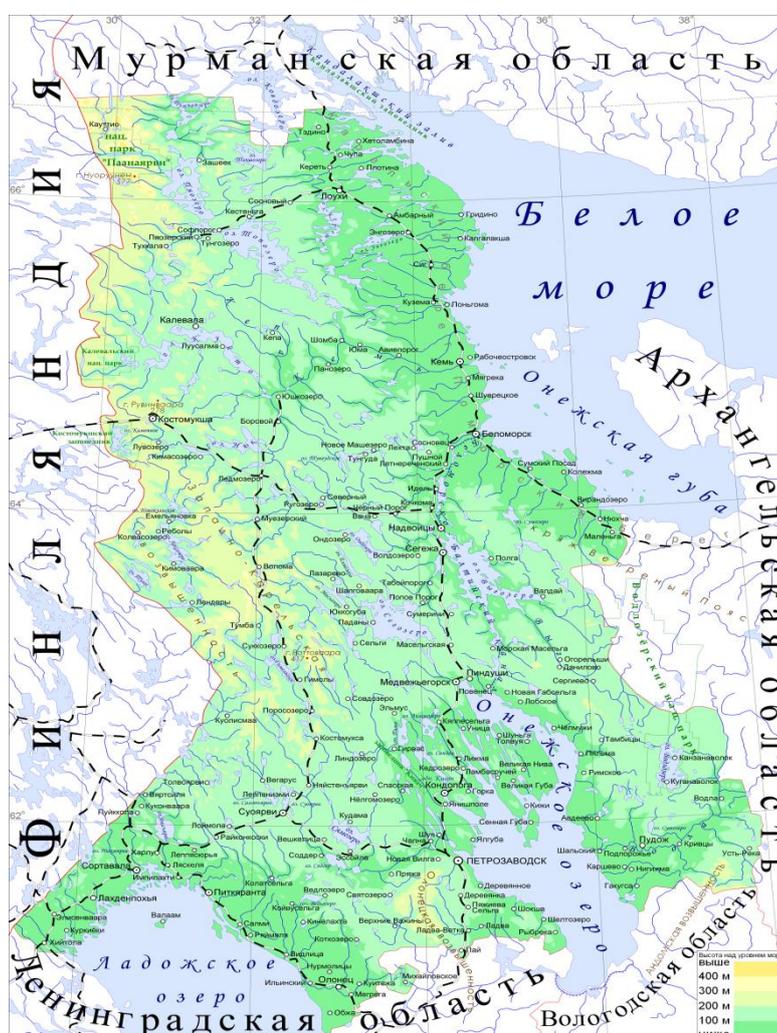


Рисунок. 1.1- Физическая карта Карелии.

Крайняя северная точка Карелии находится к северу от озера Аськиярви, крайняя восточная точка лежит в Пудожском районе близ озера Малое Черозеро. Крайняя южная точка — близ мыса Габанов, крайняя западная точка

лежит на юге республики в Лахденпохском районе на северном берегу озера Питкяярви (однако к ней близка точка, расположенная почти на той же долготе на севере республики в Лоухском районе — севернее озера Халтиоярви).

## 1.2 . РЕЛЬЕФ

Карелия в основном характеризуется холмисто-равнинным рельефом с абсолютными отметками, не превышающими 200 метров над уровнем моря. На северо-западе и западе отдельные массивы достигают высоты 350-600 метров.

Рельеф определил особенности гидрографической сети Карелии. На значительной ее части реки прокладывают свой путь в направлении с северо-запада на юго-восток, так же ориентирована большая часть озер.

На севере Карелии расположено обширное приподнятое озерное плато, на котором находится множество крупных и мелких озер (Ковд-озеро, Пя-озеро, Топ-озеро, озера Куйто, Нюк и другие). Высотные отметки в пределах района уменьшаются с запада на восток. В южной части района находится Куйтозерская впадина, представляющая слабоогнутую в центре равнину с высотами 100-120 метров.

С запада и северо-запада местность в целом понижается по направлению к трем крупным водным бассейнам, где наблюдаются наименьшие абсолютные высоты: у Онежского озера ( Восточно-Онежская равнина)- до 40 метров, у Белого моря (Прибеломорская низменность)- до 10-20 метров, у Ладожского озера ( Северное Приладожье и Олонецкая равнина)- до 5-10 метров. Рельеф водораздельных пространств между Онежским озером и Белым морем, Онежским и Ладожским озерами в целом спокойный, слабо расчлененный, с незначительными колебаниями относительных высот. Центральная часть указанного водораздела- район Выгозерской впадины характеризуется наименьшими абсолютными высотами (50-100 метров).

Своеобразным рельефом, нигде больше не встречающимся в Карелии, отличается Заонежский сельговый район. Он охватывает полуостров Заонежье и

участки, прилегающие к северному побережью Онежского озера. Основной чертой его является частое чередование узких и длинных гряд, сложенных преимущественно дочетвертичными породами, с узкими понижениями, заполненными озерами и заливами Онежского озера. Четко выражена ориентировка форм рельефа с северо-востока на юго-восток. Абсолютные отметки редко превышают 100 метров, относительные высоты колеблются от 5 до 20-30 метров.

### 1.3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

В геологическом отношении территория Карелии является восточной частью Балтийского или Фенноскандинавского кристаллического щита и представляет собой область распространения преимущественно древнейших кристаллических пород архейско-протерозойского комплекса.

Древнейшие архейские и протерозойские образования в Карелии представлены изверженными и обломочно-осадочными породами, метаморфизованными в толщу кристаллических сланцев. Они имеют преимущественно северо-западное простирание.

Молодые архейские образования представлены огнейсованными гранитами, грано-диоритами и магматитами, объединенными под общим названием гнейсо-гранитов. Они широко развиты в бассейнах рек Тумчи, Кеми, Чирко-Кеми, Выга, Шуи и в верхнем течении реки Водлы.

Породы протерозойского возраста распространены к северо-западу от Онежского озера. В составе протерозоя выделяются нижняя и верхняя подгруппа.

Образования нижнего протерозоя представлены разнообразными сланцами, эффузивами и туфами, реже кварцитами и конгломератами.

Верхний протерозой включает в себя иотнинскую серию, представленную Петрозаводской свитой и более молодые интрузии. В состав Петрозаводской свиты входят кварциты, кварцитопесчаники и глинистые сланцы.

Более поздние палозойские отложения наблюдаются только в южной части Карелии и представляют собой окраинную часть полого залегающих пород толщ Русской платформы. Сложены они песчано-глинистыми осадками девона, а на юго-восточной части - известняками, мергелями и песчаниками карбона.

Кристаллические породы и осадки палеозоя покрыты плащом четвертичных отложений, изпод которого нередко выходят на поверхность подстилающие коренные породы.

#### 1.4. КЛИМАТ

Климат Карелии можно охарактеризовать как умеренно-континентальный, с признаками морского. Средняя годовая температура изменяется от нуля на севере до 3° на юге. Самыми холодными месяцами в году являются январь и февраль. Средняя месячная их температура составляет -12, -13° в северной и -10° в южной части. В Карелии зима хотя и не суровая, но продолжительная. Период со средними суточными температурами ниже -5° составляет 125-135 дней на севере и 115-125 дней на юге территории. Переход температуры воздуха через -5° наблюдается в середине ноября в северных и в конце ноября - в южных районах Карелии и длится до конца марта на севере и до 20-25 февраля на юге. Устойчивого периода с температурами ниже -15° по Карелии не наблюдается.

За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через нуль. На севере Карелии он осуществляется в конце апреля, а на юге - во второй декаде апреля. Весна характеризуется частыми возвратами холодов, а иногда и кратковременными установлениями снежного покрова. К концу апреля вся территория очищается от снега. За начало лета принимается переход средней суточной температуры воздуха через 10°, который наблюдается в конце мая на юге Карелии, в северных районах - в середине

июня. В начале лета еще возможны заморозки, на севере Карелии они наблюдаются даже в июле.

Раньше всего осень наступает на севере Карелии (в конце августа), а в середине сентября и на юге. Продолжительность осени около двух месяцев.

## 1.5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ

Обширная территория Карелии имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, которая принадлежит бассейнам Белого и Балтийского морей.

Наличие большого количества рек, озер и болот обусловлено избыточно влажным климатом. Характерным для гидрографической сети данного региона является наличие большого количества мелких рек. Число рек и ручьев длиной меньше 10 километров составляет 95% общего числа, а их длина-70% общей длины. Общее число рек в Карелии и на Карельском перешейке составляет 26,7 тысяч, а их суммарная протяженность составляет 83 тысячи километров. Только 12 рек имеют длину более 150 километров.

Несмотря на небольшую длину, реки в Карелии имеют большие площади водосборов за счет большой озерности водосборов. На территории Карелии и Карельского перешейка располагается 68162 озера, их суммарная площадь равна 20,324 км<sup>2</sup>, что составляет около 12% всей территории.

## 1.6. ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕК

Ледовый режим рек Карелии формируется в условиях переходной зоны между западноевропейским морским климатом и евроазиатским континентальным. Морские воздушные массы, поступающие с Атлантического океана, оказывают значительное влияние на образование ледяного покрова, его устойчивость и продолжительность.

В большой степени, на ледовый режим оказывают влияния и местные специфические условия, обусловленные географическим положением водосборов рек, условиями питания и влиянием других местных факторов.

Иногда, близко расположенные участки реки замерзают в крайне различные сроки. На реках Карелии сначала замерзают плесовые участки, затем через 10-15 дней, ледостав устанавливается и на перекатных участках. Участки крупных порогов и водопадов, а также истоки из крупных озер не замерзают даже в самые суровые зимы. При раннем похолодании ледяной покров на реках может образоваться во второй декаде октября, в теплую же зиму - в феврале, а на порожистых участках рек - даже в первой декаде марта. Малые реки и притоки обычно замерзают на 5-10 дней раньше основных рек. Средняя продолжительность ледостава колеблется от 80 до 195 дней на севере и от 88 до 160 дней на южных реках.

Вскрытие рек начинается на крайнем юго-западе и распространяется в северо-восточном направлении. Сначала освобождаются ото льда участки рек близ истоков из озер и порожистые участки, затем плесовые и озеровидные расширения. В среднем по территории вскрытие происходит в течение 15 дней. При затяжных, перебойных веснах продолжительность вскрытия может увеличиваться до 33-38 дней.

## ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для данной работы требовалось собрать совместные, непрерывные ряды ежегодных сроков вскрытия рек. Были выбраны 14 постов с 20-ти летним периодом наблюдений с 1956 по 1975 годы, для построения прогностических зависимостей, а так же пятилетний отрезок с 1976 по 1980 год, для проверки на независимом материале.

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

№ на карте	Река	Пост
1	Водла	д. Харловская
2	Рагнуска	д. Харловская
3	Сомба	д. Кривцы
4	Колода	д. Кубовская
5	Черная	с. Каршево
6	Пяльма	д. Пяльма
7	Шуя	д. Бесовец
8	Олонка	г. Олонец
9	Тулема	пгт. Салми
10	Уксун-йоки	д. Ууксу
11	Поньгома	с. Поньгома
12	Чирко-Кемь	с. Юшкозеро
13	Чирко-Кемь	с. Андропова гора
14	Сума	с. Сумский Посад

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

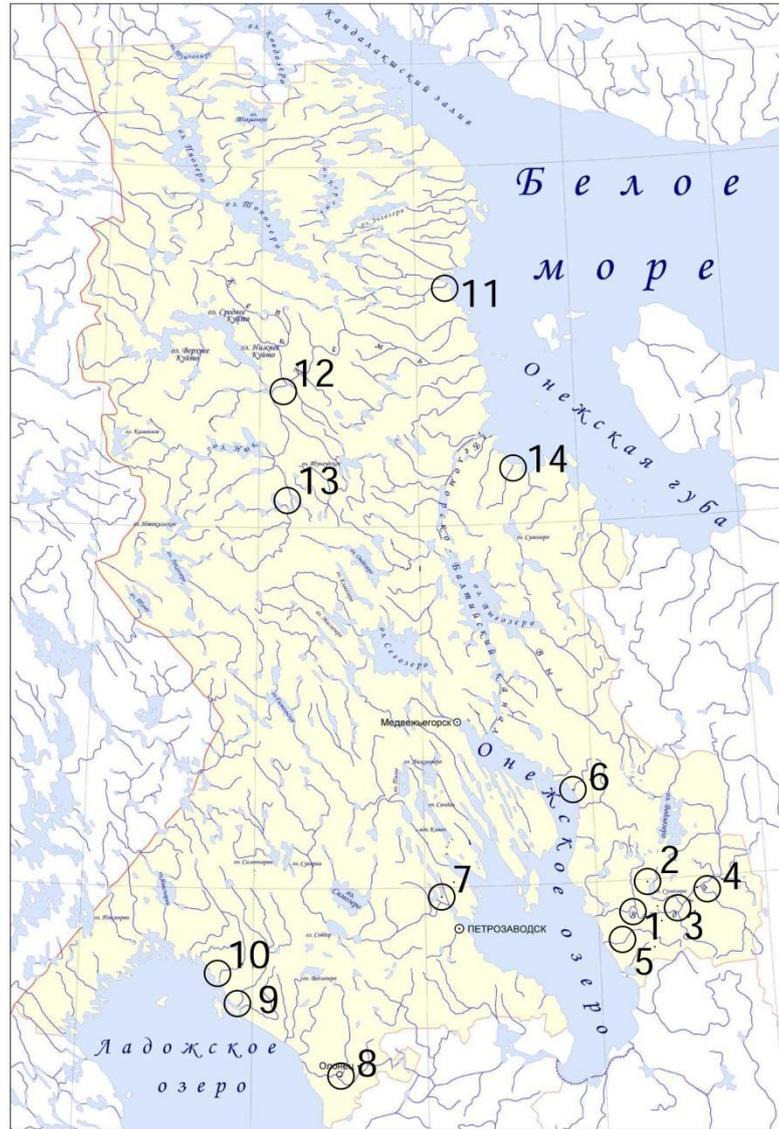


Рисунок 2.1 - Схематичное расположение исследуемых постов.

Ежегодные данные о сроках вскрытия рек Карелии по данным постам занесены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2. Ежегодные даты вскрытия рек

Номер поста							
год	1	2	3	4	5	6	7

1956	8.5	8.5	8.5	8.5	7.5	7.5	10.5
1957	3.5	4.5	30.4	4.5	3.5	1.5	2.5
1958	6.5	7.5	2.5	12.5	29.4	1.5	6.5
1959	28.4	30.4	24.4	28.4	25.4	26.4	25.4
1960	22.4	22.4	17.4	24.4	19.4	15.4	23.4
1961	7.5	8.5	6.5	10.5	6.5	6.5	25.4
1962	19.4	19.4	12.4	20.4	17.4	11.4	18.4
1963	29.4	30.4	22.5	30.4	23.4	26.4	4.5
1964	30.4	1.5	28.4	3.5	28.4	1.5	29.4
1965	26.4	24.4	10.5	27.4	18.4	24.4	26.4
1966	4.5	6.5	1.5	8.5	1.5	8.5	4.5
1967	16.4	25.4	14.4	23.4	13.4	19.4	30.4
1968	28.4	30.4	15.4	2.5	15.4	29.4	2.5
1969	27.4	2.5	23.4	3.5	23.4	27.4	30.4
1970	26.4	27.4	20.4	30.4	19.4	28.4	29.4
1971	8.5	9.5	3.5	10.5	6.5	5.4	2.5
1972	2.5	1.5	21.4	4.5	23.4	30.4	28.4
1973	20.4	22.4	13.4	20.4	18.4	22.4	18.4
1974	7.5	9.5	4.5	10.5	30.4	8.5	25.4
1975	11.4	14.4	8.4	12.4	9.4	12.4	10.4
1976	3.5	6.5	20.4	8.5	21.4	27.4	29.4
1977	24.4	26.4	23.4	28.4	24.4	25.4	26.4
1978	4.5	6.5	22.4	9.5	21.4	4.5	2.5
1979	4.5	5.5	1.5	4.5	3.5	3.5	7.5
1980	1.5	29.4	27.4	3.5	28.4	28.4	1.5

Таблица 2.2. Продолжение

Номер поста по карте
----------------------

год	8	9	10	11	12	13	14
1956	2.5	10.5	4.5	11.5	12.5	7.4	6.5
1957	3.5	3.5	28.4	6.5	8.5	2.5	11.5
1958	27.4	7.5	29.4	17.5	17.5	28.4	5.5
1959	30.4	28.4	28.4	2.5	1.5	2.5	6.5
1960	18.4	27.4	23.4	23.4	24.4	20.4	29.4
1961	17.4	26.4	25.4	21.5	28.4	29.4	21.4
1962	25.4	19.4	14.4	22.4	25.4	16.4	6.5
1963	21.4	2.5	27.4	3.5	2.5	1.5	18.4
1964	23.4	29.4	25.4	14.5	11.5	21.4	4.5
1965	23.4	29.4	30.4	29.4	7.5	27.4	3.5
1966	1.5	5.5	1.5	17.5	15.5	26.4	21.4
1967	11.4	20.4	22.4	18.4	19.4	29.3	16.5
1968	16.4	26.4	20.4	9.5	8.5	27.3	15.4
1969	21.4	26.4	24.4	17.5	11.5	24.4	3.5
1970	19.4	27.4	28.4	8.5	13.5	8.5	4.5
1971	29.4	5.5	20.5	13.5	14.5	10.5	10.5
1972	17.4	30.4	29.4	14.5	4.5	17.4	10.5
1973	14.4	20.4	21.4	4.5	3.5	2.5	29.4
1974	26.4	29.4	2.5	12.5	10.5	13.5	10.4
1975	4.4	10.4	9.4	2.5	30.4	30.4	21.4
1976	21.4	30.4	3.5	2.5	12.5	1.5	5.5
1977	18.4	25.4	23.4	26.4	30.4	26.4	28.4
1978	19.4	28.4	2.5	18.5	16.5	17.5	13.5
1979	26.4	2.5	5.5	11.5	10.5	10.5	10.5
1980	25.4	29.4	30.4	7.5	9.5	3.5	4.5

Оценка сходства между объектами сильно зависит от абсолютного значения признака и степени его вариации. Для устранения влияния на результаты анализа принятых единиц измерения, требуется провести предварительную нормировку данных.

Существует множество способов нормировки данных, наиболее распространенные из них:

$$1. Z_{ij} = x_{ij} - x_{minj}$$

$$2. Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j};$$

$$3. Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{maxj}};$$

$$4. Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\bar{x}_j};$$

$$5. Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{minj}};$$

$$6. Z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{minj}}{x_{maxj} - x_{minj}}.$$

Используя первую формулу, мы получаем отклонения от даты наблюденного минимума в сутках. Нормированные данные занесены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3. – Отклонения от самой ранней даты вскрытия, в сутках.

год	Номер поста по карте						
	1	2	3	4	5	6	7
1956	27	24	30	26	28	32	30
1957	22	20	22	22	24	26	22
1958	25	23	24	30	20	26	26
1959	17	16	16	16	16	21	15
1960	11	8	9	12	10	10	13
1961	26	24	28	28	27	31	15
1962	8	5	4	8	8	6	8
1963	18	16	44	18	14	21	24
1964	19	17	20	21	19	26	19
1965	15	10	32	15	9	19	16
1966	23	22	23	26	22	33	24
1967	5	11	6	11	4	14	20
1968	17	16	7	20	6	24	22
1969	16	18	15	21	14	22	20
1970	15	13	12	18	10	23	19
1971	27	25	25	28	27	0	22
1972	21	17	13	22	14	25	18
1973	9	8	5	8	9	17	8
1974	26	25	26	28	21	33	15
1975	0	0	0	0	0	7	0
1976	22	22	12	26	12	22	19
1977	13	12	15	16	15	20	16
1978	23	22	14	27	12	29	22
1979	23	21	23	22	24	28	27
1980	20	15	19	21	19	23	21

Таблица 2.3. Продолжение.

Номер поста по карте							
год	8	9	10	11	12	13	14
1956	28	39	25	23	23	11	26
1957	29	32	19	18	19	36	31
1958	23	36	20	29	28	32	25
1959	26	27	19	14	12	36	26
1960	14	26	14	5	5	24	19
1961	13	25	16	33	9	33	11
1962	21	18	5	4	6	20	26
1963	17	31	18	15	13	35	8
1964	19	28	16	26	22	25	24
1965	19	28	21	11	18	31	23
1966	27	34	22	29	26	30	11
1967	7	19	13	0	0	2	36
1968	12	25	11	21	19	0	5
1969	17	25	15	29	22	28	23
1970	15	26	19	20	24	42	24
1971	25	34	41	25	25	44	30
1972	13	29	20	26	15	21	30
1973	10	19	12	16	14	36	19
1974	22	28	23	24	21	47	0
1975	0	9	0	14	11	34	11
1976	17	29	24	14	23	35	25
1977	14	24	14	8	11	30	18
1978	15	27	23	30	27	51	33
1979	22	31	26	23	21	44	30
1980	21	28	21	19	20	37	24

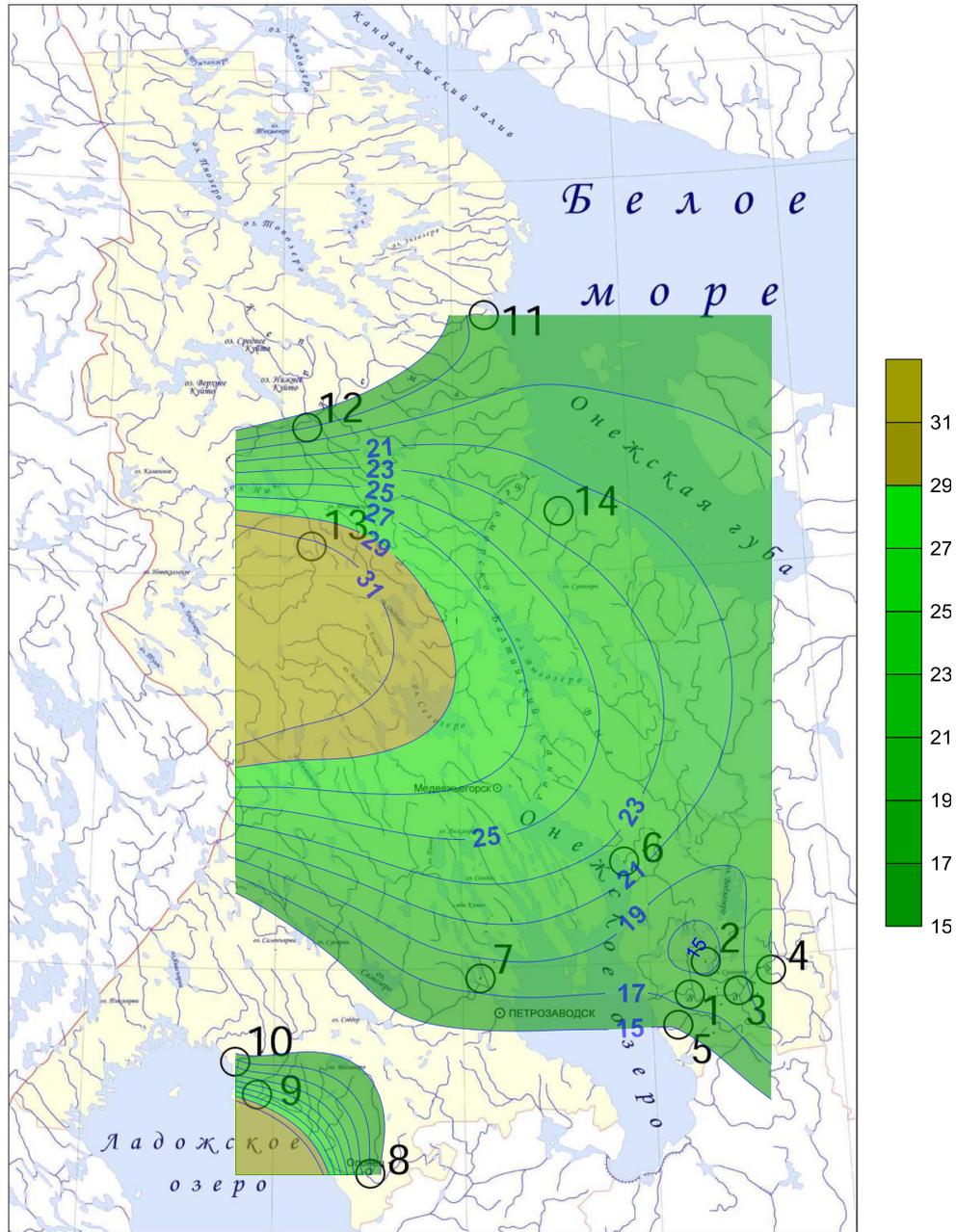


Рисунок 2.2. Карта изохронсреднемноголетних отклонений сроков вскрытия от самой ранней даты, в сутках.

При разработке методики долгосрочного прогноза сроков вскрытия рек основным аргументом является характеристика атмосферных процессов над различными районами северного полушария в месяцы, предшествующие вскрытию рек, а именно, в феврале, марте и апреле.

Анализ атмосферных процессов производился по данным средних месячных аномалий давления и температуры.

Таблица 2.4. Список постов северного полушария, по которым использовались данные об среднемесячных аномалиях давления.

№ поста	Название поста
1	м. Тобин
2	Баренбург
3	Тромсё
4	Мурманск
5	о.Рудольфа
6	Мал. Кармакуль
7	Оренбург
8	м.Желания
9	Салехард
10	Казалинск
11	Омск
12	Хатанга
13	Тура
14	Кызил
15	о. Тикси
16	Якутск
17	о. Котельный
18	о. Четырехстолбовый

Таблица 2.5. Среднемесячные аномалии давления.

Год	Номер поста								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1956	5,5	6,3	0,1	1,9	9,8	7,0	5,4	10,7	4,0
1957	3,1	-2,9	5,0	3,8	-1,4	2,0	-4,6	0,8	2,5
1958	-5,2	2,5	2,0	6,3	3,6	5,6	-2,3	3,4	6,7
1959	-5,2	1,2	3,3	2,6	4,4	5,5	0,1	5,4	-4,3
1960	-1,4	-1,5	0,1	5,0	4,0	7,3	3,2	4,6	4,9
1961	4,7	-3,3	-3,0	-5,8	0,9	-6,6	-5,6	-3,9	-4,4
1962	-1,3	-3,4	-0,6	-0,8	-6,0	-2,5	-3,5	-7,4	1,5
1963	2,2	0,4	2,7	3,8	-2,8	2,5	-9,8	-2,0	-1,1
1964	-0,6	3,3	0,2	1,1	7,0	8,6	2,4	8,8	6,9
1965	-5,2	-2,5	1,3	4,3	-0,9	3,3	3,5	1,7	2,4
1966	3,7	1,5	7,2	9,0	16,9	13,8	-2,7	16,3	2,5
1967	-6,8	-7,9	-4,1	-5,0	-14,9	-5,9	-1,0	-8,6	-3,1
1968	2,0	0,7	-3,8	-2,4	-0,8	-2,1	-4,7	-3,3	-17,8
1969	0,5	4,4	-0,5	0,2	3,0	0,2	2,9	1,6	-1,4
1970	0,4	3,6	2,6	0,6	5,3	3,4	7,0	4,2	13,6
1971	1,6	1,3	1,5	0,6	5,5	0,9	4,7	3,8	6,8
1972	-0,5	0,6	-3,9	-2,6	-4,7	-1,3	2,6	-5,7	-1,6
1973	6,2	-1,9	-4,7	-3,1	7,8	3,7	-0,9	8,9	-2,4
1974	3,1	3,2	1,6	0,3	-0,9	-0,9	6,6	-0,4	8,4
1975	1,5	-4,0	-2,0	-2,0	-2,5	0,0	-4,0	2,0	-6,0
1976	-1,5	-6,0	-1,7	-3,0	-6,0	-5,0	12,0	-4,0	15,5
1977	-0,5	-3,0	-6,0	-4,0	-4,0	-2,0	1,2	-2,0	-4,0
1978	5,5	6,0	6,0	4,0	6,0	4,0	4,0	5,0	-0,5
1979	9,0	9,0	3,0	7,5	10,0	11,0	3,0	12,0	4,0
1980	-6,0	-2,0	1,5	4,2	1,0	6,0	6,0	3,5	13,5

Таблица 2.5. Продолжение

Год	Номер поста								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1956	0,8	4,9	11,1	-2,8	-1,3	0,1	2,8	8,0	-1,0
1957	-2,0	-2,0	-1,7	8,2	-0,4	7,0	3,9	-1,1	3,6
1958	-4,0	1,2	0,4	6,0	0,2	5,1	0,2	2,3	-1,6
1959	0,2	-2,1	2,0	-14,0	-0,3	-7,8	-0,2	1,6	-0,2
1960	1,8	-3,1	5,8	3,9	0,3	3,2	4,8	5,1	0,5
1961	-2,5	-0,7	2,0	-3,3	4,4	3,0	2,6	8,6	2,6
1962	-3,1	1,3	-4,6	2,5	2,2	2,1	-1,4	-5,7	-2,0
1963	-4,6	-7,0	1,2	-6,5	-0,4	-5,2	2,2	-0,3	-0,2
1964	-1,2	3,2	6,0	6,0	0,5	-4,5	-2,2	7,5	-0,5
1965	2,4	3,2	4,0	-0,9	5,7	0,2	3,4	-0,9	1,8
1966	-2,3	-2,8	14,0	7,8	-1,3	5,8	2,1	16,4	3,0
1967	-3,0	0,4	-7,1	-3,3	1,0	-3,9	-2,4	-8,5	-7,0
1968	-4,0	-7,7	-4,0	-16,0	-4,0	-13,3	-8,3	1,3	-10,6
1969	0,7	0,1	-2,0	-1,0	1,5	0,7	1,9	-3,8	2,0
1970	4,8	7,6	3,0	16,0	0,2	10,0	4,8	0,2	3,9
1971	2,4	-6,1	3,0	1,0	5,2	1,1	2,6	8,5	0,3
1972	1,3	-3,4	-4,9	6,4	0,5	6,5	6,0	-3,8	6,8
1973	0,5	-0,5	7,2	-1,0	2,4	2,7	1,5	11,6	4,7
1974	5,6	4,1	3,9	0,2	2,8	3,8	5,0	0,7	4,8
1975	-2,0	-4,0	3,5	-8,0	-2,0	-6,5	-3,0	2,0	-2,0
1976	6,0	12,0	-2,0	6,0	2,0	6,0	3,7	-2,0	4,0
1977	4,0	-0,3	-3,0	-2,0	-2,0	1,0	-1,0	-3,0	4,0
1978	4,0	5,2	-1,0	-2,0	0,0	-2,0	-2,0	6,0	1,0
1979	2,0	2,0	9,8	8,0	-3,0	8,0	2,0	11,0	5,0
1980	4,0	8,0	4,0	8,0	5,0	4,0	0,5	10,0	0,0

### ГЛАВА 3. МЕТОД РАЗЛОЖЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ ОРТОГОНАЛЬНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ

Метод представления метеорологических полей путем разложения по естественным ортогональным составляющим (ЕОС), широко используется для различного рода задач. В данной работе этот метод применен для прогноза сроков вскрытия рек Карелии.

Одно из положений, на котором базируется методика долгосрочных прогнозов, заключается в наличии связи атмосферных процессов в пространстве и времени. Несмотря на то, что вопрос механизма связи атмосферных процессов различных частей северного полушария, остается не разрешенным, ясно, что микропроцессы, обуславливающие аномальное развитие синоптических условий, подготавливаются процессами, протекающими на всем полушарии. Необходимость рассматривать процессы в ограниченном районе, как проявление общей циркуляции атмосфера является главным принципом макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов. Таким образом, атмосферным процессам, определяющим погоду в данный момент времени и в заданном районе, предшествуют процессы, развивающиеся на протяжении длительного периода времени, на всем полушарии в целом.

Используемые в прогностической практике методы обработки метеорологической информации позволяют перейти от наблюдений в отдельных точках полушария к ограниченному числу укрупненных признаков, отражающих наиболее существенную информацию исходных метеорологических полей. Условием получения устойчивых связей сроков ледообразования с полученными параметрами может служить их определенная физическая значимость. К настоящему времени разработано большое число способов получения таких параметров. К основным можно отнести разложение метеорологических полей в ряд по ортогональным полиномам Чебышева, по естественным ортогональным функциям (метод главных

компонент), дискриминантный анализ. Полученные одним из перечисленных методов числовые характеристики рассматриваются в качестве тест-предикторов при построении прогностических уравнений. Синоптико-статистический метод долгосрочных ледовых прогнозов базируется на единой основе, которую составляют:

- анализ атмосферных процессов, обуславливающих замерзание (вскрытие) рек с целью выделения в Северном полушарии значимых (показательных) районов;
- определение количественных характеристик атмосферных процессов в значимых районах с помощью одного из способов многомерного статистического анализа;
- регрессионный анализ для выявления зависимости сроков ледовых явлений от полученных характеристик.

### 3.1. МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ.

Из числа методов, позволяющих обобщать значения элементарных признаков, метод главных компонент выделяется простой схемой и на его примере легче усваивается общая идея факторного анализа.

Метод главных компонент позволяет по  $n$  числу признаков выделить  $n$  главных компонент, или обобщенных признаков. Пространство главных компонент ортогонально.

Главными целями метода главных компонент является сокращение числа переменных (сжатие данных) и классификация переменных.

Возможность геометрической интерпретации и наглядного представления исследуемых наблюдений значительно упрощают задачи их классификации. Облегчает предварительный анализ исходных данных, выбор метрики, выбор начальных приближений. Например, довольно легко обнаружить распад на три класса тридцати одного восемнадцатимерного наблюдения .

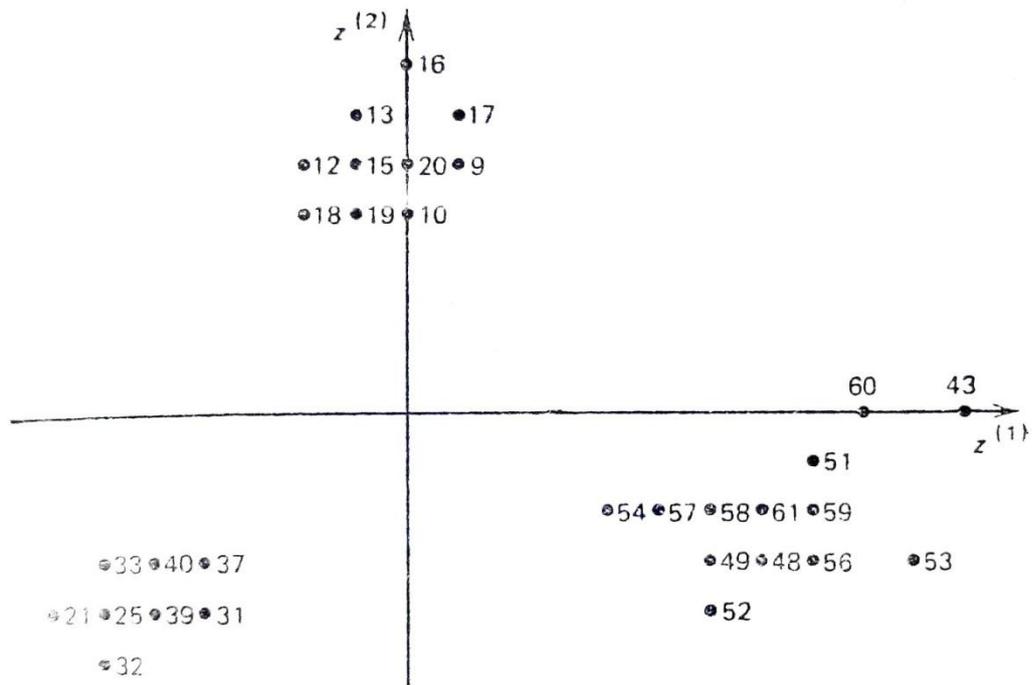


Рисунок 3.1 - Расположение проекций 18 – мерных наблюдений на плоскость первых двух главных компонент.

Однако, далеко не все геометрические свойства исследуемых данных абсолютно полностью сохраняются при проецировании в плоскость первых двух компонент. При проецировании исходных значений обязательно сохранять разделимость в исходном многомерном пространстве «групп», но в то же время это приводит к изменению базисных осей (первых двух главных компонент). Несмотря на то, что при методе главных компонент надо для точного воспроизведения коэффициентов корреляции между переменными найти все  $n$  компонент, большая доля признаков определяется небольшим числом компонент. Также возможно по признакам описать компоненты, а по компонентам – признаки. Метод главных компонент одинаково хорошо приближает дисперсии и ковариации .

Решение конкретных задач производится поэтапным преобразованием матриц исходных данных.

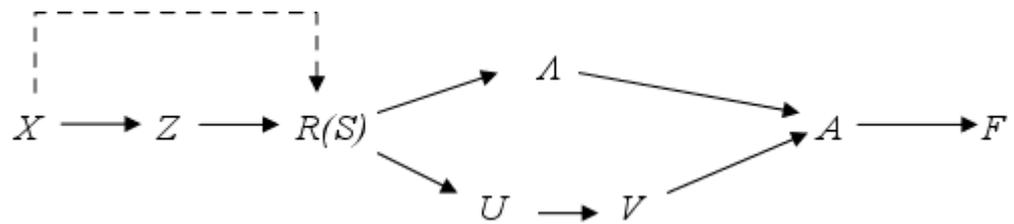


Рисунок 3.2 – Алгоритм преобразования исходной матрицы методом главных компонент.

где:

$X$  – матрица исходных данных;

$n$  – число объектов наблюдений;

$m$  – число элементарных аналитических признаков;

$Z$  – матрица нормированных величин;

$R$  – матрица парных корреляций.

Значения парных корреляций вычисляются по формуле:

$$R = \frac{1}{n} Z'Z \quad (3.1)$$

Если предварительная стандартизация данных не проводилась, то на данном шаге получают матрицу:

$$S = \frac{1}{n} Z'Z \quad (3.2)$$

А элементы матрицы X для расчёта S будут центрированы.

$\Lambda$  - диагональная матрица собственных чисел:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_m \end{pmatrix}$$

Множество значений  $\lambda_j$  находят решением характеристического уравнения:

$$|R - \lambda E| = 0 \quad (3.3)$$

$\lambda_j$ — это характеристики вариации, точнее, показатели дисперсии каждой главной компоненты.

Решение характеристического уравнения относительно  $\lambda$  при большом количестве признаков и объектов вызывает трудности при расчёте определителя  $|R|$ . Наиболее эффективен метод, базирующийся на рекуррентных формулах Фаддеева;

После вычисления рекуррентных соотношений записывается характеристический многочлен:



можно найти, задавая произвольно по крайней мере величину одной компоненты каждого вектора и обычно, чтобы не усложнять расчётов, её приравнивают единице;

$A$  – матрица факторного отображения, её элементы  $a_{rj}$  – весовые коэффициенты. Вначале  $A$  имеет размерность  $m * m$  – по числу элементарных признаков  $X_j$ , затем в анализе остаётся  $r$  наиболее значащих компонент,  $r \leq m$ . Вычисляют матрицу  $A$  по известным данным матрицы собственных чисел  $\Lambda$  и нормированных собственных векторов  $V$  по формуле:

$$A = V\Lambda^{1/2} \quad (3.8)$$

$F$  – матрица значений главных компонент размерностью  $r * n$ , определяется:

$$F = A^{-1}Z' \quad (3.9.1)$$

$$F = \Lambda^{-1}A'Z' \quad (3.9.2)$$

$$F = \Lambda^{-1/2}V'Z' \quad (3.9.3)$$

Матрица  $F$  в общем виде записывается :

$$F = \begin{array}{c} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_3 \end{array} \begin{array}{c} \left( \begin{array}{cccc} n_1 & n_2 & \dots & n_n \\ f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{r1} & f_{r2} & \dots & f_{rn} \end{array} \right) \end{array} \begin{array}{l} \text{Объект} \\ \text{Главная компонента} \end{array}$$

### 3.2. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ.

Изучение пространственных закономерностей изменений сроков вскрытия рек произведено с помощью преобразования массива исходных данных методом главных компонент. Были определены базисные функции сроков вскрытия (собственные вектора) и главные компоненты (естественные ортогональные составляющие) .

Таблица 3.1. Значения первых пяти собственных векторов

№ поста	X1	X2	X3	X4	X5
1	0,2	-0,49	-0,23	0,06	0,35
2	-0,01	-0,23	-0,1	0,08	0,25
3	0,25	0,15	-0,27	0,28	-0,17
4	0,38	-0,12	0,69	0,13	0,02
5	0,33	-0,43	-0,29	0,31	-0,22
6	0,21	0,22	-0,12	0,37	-0,06
7	0,28	-0,28	-0,19	-0,54	-0,14
8	0,32	0,2	-0,07	0,15	-0,09
9	0,39	-0,03	0,32	0,02	-0,14
10	0,36	0,1	0,05	-0,34	0,06
11	0,22	0,41	-0,33	-0,26	-0,03
12	0,28	0,34	0	-0,11	0,33
13	0,09	0,05	-0,04	0,1	0,76
14	0,03	-0,14	-0,06	-0,39	-0,02

Было произведено районирование исследуемой территории. Для этого выполнено построение графиков совместного отображения собственных векторов (рисунки 3.2-3.3).

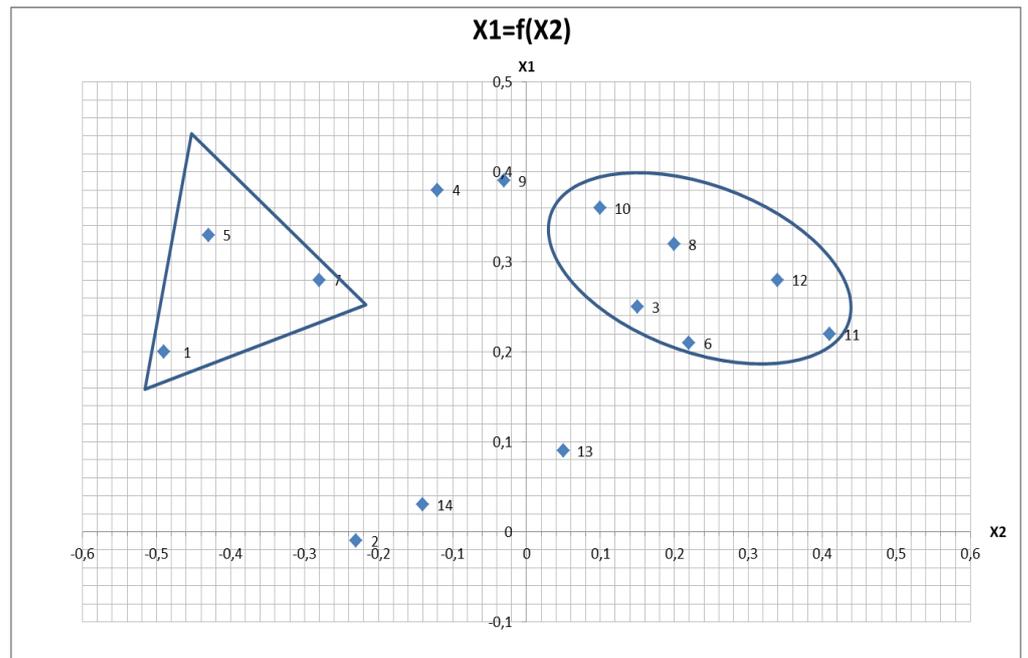


Рисунок 3.2. Совместное отображение первой и второй базисных функций разложения сроков вскрытия рек Карелии.

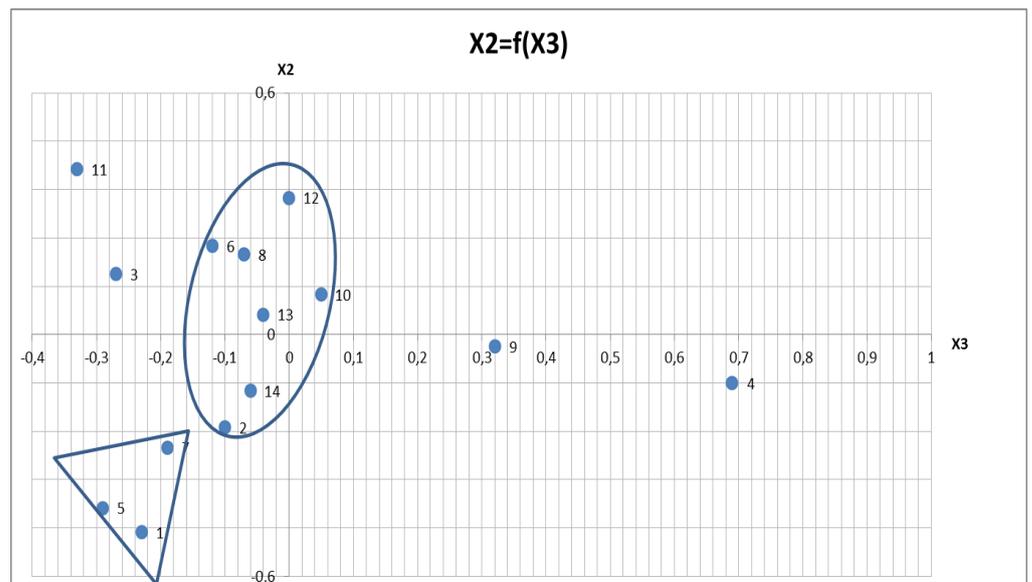


Рисунок 3.3. Совместное отображение второй и третьей базисных функций разложения сроков вскрытия рек Карелии.

На графике 3.2. выделяются 2 области плотно расположенных точек, выделенные синим цветом. На графике 3.3. выделяются подобные области, но с большим количеством точек.

Выделенные области и вошедшие в них пункты наблюдений были разделены на 2 класса.

Таблица 3.2. Классы и вошедшие в них пункты наблюдений

1 класс	2 класс
№ Пунктов	
2	1
6	5
8	7
10	
12	
13	
14	

В первый класс входит 7 рек рассматриваемого региона, а во второй всего 3.

Несмотря на то, что выделенные классы расположены достаточно близко к друг другу, можно с уверенностью заявить, что механизм их вскрытия различается. Остались так же и реки, не вошедшие ни в один класс, это дает нам право предположить, что механизм вскрытия этих рек в большей степени подвержен специфическим, локальным факторам, описание которых не представляется возможным.

Выделим данные классы на карте Карелии.

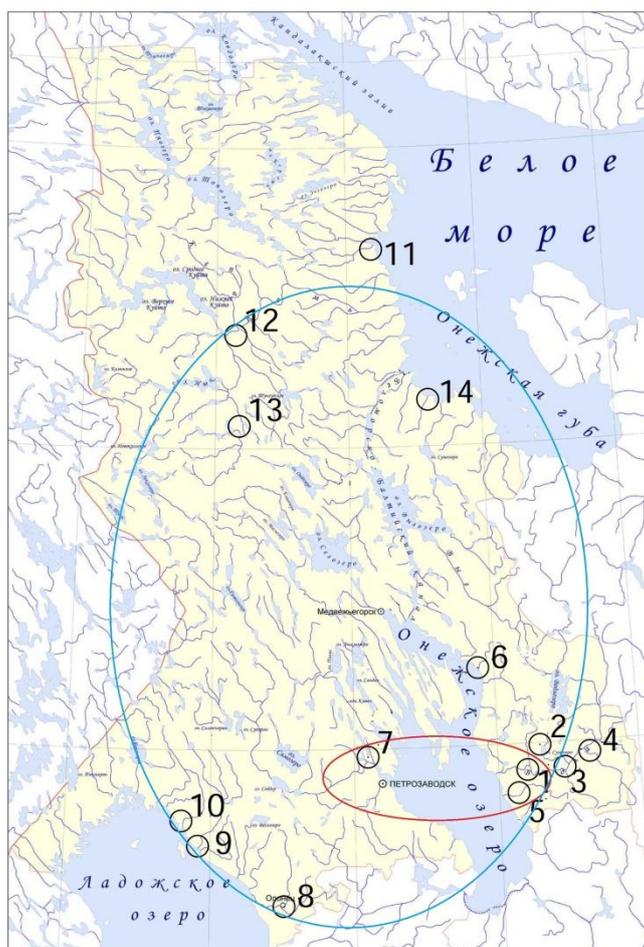


Рисунок 3.4. Районирование территории Карелии.

Синим цветом выделена область первого класса рек, красным, соответственно второго. Было установлено, что во втором классе сгруппировались средние реки, площадь водосбора которых превышает  $10000 \text{ км}^2$ . Очевидно, что мелкие реки сгруппировались в отдельный класс, так как сроки их вскрытия в большей степени зависят от локальных факторов.

Таблица 3.4. Значения первых пяти главных компонент.

Год	T1	T2	T3	T4	T5
1956	4,1	1,1	-2,1	0,0	0,2
1957	2,0	1,1	0,1	-0,3	0,2
1958	3,3	0,0	-0,2	0,8	0,5
1959	-0,3	0,9	0,4	-0,8	0,0
1960	-3,3	0,9	-0,3	-1,0	-0,3
1961	1,7	-2,3	-0,6	-0,7	-2,3
1962	-4,8	1,3	0,0	-0,6	0,0
1963	0,6	-0,6	-0,9	-2,4	0,8
1964	0,8	-0,3	-0,4	0,6	0,1
1965	-0,7	0,7	0,2	-1,2	1,2
1966	3,2	-1,1	-0,7	-0,1	0,7
1967	-4,6	2,4	-1,9	0,8	-0,8
1968	-1,3	-1,4	-2,5	1,2	0,3
1969	0,2	-0,6	0,0	1,1	0,1
1970	-0,4	-0,3	1,1	0,9	1,0
1971	3,6	2,2	2,4	-0,7	-1,2
1972	0,2	0,2	-0,5	1,3	-0,8
1973	-3,6	-0,8	1,1	0,2	0,1
1974	2,5	-2,6	0,4	-1,3	-0,2
1975	-7,5	-2,0	1,4	0,2	0,1
1976	0,9	0,4	0,6	0,8	0,0
1977	-1,9	0,1	-0,3	-0,7	-0,1
1978	1,9	-0,4	1,6	2,0	0,2
1979	2,7	0,7	0,6	0,1	0,1
1980	0,9	0,3	0,4	-0,1	0,3

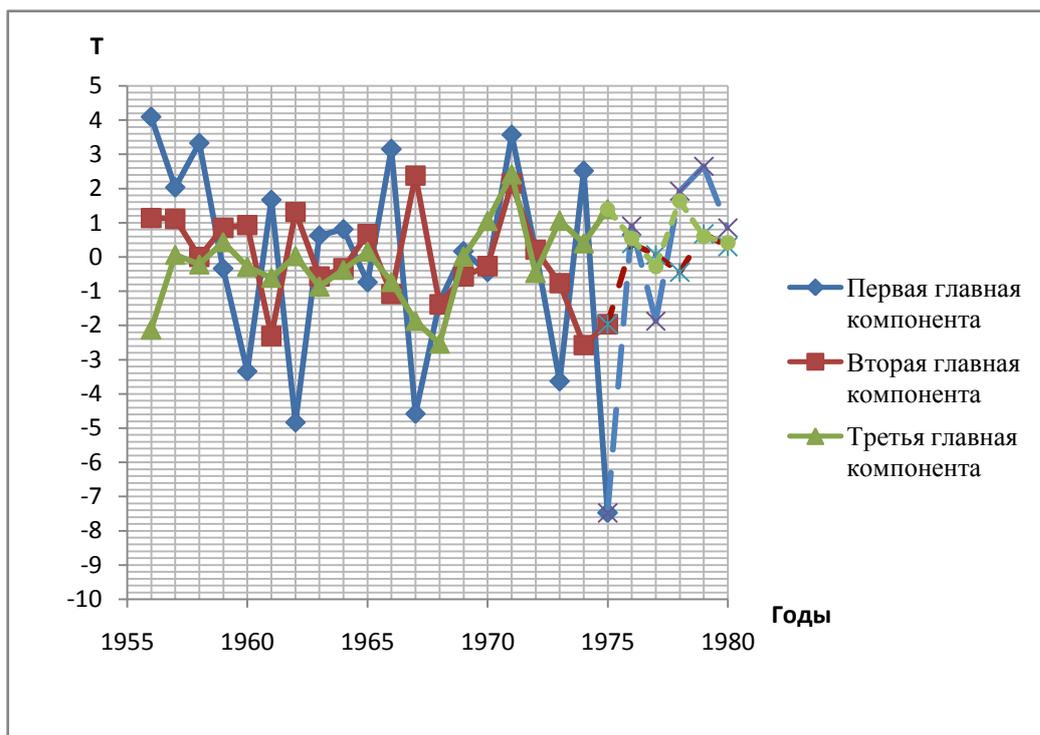


Рисунок 3.5. Временной ход первых трех главных компонент.

На рисунке 3.5. представлены графики первых трех главных компонент. Первый коэффициент разложения является интегральным показателем временных особенностей анализируемой величины по всему пространству. Пики на графиках показывают на годы с более поздними сроками вскрытия, на большинстве рек территории.

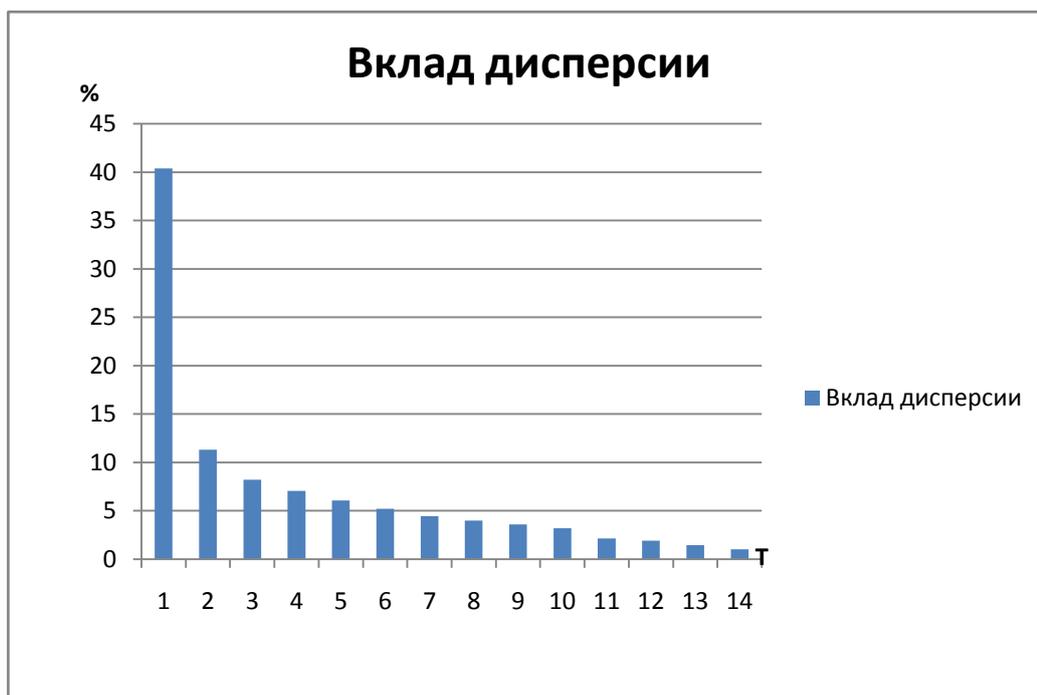


Рисунок 3.6. Вклад главных компонент в дисперсию.

Как показывает рисунок 3.6. первая главная компонента несет в себе 40,38% всей вариации, вторая главная компонента объяснит 11,32% - меньшую часть и каждая последующая компонента несет в себе все меньше вариации входных признаков. Все главные компоненты объясняют вариацию исходных данных на 100%.

Среднемесячные аномалии давления северного полушария, так же были разложены на естественные ортогональные составляющие, для последующего использования в прогностических зависимостях в качестве предикторов.

## ГЛАВА 4. ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРЕДИКТОРОВ.

Как упоминалось в ранее, предполагалось использовать следующие предикторы:

1. Естественные ортогональные составляющие среднемесячных аномалий давления на северном полушарии.
2. Индексы циркуляции Вангенгейма
3. Индексы Северо-Атлантического колебания (NAO)
4. Естественные ортогональные составляющие среднемесячных температур воды атлантического океана.
5. Индексы Вительса.

Для выявления тесноты связи, между исходными данными и предикторами использовался коэффициент вариации:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

После проведения корреляционного анализа, проводился отбор наиболее информативных предикторов и исключение дублирующих или неэффективных аргументов, согласно рекомендациям Г.А. Алексева, изложенным в его монографии “Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей”.

#### 4.1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ АНОМАЛИЙ ДАВЛЕНИЯ НА СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ.

Перед разложением метео- информации на естественные ортогональные составляющие, был проведен корреляционный анализ. Используя полученные коэффициенты корреляции исходных данных с аномалиями давления, были построены карты изокоррелят для 3 месяцев, предшествующих вскрытию- Февраль, Март и Апрель. Расчет коэффициентов корреляции и построение карт изокоррелят производилось поочередно, для 1 и 2 класса рек.

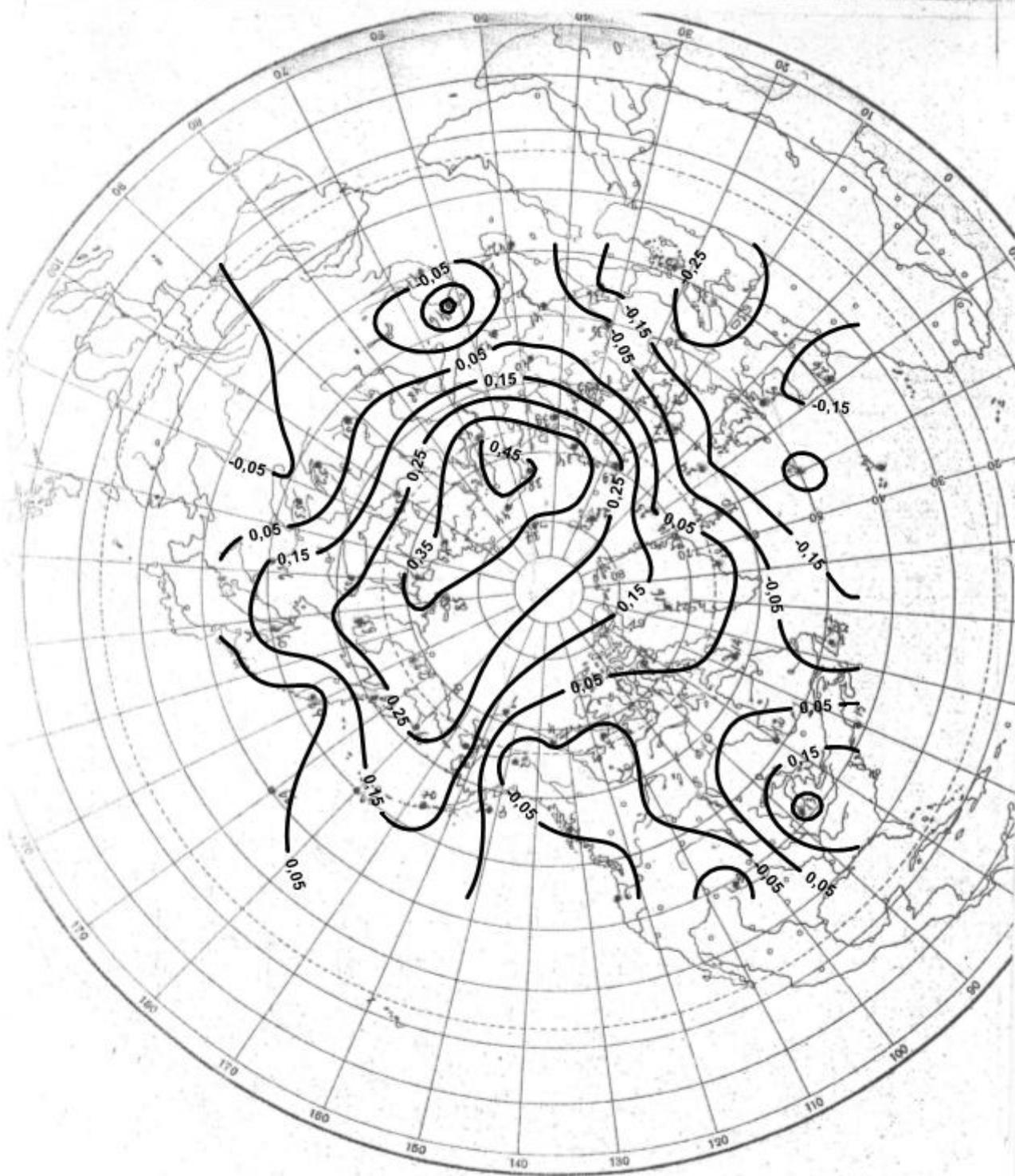


Рисунок 4.1. Карта изокоррелят аномалий давления за февраль (1 класс)

Остальные карты представлены в приложении [А].

По областям наибольших значений коэффициента корреляции, были отобраны посты, наблюдения которых были подвержены разложению на главные компоненты, методом, описанным в предыдущей главе.

В результате корреляционного анализа главных компонент аномалий давления северного полушария были отобраны месяцы с самыми большими коэффициентами корреляции с исходными данными.

Для рек 1 класса, в качестве предикторов использовались первые главные компоненты аномалий давления за февраль, март и апрель.

Таблица 4.1. Главные компоненты среднемесячных аномалий давления северного полушария (1 класс).

Исходные	$T_{\text{февраль1}}$	$T_{\text{март1}}$	$T_{\text{апрель1}}$
24	2,59	4,19	-0,63
26	0,01	2,51	1,65
25	0,97	0,17	0,94
22	0,78	-3,24	-3,84
13	0,94	-1,24	0,96
20	-1,87	-1,88	-0,91
13	-2,68	-1,88	-0,04
18	-0,17	-2,22	-2,52
21	1,75	0,74	-0,61
20	-0,47	0,75	0,20
24	5,29	1,05	1,02
12	-5,14	-2,10	-2,44
12	-1,57	-0,87	-7,07
21	-0,32	4,05	-0,25
23	0,75	0,66	4,69
27	0,78	4,08	0,28
20	-2,38	-1,54	1,36
17	0,73	-3,17	0,55
24	-0,30	1,67	1,63
9	-1,32	-1,87	-3,40
24	-2,97	-1,13	3,47
17	-2,72	2,48	-0,10
29	2,32	-0,54	-0,34
27	4,37	-0,35	2,50
23	0,63	-0,32	2,92

Таблица 4.2. Коэффициенты корреляции

Коэффициенты корреляции				
	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4
Столбец 1	1			
Столбец 2	0,60	1		
Столбец 3	0,47	0,28	1	
Столбец 4	0,54	0,24	0,27	1

Для рек 2 класса, в качестве предикторов использовались первые главные компоненты аномалий давления за февраль и апрель.

Таблица 4.3. Главные компоненты среднемесячных аномалий давления северного полушария (2 класс).

Исходные	$T_{\text{рапр1}}$	$T_{\text{пфев1}}$
28	2,59	4,91
23	0,01	1,70
24	0,97	0,00
16	0,78	-3,34
11	0,94	-0,60
23	-1,87	-1,88
8	-2,68	-1,71
19	-0,17	-1,73
19	1,75	0,57
13	-0,47	0,20
23	5,29	1,68
10	-5,14	-1,95
15	-1,57	-1,43
17	-0,32	4,63
15	0,75	0,34
25	0,78	3,41
18	-2,38	-1,24
9	0,73	-4,11
21	-0,30	1,52
0	-1,32	-2,09
18	-2,97	-1,16
15	-2,72	2,51
19	2,32	-0,03
25	4,37	-0,05
20	0,63	-0,14

Таблица 4.4. Коэффициенты корреляции

Коэффициенты корреляции			
	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3
Столбец 1	1		
Столбец 2	0,51	1	
Столбец 3	0,56	0,32	1

## 4.2. 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 C. 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: февраль, март, апрель. Данные индексы подверглись корреляционному анализу, в результате были выявлены наиболее значимые процессы, оказывающие влияние на сроки вскрытия рек Карелии.

Таблица 4.5. Индексы циркуляции по Вангенгейму

$W_{\text{фев}}^E$	$W_{\text{фев}}^C$
23	6
15	0
15	12
0	12
16	9
9	5
8	15
19	9
19	9
5	21
15	8
14	11
18	8
21	0
13	5
18	10
25	0
16	3
20	0
9	17

В качестве предикторов было принято решение использовать индексы восточной и меридиональной циркуляции за февраль.

#### 4.3. ИНДЕКСЫ СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ (NAO)

В качестве индекса NAO исследователи используют разности давления между различными пунктами, так же как и осреднение проводят за различные сроки. Чаще всего, используется разность давления между Азорскими островами и Исландией, осредненная за 3 зимних месяца(декабрь-февраль).

Представляют этот индекс в единицах давления(гПа), либо, как отклонения от среднего в долях дисперсии.

Вопреки всем ожиданиям, никакого влияния Северо-Атлантического колебания на сроки вскрытия рек Карелии обнаружено не было. Коэффициенты корреляции с исходными данными стремятся к нулю, в связи с этим, в данной работе пришлось отказаться от использования данных индексов в качестве предикторов.

#### 4.4. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ.

С целью улучшения прогностических зависимостей, была проведена попытка выявления влияния температуры воды в Атлантическом океане, на сроки вскрытия рек Карелии. По результатам расчетов оказалось, что прогностические уравнения с учетом коэффициентов разложения температуры воды Атлантики, не эффективны, для рек первого, второго класса и для фонового прогноза для региона в целом. В связи с этим, было принято решение не использовать данную информацию в качестве предикторов.

Таблица 4.7. Коэффициенты разложения среднемесячной температуры воды Атлантического океана

Исходные	К <sub>2</sub> январь	К <sub>3</sub> март
24,19	-0,09	-2,98
24,48	0,49	0,06
19,14	0,33	-1,08
12,38	-0,26	0,29
21,12	-0,33	-1,81
10,36	1,05	0,34
18,48	3,27	0,36
20,14	1,87	0,20
16,74	0,54	0,30
23,71	2,43	0,93
10,76	0,92	0,46
13,71	0,42	1,25
18,69	1,02	-0,27
18,76	2,14	0,63
26,24	1,33	-0,37
18,90	-0,44	0,86
12,62	-0,97	1,23
22,55	-0,77	0,12
4,50	-0,64	0,74

Таблица 4.8. Коэффициента корреляции

Коэффициенты корреляции			
	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3
Столбец 1	1		
Столбец 2	0,36	1	
Столбец 3	-0,46	0,15	1

#### 4.5. ИНДЕКСЫ СИНОПТИЧЕСКОГО КАТАЛОГА Л.А. ВИТЕЛЬСА

В течении почти 50 лет своей деятельности Л.А. Вительс разрабатывал такие актуальные вопросы метеорологии, как долгосрочные прогнозы погоды, зависимость колебаний климата от атмосферной циркуляции, связь погоды и климата с солнечной активностью. Наиболее значительным трудом по синоптической метеорологии, в котором Вительс использовал свой опыт работы в качестве синоптика-краткосрочника, является широко известный синоптический каталог, составленный им в начале 1940-х годов. Этот каталог затем был продолжен и непрерывно ведется по настоящее время. Каталог широко используется в исследовательской и оперативной деятельности ряда учреждений Гидрометслужбы и других ведомств. Эти индексы отражают общий характер барического режима и особенности циркуляции в первом естественном синоптическом районе по Мультановскому, охватывающим акваторию Северной Атлантики от 40° западной долготы и территорию Евразии до 110° восточной долготы. В каталогах Вительса в качестве индексов приводится количество дней с антициклонической циркуляцией в 8 районах, занимающих Европейский естественный синоптический район.

Таблица 4.9. Индекс Вительса  $N_A^3$  за февраль.

Исходные	$N_A^3$ февраль	$N_A^3$ март
24	9	-7
26	7	2
25	2	-0,6
22	-2	-7
13	-3	-5
20	9	-9
13	-6	-6
18	-9	-4
21	-7	2
20	2	-6
24	3	2
12	-10	-4
12	-1	-12
21	10	-7
23	-3	3
27	16	-4
20	-9	-2
17	-10	-5
24	2	-3
9	-9	-7

Индекс Вительса  $N_A^3$  за февраль использовался в качестве предиктора, для второго класса рек и для фонового прогноза вскрытия рек по региону, а для первого класса еще и  $N_A^3$  за март.

В результате корреляционного анализа получаются большие коэффициенты корреляции  $r=0,64 - 0,70$ . Расчеты показали, что использование индексов Вительса, значительно улучшают прогностическую зависимость.

## ГЛАВА 5. ПОСРОЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Для прогноза сроков вскрытия рек использовались уравнения множественной регрессии, в которых в качестве переменных принимались коэффициенты разложения полей давления и другие предикторы, имеющие наиболее высокие коэффициенты корреляции с исходными данными о вскрытии рек.

Так как, механизм вскрытия рек первого и второго класса различен, для каждого класса выводилось свое прогностическое уравнение, включающее в себя различный состав предикторов.

Таким образом, общее прогностическое уравнение для рек, относящихся к первому классу, имеет вид:

$$\bar{D}_1 = a_1 * W_{\text{февраль}}^C + a_2 * N_{A \text{ февраль}}^3 + a_3 * N_{A \text{ март}}^3 + a_4 * T_{\text{апрель}}^P + a_0, \quad (5.1)$$

где :

$\bar{D}_1$  - отклонение от самой ранней даты вскрытия, в сутках

$W_{\text{февраль}}^C$  - меридиональный индекс Вангенгейма за февраль

$N_{A \text{ февраль}}^3$  - индекс Вительса 3 за февраль

$N_{A \text{ март}}^3$  - индекс Вительса 3 за март

$T_{\text{апрель}}^P$  - первая главная компонента аномалии давления на северном полушарии за апрель

$a_1, a_2 \dots a_n$  - коэффициенты уравнения регрессии

$a_0$  - свободный член уравнения регрессии

$$\bar{D}_1 = -0,12 * W_{\text{февраль}}^C + 0,42 * N_{A \text{ февраль}}^3 + 0,62 * N_{A \text{ март}}^3 + 0,38 * T_{\text{апрель}}^P + 23,27 \quad (5.2)$$

$$\frac{S}{\sigma} = 0,66 \quad ; \quad \delta = 0,674 * \sigma = 3,63 \approx 4 \text{ суток}$$

Методика эффективна, так как выполняется условие  $\frac{S}{\sigma} \leq 0,80$ .

С учетом допустимой погрешности, количество оправдавшихся прогнозов равно 24.

$$\text{Оправдываемость } P = \frac{n_{\text{опр}}}{n} * 100\% = \frac{24}{25} * 100\% = 96\%$$

Общее прогностическое уравнение для рек, относящихся ко второму классу, имеет вид:

$$\bar{D}_2 = a_1 * W_{\text{февраль}}^E + a_2 * N_{A^3 \text{ февраль}} + a_3 * T_{\text{апрель}}^P + a_4 * T_{\text{февраль}}^P + a_0, \quad (5.3)$$

где :

$\bar{D}_2$ - отклонение в сутках от самой ранней даты вскрытия, в сутках

$W_{\text{февраль}}^E$  - восточный индекс Вангенгейма за февраль

$N_{A^3 \text{ февраль}}$  - индекс Вительса 3 за февраль

$T_{\text{февраль}}^P$  - первая главная компонента аномалии давления на северном полушарии за февраль

$T_{\text{апрель}}^P$  - первая главная компонента аномалии давления на северном полушарии за апрель

$a_1, a_2 \dots a_n$ - коэффициенты уравнения регрессии

$a_0$ - свободный член уравнения регрессии

$$\bar{D}_2 = 0,51 * W_{\text{февраль}}^E + 0,70 * N_{A^3 \text{ февраль}} + 0,91 * T_{\text{апрель}}^P + 0,89 * T_{\text{февраль}}^P + 9,62 \quad (5.4)$$

$$\frac{S}{\sigma} = 0,51 \quad ; \quad \delta = 0,674 * \sigma = 4,32 \approx 4 \text{ суток}$$

Методика эффективна, так как выполняется условие  $\frac{S}{\sigma} \leq 0,80$

С учетом допустимой погрешности, количество оправдавшихся прогнозов равно 22.

$$\text{Оправдываемость } P = \frac{n_{\text{опр}}}{n} * 100\% = \frac{22}{25} * 100\% = 88\%.$$

Общее прогностическое уравнение фонового прогноза, для всего региона в целом имеет вид:

$$\bar{D}_\phi = a_1 * W_{\text{февраль}}^E + a_2 * N_{A^3 \text{ февраль}} + a_3 * T_{\text{апрель}}^P + a_4 * T_{\text{март}}^P + a_0, \quad (5.5)$$

где:

$\bar{D}_\phi$ - отклонение от самой ранней даты вскрытия, в сутках

$W_{\text{февраль}}^E$  - восточный индекс Вангенгейма за февраль

$N_{A^3 \text{ февраль}}$  - индекс Вительса 3 за февраль

$T_{\text{февраль}}^P$ <sup>1</sup> - первая главная компонента аномалии давления на северном полушарии за февраль

$T_{\text{апрель}}^P$ <sup>1</sup> - первая главная компонента аномалии давления на северном полушарии за апрель

$a_1, a_2 \dots a_n$  - коэффициенты уравнения регрессии

$a_0$  - свободный член уравнения регрессии

$$\bar{D}_\phi = 0,20 * W_{\text{февраль}}^E + 0,42 * N_A^3_{\text{февраль}} + 0,61 * T_{\text{апрель}}^P + 0,45 * T_{\text{март}}^P + 15,65 \quad (5.6)$$

По исходным и спрогнозированным срокам вскрытия рек, были построены кривые обеспеченности.

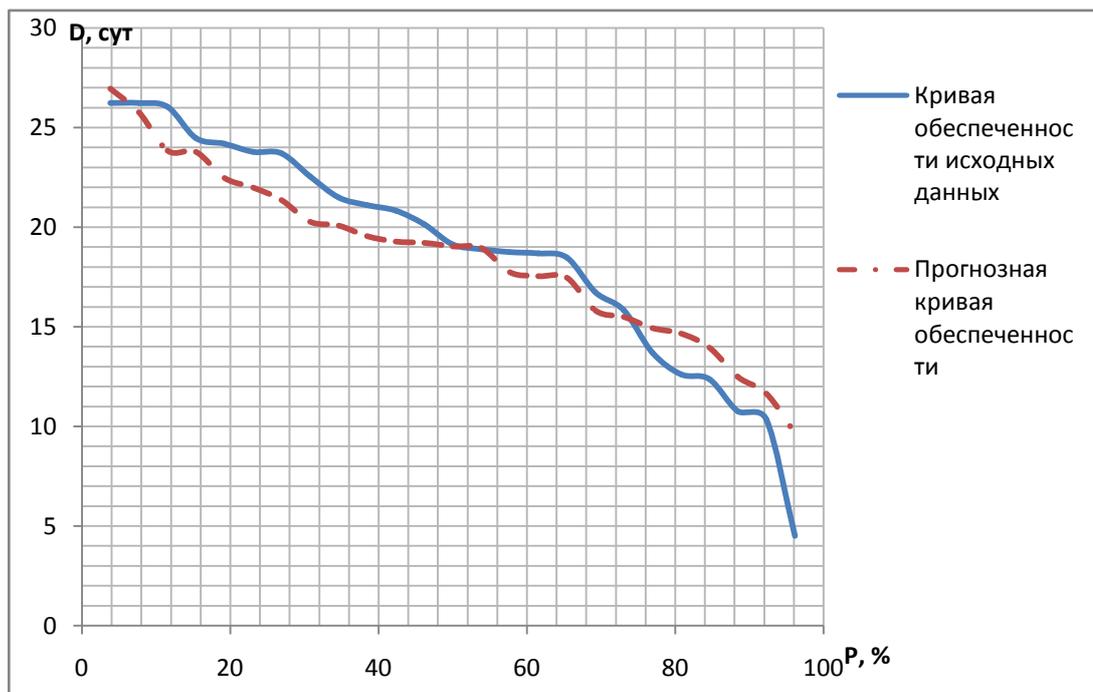


Рисунок 5.1. Кривые обеспеченности сроков вскрытия рек Карелии (фоновый прогноз)

Кривые обеспеченности для первого и второго класса рек приводятся в приложении [Б]

## 5.1. ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

После получения общих прогностических зависимостей для двух рассматриваемых классов рек, была предпринята попытка составления регрессионных уравнений для отдельных пунктов, следующего вида:

$$D_i = a \cdot \bar{D}_j + b, \quad (5.6)$$

где:

$D_i$ - отклонение в сутках от самой ранней даты вскрытия, для конкретного пункта

$\bar{D}_j$ - спрогнозированное отклонение в сутках от самой ранней даты вскрытия, в среднем для класса, к которому принадлежит пункт наблюдений

$a, b$  – коэффициенты уравнения регрессии

Результаты расчетов приведены в приложении [В].

Оценка эффективности методики прогноза показала, что условие  $\frac{S}{\sigma} \leq 0,80$  выполняется не выполняется, в трех пунктах :

6- Пяльма, д. Пяльма

13- Чирко-Кемь, с. Андропова гора

14- Сума, с. Сумский Посад

Предполагается, что методика не эффективна для рек Пяльма и Сума, так как они имеют маленькую площадь водосбора  $< 1000 \text{ км}^2$ , что говорит нам о том, что вскрытие этих рек в большей степени зависит от локальных факторов. Для реки Чирко-Кемь, методика является не эффективной в связи с большим количеством порогов и перекатов, большинство из которых не замерзают.

Для всех остальных рек выполняется условие  $\frac{S}{\sigma} \leq 0,80$ , следовательно, методика эффективна.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как упоминалось ранее, данный метод долгосрочных прогнозов разрабатывался для крупных рек, так как маленькие реки более подвержены влиянию локальных факторов. В настоящей выпускной квалификационной работе данный метод был применен для прогноза на маленьких и средних реках Карелии, для того, что бы оценить эффективность методики в отношении небольших водных объектов, а так же оценить влияние локальных факторов на ледовый режим. В ходе работы были обработаны данные о сроках вскрытия на 14 реках Карелии, данные об индексах атмосферной циркуляции и аномалиях давления на северном полушарии, разложенные на естественные ортогональные составляющие. Была проведена попытка районирования территории по условиям вскрытия рек, реализованная методом главных компонент. В результате, было выделено 2 группы рек, относительно которых составлялись прогнозные уравнения множественной регрессии. В уравнение для рек первого класса в качестве предикторов вошли меридиональный индекс Вангенгейма за февраль ( $W^C_{\text{февраль}}$ ), индекс Вительса 3 за февраль ( $N_A^3_{\text{февраль}}$ ),

индекс Вительса 3 за март ( $N_A^3_{\text{март}}$ ) и первая главная компонента аномалии давления на северном полушарии за апрель ( $T^p_{\text{апрель}}^1$ ). Заблаговременность прогноза составляет от 20 до 35 дней.

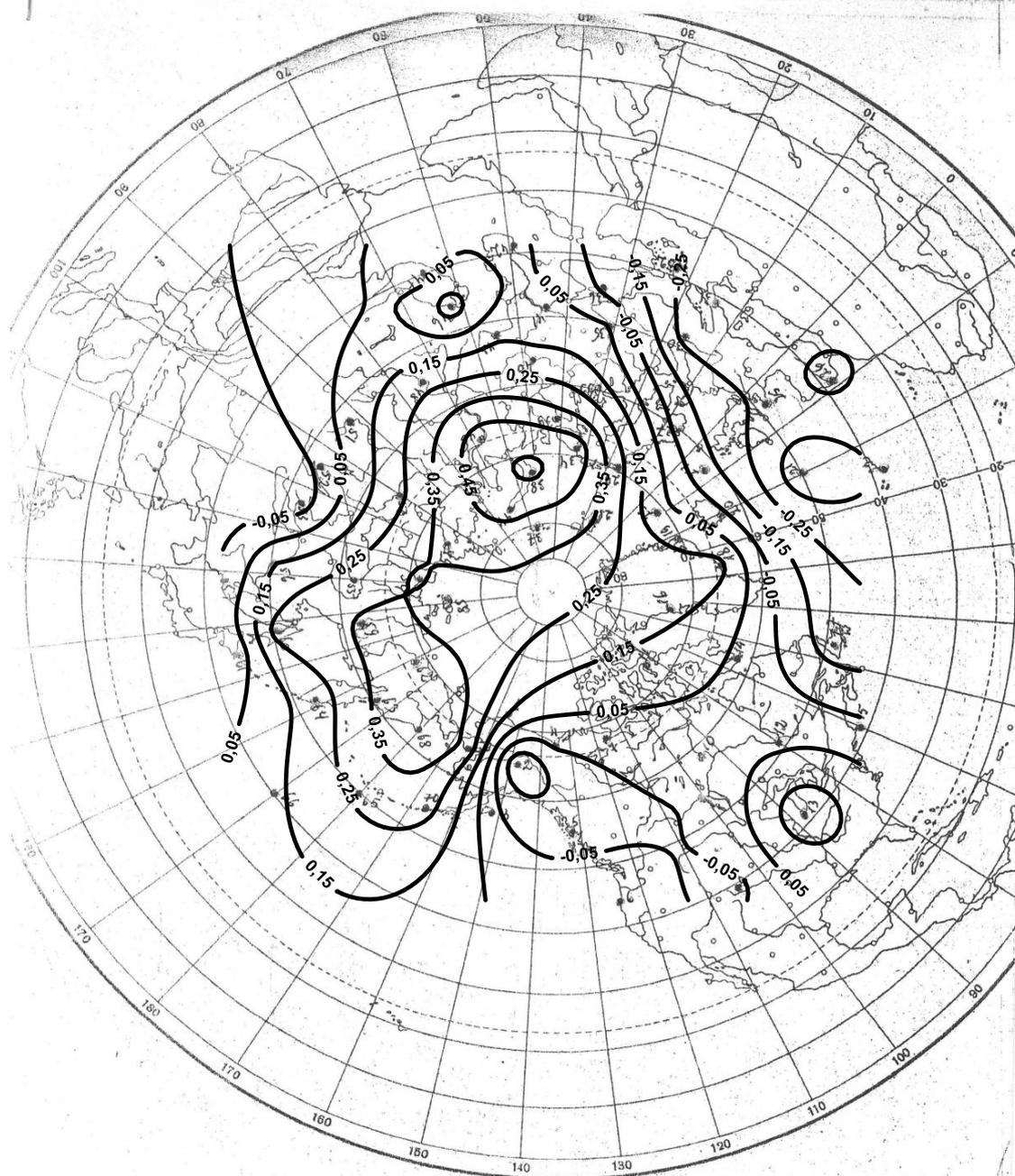
Для построения прогностического уравнения для рек 2 класса использовались следующие предикторы: восточный индекс Вангенгейма за февраль ( $W^E_{\text{февраль}}$ ), индекс Вительса 3 за февраль ( $N_A^3_{\text{февраль}}$ ), первая главная компонента аномалии давления на северном полушарии за февраль ( $T^p_{\text{февраль}}^1$ ), первая главная компонента аномалии давления на северном полушарии за апрель ( $T^p_{\text{апрель}}^1$ ). Заблаговременность прогноза составляет от 20 до 35 дней.

Для отдельных пунктов прогноз вскрытия производился по средним для класса спрогнозированным значениям сроков вскрытия. Для большинства рек данная методика оказалась эффективной, кроме тех рек, где влияние локальных факторов на ледовый режим является преобладающим.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ю.М. Георгиевский, С.В. Шаночкин Гидрологические Прогнозы. Учебник – СПб.: РГГМУ, 2007. – 435 с.
2. Догановский, А.М. Гидрология суши (общий курс). Учебник – СПб.: РГГМУ, 2012. – 524 с.
3. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник – СПб.: РГГМУ, 2007. – 279 с.
4. Л.А. Вительс. Синоптическая метеорология и гелиогеофизика. Избранные труды. Л.: Гидрометеоздат, 1977.
5. Н.П. Смирнов, В.Н. Воробьев, С.Ю. Качанов. Северо-Атлантическое колебание и климат. Монография – СПб.: РГГМУ, 1998. – 119 с.
6. Дубров А. М. Обработка статистических данных методом главных компонент. – М.: Статистика, 1978.
7. Очерки по гидрографии рек СССР. – М.: АН СССР, 1953.
8. Главное управление гидрометеорологической службы СССР. Труды. Выпуск 140. Расчеты и прогнозы ледовых явлений на реках и водохранилищах. – Л.: Гидрометеоздат, 1975.
9. Е.В. Воробьева. Сопряженность атмосферных процессов в северном полушарии. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1962.
10. Г.А. Алексеев. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей с примерами из гидрометеорологии. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1971.
11. С.П. Хромов, Л. И. Мамонтова. Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеоздат, 1974.
12. Ю.М. Георгиевский. Краткосрочные и долгосрочные прогнозы ледовых явлений на реках, озерах и водохранилищах. – Л.: Ленинградский Ордена Ленина Политехнический Институт имени М.И. Калинина, 1986.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Ч.1. – Л.: Гидрометеоздат, 1965.
14. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. Тр. ЦИП.- 1959.- Вып.74. С. 3-18.

15. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши: Том 1 Выпуск 3; Том 1 Выпуск 12; Том 1 Выпуск 16; Том 1 Выпуск 17; Том 1 Выпуск 23
16. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб, изд. «Нестор-История», 2009. – 193 с.



Отпечатано в ППП ВСЕГЕИ  
Зам 330 тир. 2000 экз. М-41223 от 23.02.61.  $\Delta P$

Рисунок А1. Карта изокоррелянт аномалий давления за февраль (второй класс)

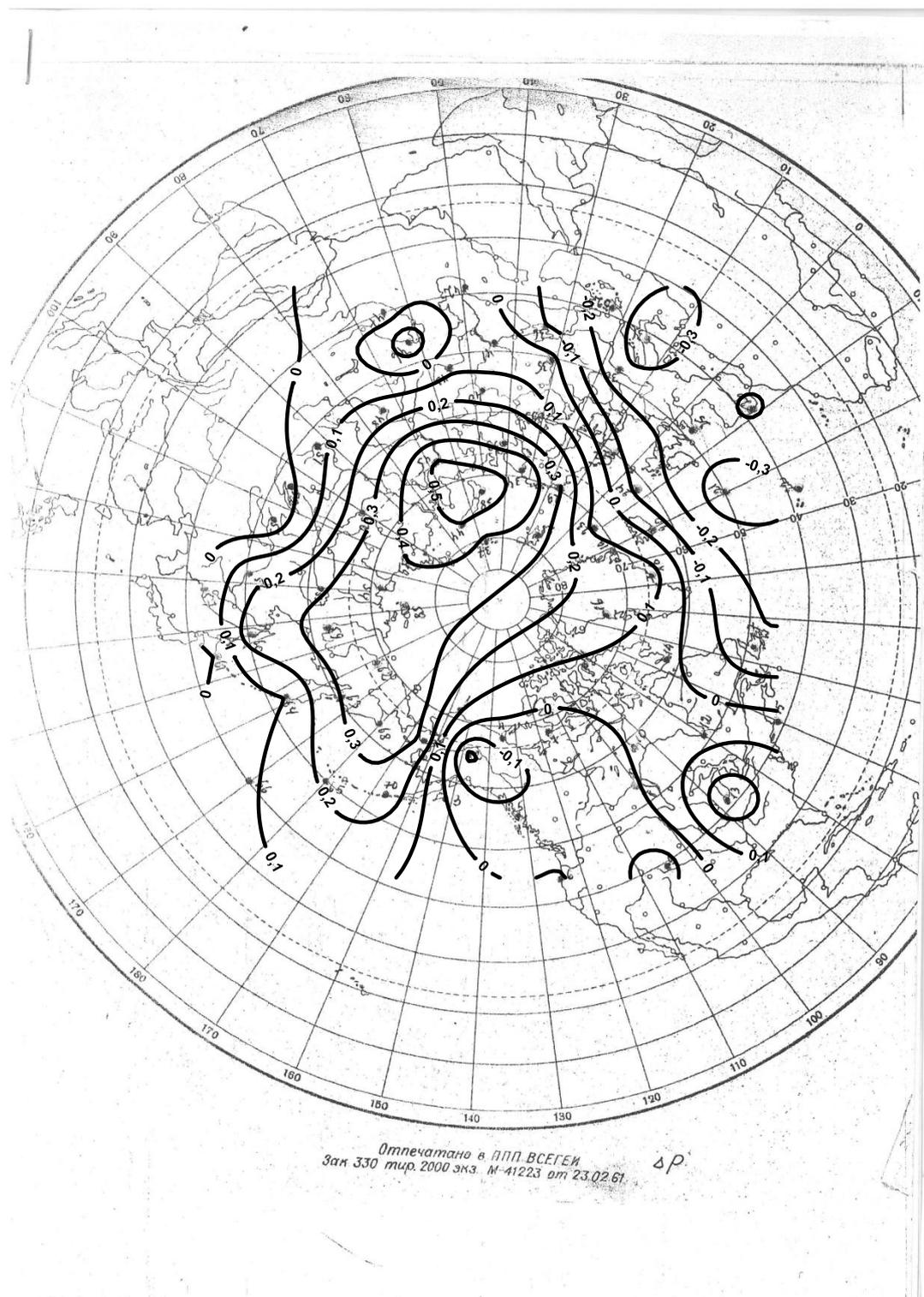


Рисунок А2. Карта изокоррелят аномалий давления за февраль (фоновый прогноз).

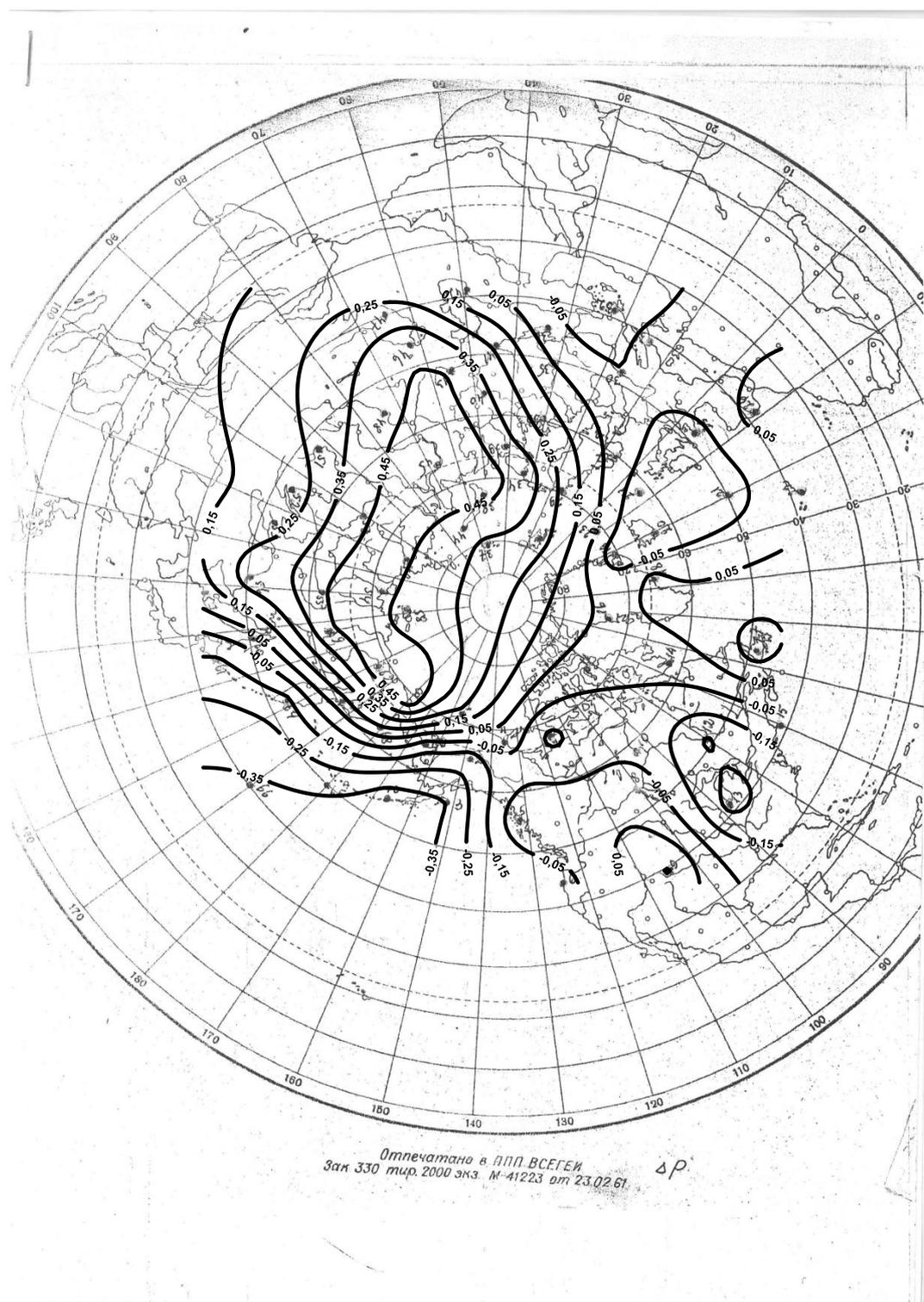


Рисунок А3. Карта изокоррелят аномалий давления за март (первый класс).

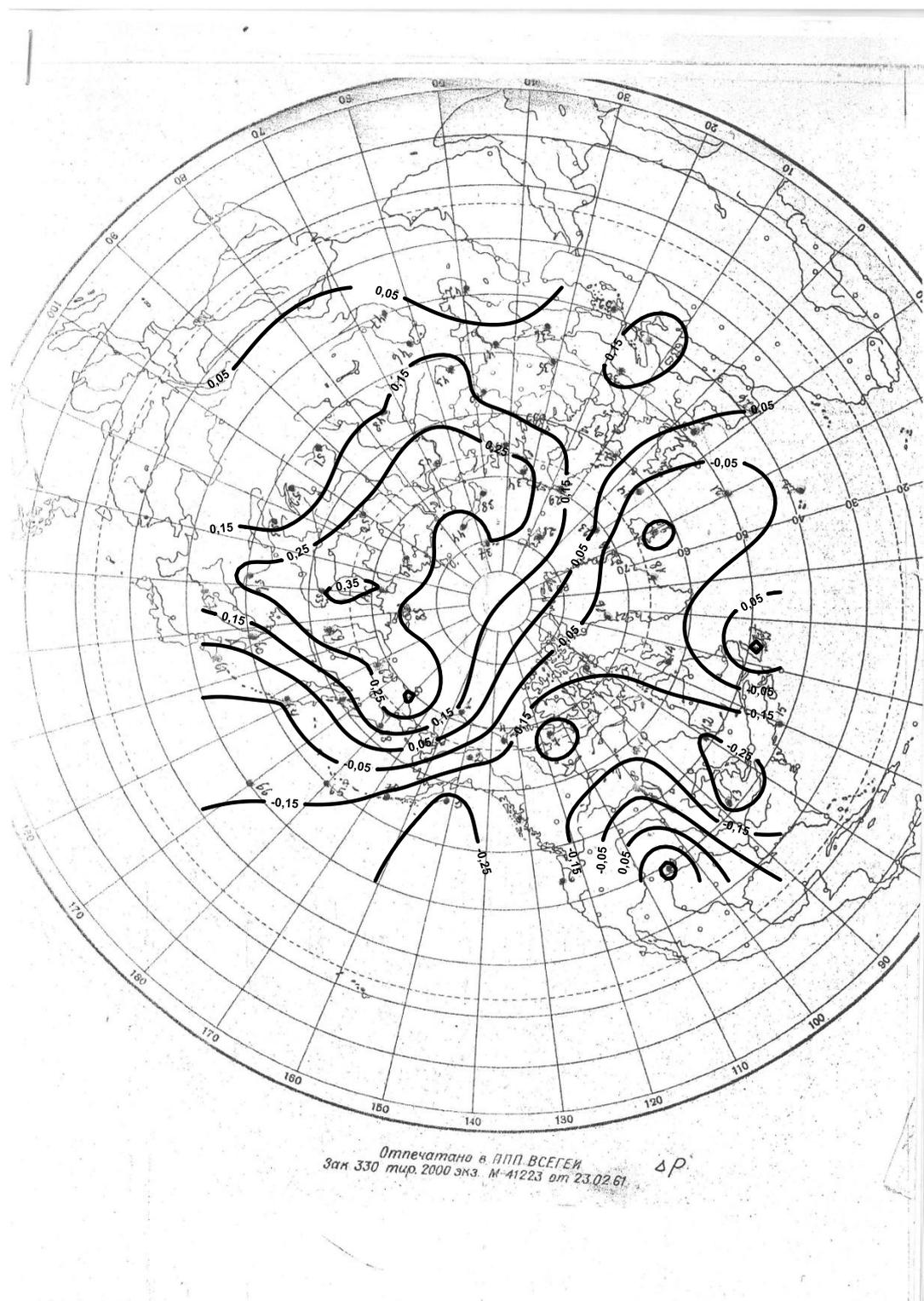


Рисунок А4. Карта изокоррелят аномалий давления за март (второй класс).

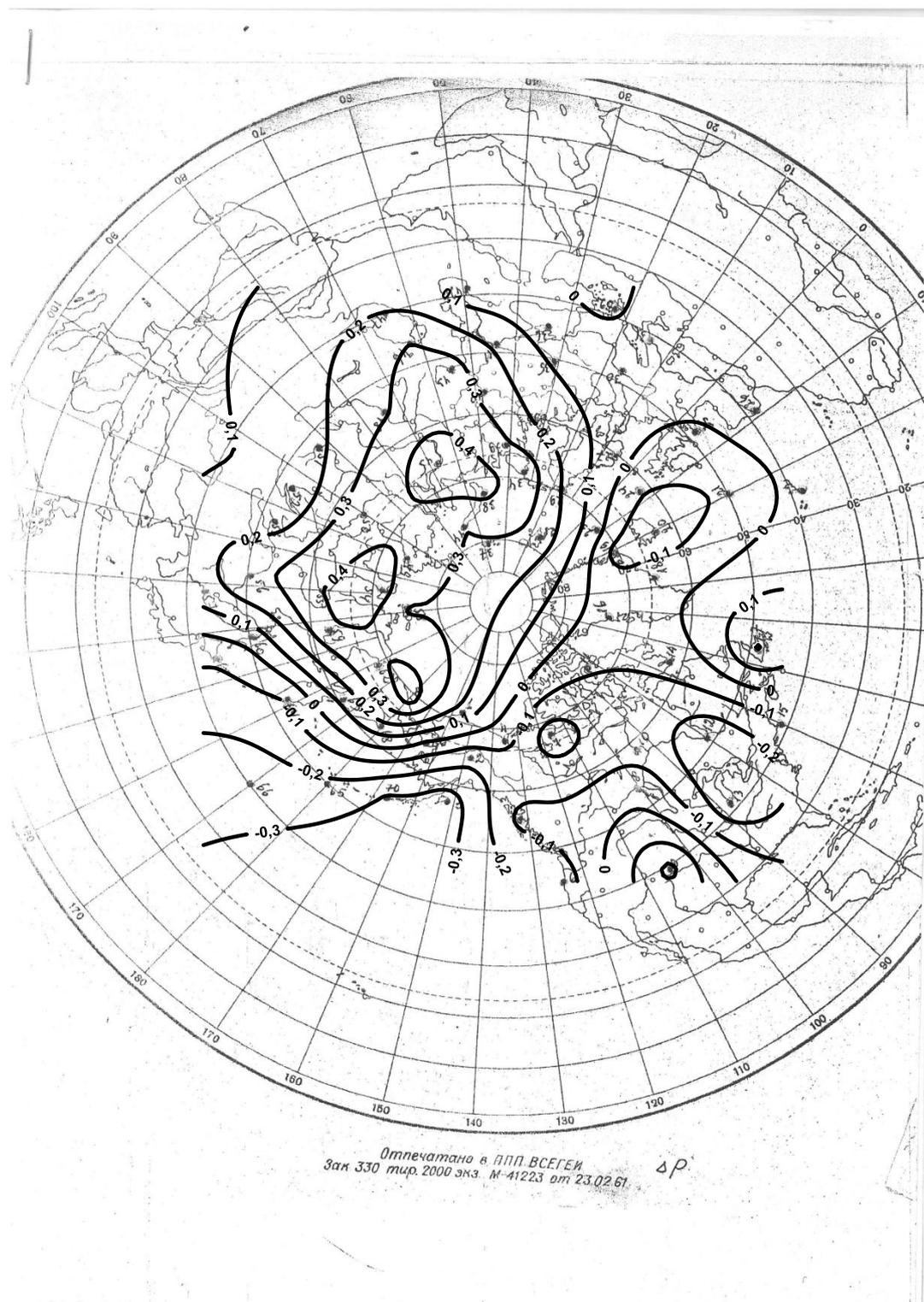


Рисунок А5. Карта изокоррелят аномалий давления за март (фоновый прогноз).

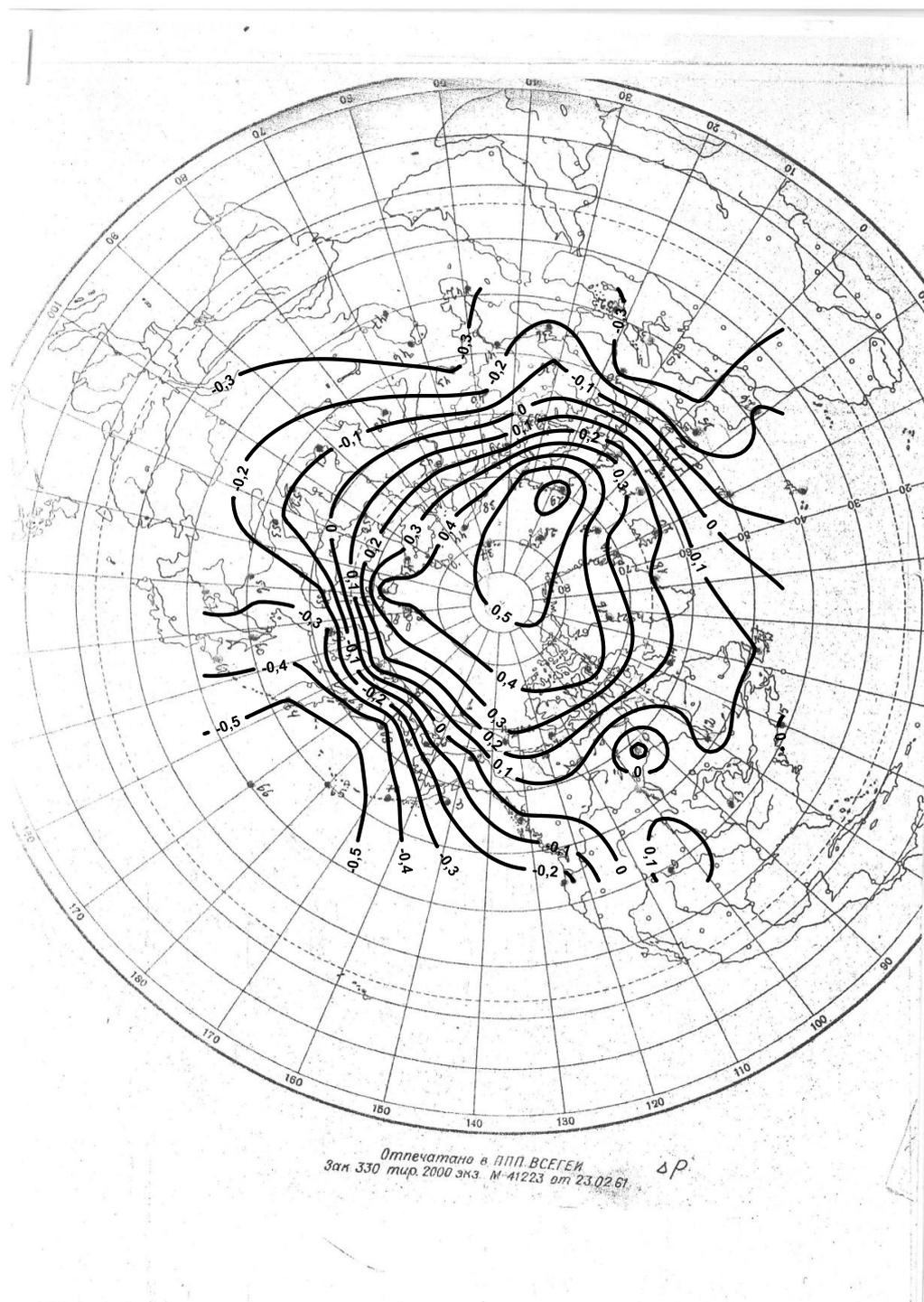


Рисунок А6. Карта изокоррелят аномалий давления за апрель (первый класс).

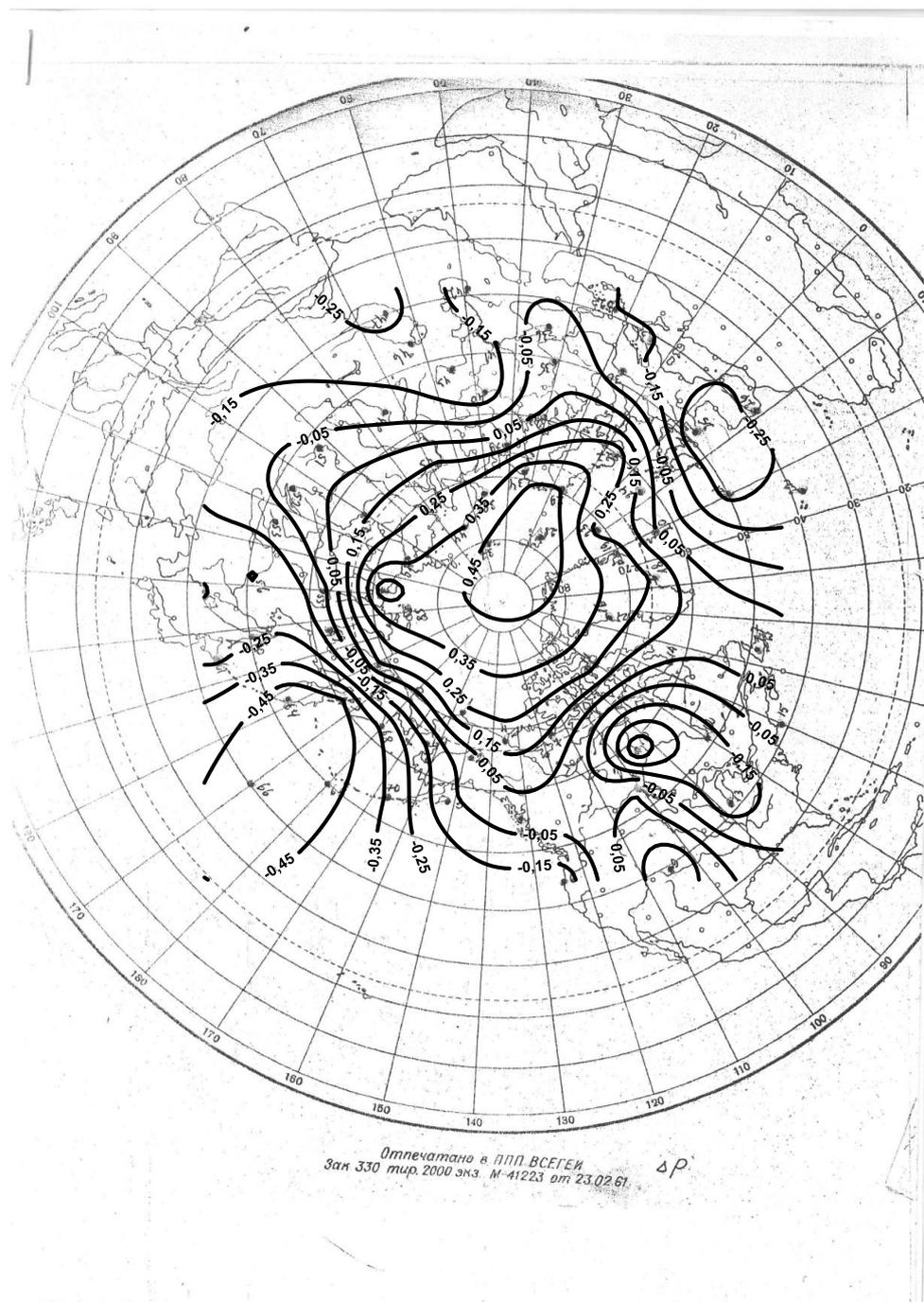


Рисунок А7. Карта изокоррелят аномалий давления за апрель (второй класс).

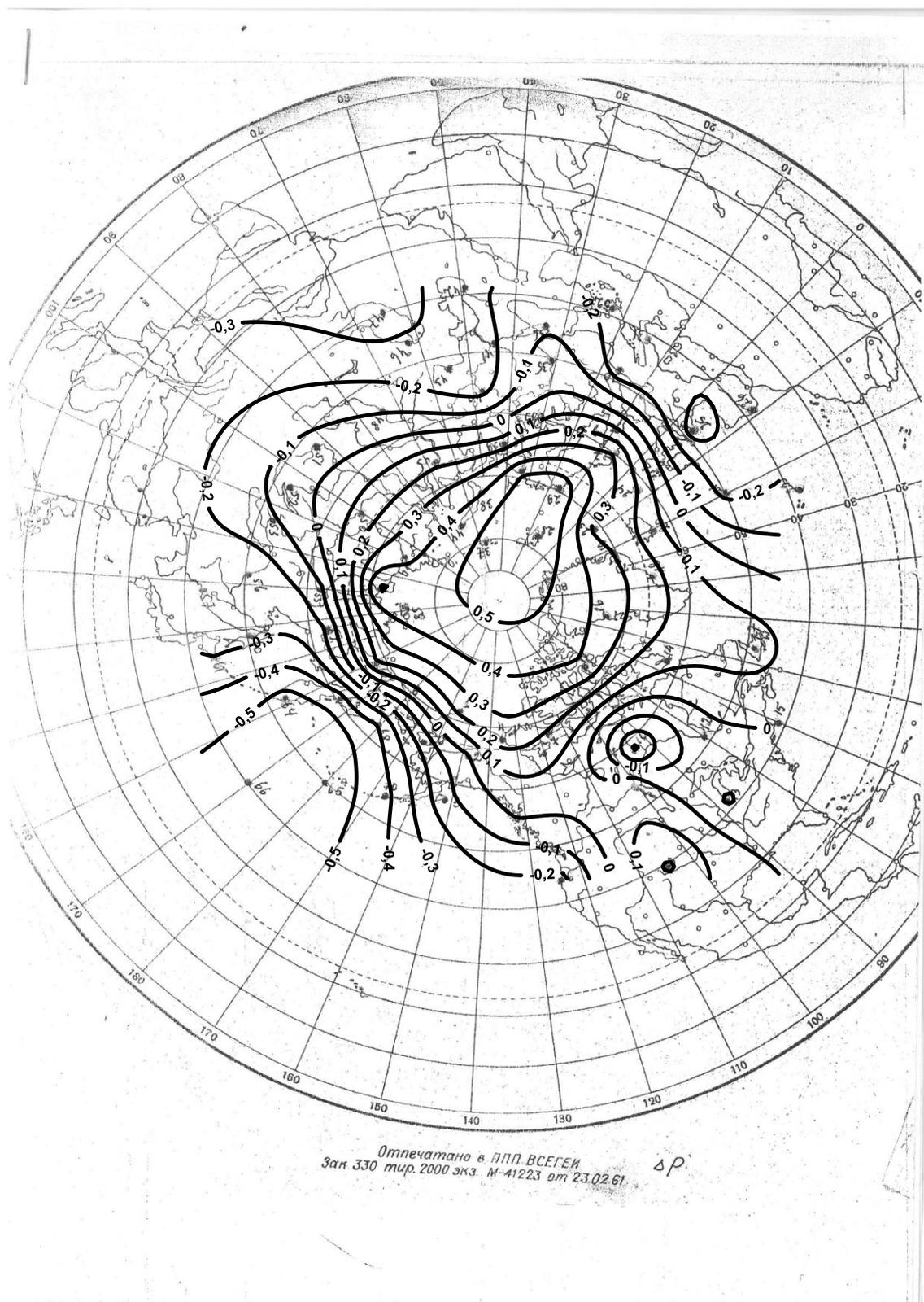


Рисунок А8. Карта изокоррелят аномалий давления за апрель (третий класс).

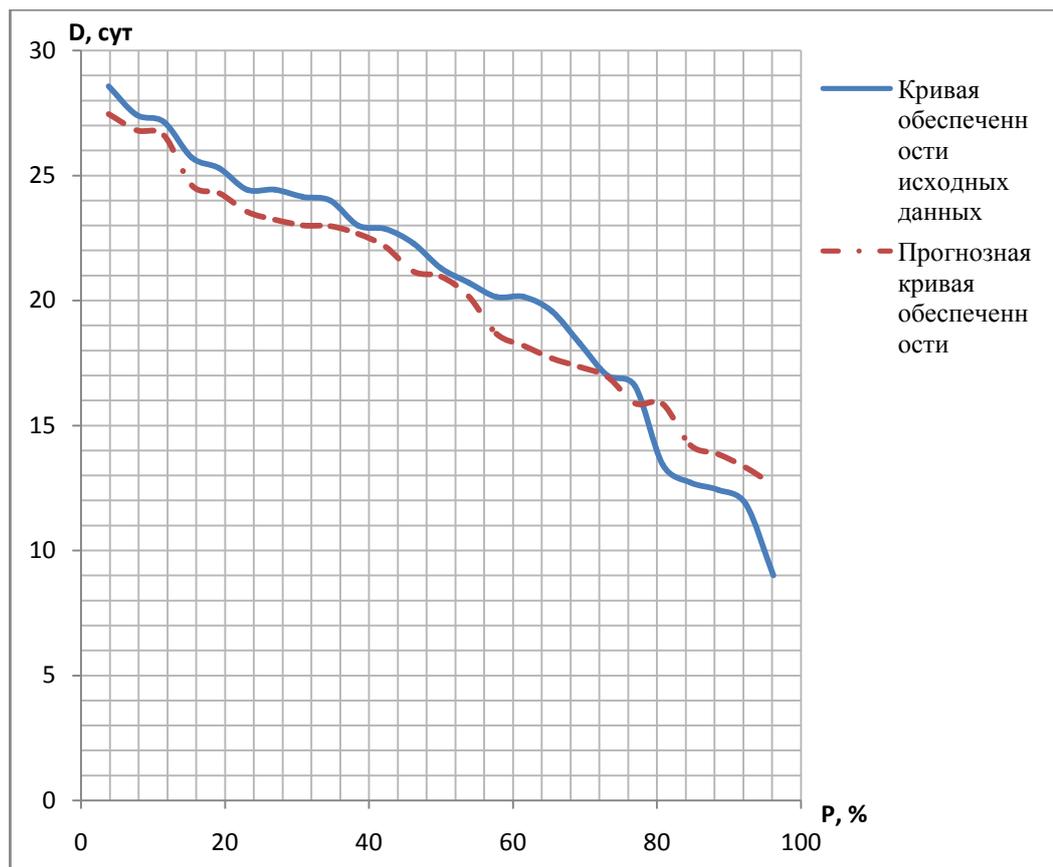


Рисунок Б.1. Кривые обеспеченности сроков вскрытия рек Карелии (первый класс)

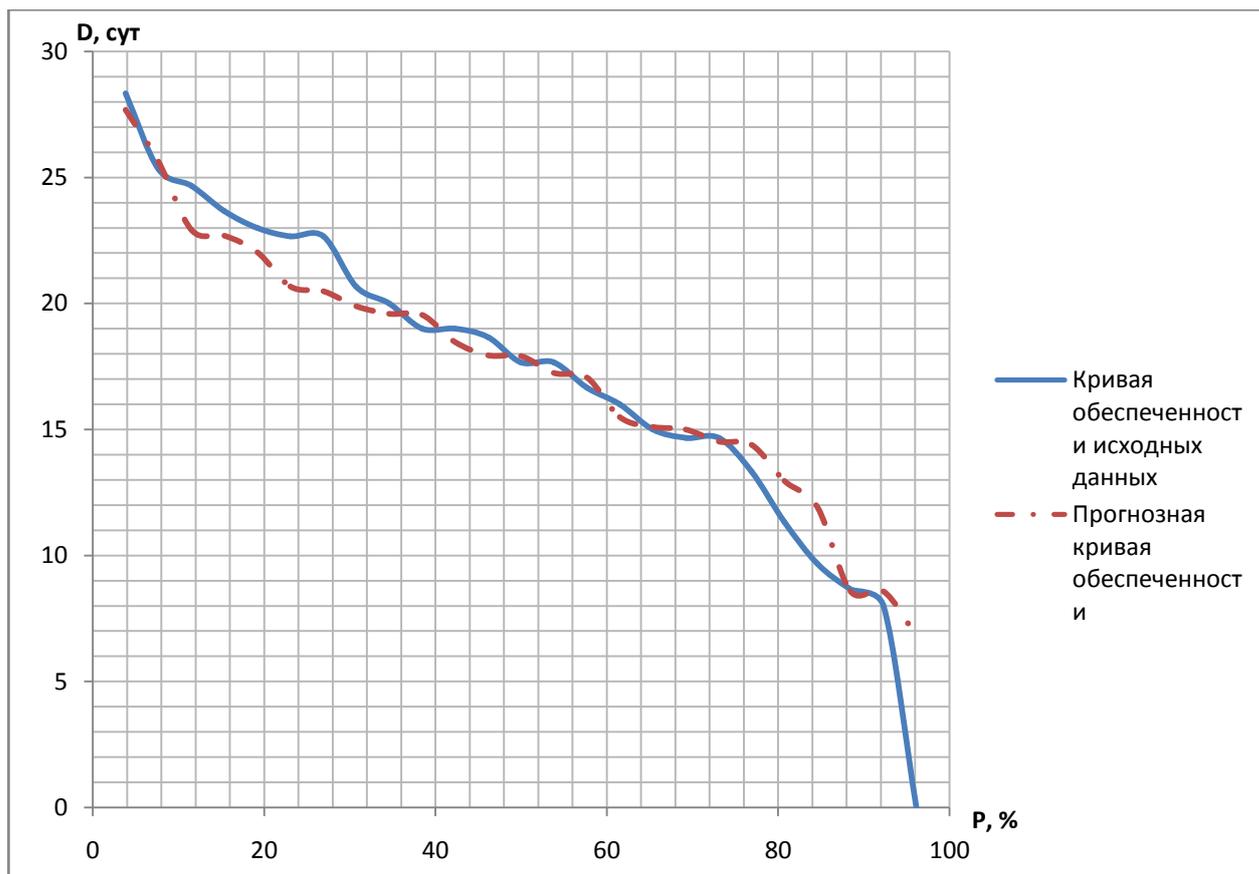


Рисунок Б.2. Кривые обеспеченности сроков вскрытия рек Карелии (второй)

Год	Фактические сроки	Прогнозные сроки	$\Delta^2$	$(X-X_{cp})^2$
1956	26	26	0	54
1957	24	22	5	28
1958	24	20	18	31
1959	19	14	27	0
1960	12	19	44	42
1961	21	20	2	5
1962	10	12	5	72
1963	18	15	12	0
1964	20	18	7	2
1965	17	17	1	5
1966	24	24	0	23
1967	11	10	1	66
1968	14	15	1	27
1969	19	24	26	0
1970	19	19	0	0
1971	26	27	1	54
1972	19	16	10	0
1973	13	15	8	39
1974	23	21	1	14
1975	5	12	51	206
1976	21	19	3	4
1977	16	19	12	9
1978	24	18	37	24
1979	26	22	13	52
1980	22	20	2	7
S			3,69	
G			5,65	
S/G			0,65	

Таблица В.1. Средние сроки вскрытия для региона (фоновый прогноз)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	24	23	1	13
1957	26	27	3	27
1958	25	23	7	23
1959	22	17	28	3
1960	13	18	23	50
1961	20	20	0	1
1962	13	14	2	61
1963	18	16	6	5
1964	21	21	0	1
1965	20	18	6	0
1966	24	27	6	15
1967	12	13	2	75
1968	12	14	2	65
1969	21	23	5	0
1970	23	24	0	6
1971	27	27	0	44
1972	20	17	8	0
1973	17	16	0	15
1974	24	22	5	15
1975	9	13	13	132
1976	24	25	0	12
1977	17	21	16	12
1978	29	19	98	65
1979	27	24	10	48
1980	23	23	0	6
S			3,40	
G			5,38	
S/G			0,63	

Таблица В.2. Средние сроки вскрытия для региона (1 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	28	26	7	123
1957	23	21	4	29
1958	24	20	17	41
1959	16	12	17	2
1960	11	17	33	35
1961	23	20	5	29
1962	8	9	0	85
1963	19	14	18	2
1964	19	15	12	3
1965	13	13	0	15
1966	23	23	0	33
1967	10	7	8	57
1968	15	18	9	5
1969	17	23	39	0
1970	15	15	0	7
1971	25	28	5	66
1972	18	15	7	0
1973	9	15	41	74
1974	21	20	1	12
1975	0	9	74	297
1976	18	18	1	0
1977	15	18	11	7
1978	19	17	3	3
1979	25	22	7	55
1980	20	20	0	8
S			3,90	
G			6,42	
S/G			0,61	

Таблица В.3. Средние сроки вскрытия для региона (2 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	24	19	21	58
1957	20	24	19	13
1958	23	19	15	44
1959	16	13	10	0
1960	8	14	39	71
1961	24	16	58	58
1962	5	10	24	130
1963	16	12	19	0
1964	17	17	0	0
1965	10	14	13	41
1966	22	24	3	31
1967	11	9	4	29
1968	16	9	42	0
1969	18	19	2	3
1970	13	20	50	12
1971	25	23	3	74
1972	17	13	14	0
1973	8	12	14	71
1974	25	19	42	74
1975	0	8	66	269
1976	22	21	1	31
1977	12	17	27	19
1978	22	15	53	31
1979	21	21	0	21
1980	15	20	22	2
S			4,83	
G			6,71	
S/G			0,72	

Таблица В.4. Сроки вскрытия р.Рагнуска – д. Харловская (1 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	32	23	77	110
1957	26	26	0	20
1958	26	23	9	20
1959	21	19	5	0
1960	10	20	94	133
1961	31	21	97	90
1962	6	17	117	241
1963	21	18	9	0
1964	26	22	17	20
1965	19	19	0	6
1966	33	26	49	132
1967	14	16	5	57
1968	24	17	56	6
1969	22	23	2	0
1970	23	24	0	2
1971	0	26	668	463
1972	25	19	35	12
1973	17	18	1	20
1974	33	23	108	132
1975	7	16	75	211
1976	22	24	6	0
1977	20	22	3	2
1978	29	20	80	56
1979	28	24	15	42
1980	23	23	0	2
S			7,98	
G			8,61	
S/G			0,93	

Таблица В.5. Сроки вскрытия р.Пяльма – д. Пяльма (1 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	28	22	41	103
1957	29	27	5	125
1958	23	21	3	27
1959	26	15	128	67
1960	14	16	4	15
1961	13	18	29	23
1962	21	12	89	10
1963	17	13	12	1
1964	19	19	0	1
1965	19	16	12	1
1966	27	26	1	84
1967	7	11	13	118
1968	12	11	1	34
1969	17	22	21	1
1970	15	22	52	8
1971	25	26	1	51
1972	13	15	5	23
1973	10	13	12	61
1974	22	21	2	17
1975	0	10	95	318
1976	17	23	41	1
1977	14	19	28	15
1978	15	17	3	8
1979	22	23	1	17
1980	21	22	1	10
S			5,00	
G			6,89	
S/G			0,73	

Таблица В.6. Сроки вскрытия р.Олонка – г. Олонец (1 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	25	21	13	45
1957	19	27	63	1
1958	20	21	1	3
1959	19	14	25	1
1960	14	16	2	18
1961	16	18	4	5
1962	5	11	32	176
1963	18	13	28	0
1964	16	19	10	5
1965	21	15	37	7
1966	22	26	17	14
1967	13	10	12	28
1968	11	10	1	53
1969	15	21	42	11
1970	19	22	10	1
1971	41	26	229	516
1972	20	14	30	3
1973	12	13	0	39
1974	23	20	7	22
1975	0	9	75	334
1976	24	23	0	33
1977	14	19	24	18
1978	23	16	47	22
1979	26	23	9	60
1980	21	22	1	7
S			5,47	
G			7,70	
S/G			0,71	

Таблица В.7. Сроки вскрытия рУксун-йоки – д. Ууксу (1 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	23	21	6	32
1957	19	26	52	3
1958	28	20	60	113
1959	12	13	1	29
1960	5	15	94	153
1961	9	17	66	70
1962	6	10	14	129
1963	13	12	1	19
1964	22	18	13	22
1965	18	14	15	0
1966	26	25	0	75
1967	0	9	75	301
1968	19	9	94	3
1969	22	21	2	22
1970	24	21	7	44
1971	25	25	0	58
1972	15	14	2	6
1973	14	12	5	11
1974	21	20	2	13
1975	11	8	10	40
1976	23	23	0	32
1977	11	18	51	40
1978	27	15	137	93
1979	21	22	2	13
1980	20	21	1	7
S			5,44	
G			7,44	
S/G			0,73	

Таблица В.8. Сроки вскрытия р. Чирко-кемь – с. Юшкозеро (1 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	11	32	461	383
1957	36	38	4	30
1958	32	32	0	2
1959	36	25	124	30
1960	24	26	6	43
1961	33	29	17	6
1962	20	21	2	112
1963	35	24	132	20
1964	25	30	27	31
1965	31	26	27	0
1966	30	37	53	0
1967	2	20	335	816
1968	0	21	440	934
1969	28	33	20	7
1970	42	33	77	131
1971	44	37	48	181
1972	21	25	19	91
1973	36	24	155	30
1974	47	31	243	270
1975	34	19	213	12
1976	35	35	0	20
1977	30	30	0	0
1978	51	27	574	418
1979	44	34	98	181
1980	37	33	18	41
S			11,35	
G			12,56	
S/G			0,90	

Таблица В.9. Сроки вскрытия р. Чирко-кемь – с. Андропова Гора (1 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	26	21	22	20
1957	31	22	72	90
1958	25	21	14	12
1959	26	20	40	20
1960	19	20	1	6
1961	11	21	91	111
1962	26	19	50	20
1963	8	19	129	183
1964	24	21	10	6
1965	23	20	10	2
1966	11	22	128	111
1967	36	19	300	210
1968	5	19	191	273
1969	23	21	3	2
1970	24	21	7	6
1971	30	22	60	72
1972	30	20	105	72
1973	19	19	0	6
1974	0	21	443	463
1975	11	18	56	111
1976	25	22	11	12
1977	18	21	7	12
1978	33	20	166	132
1979	30	22	70	72
1980	24	21	7	6
S			9,12	
G			9,20	
S/G			0,99	

Таблица В.10. Сроки вскрытия р.Сума – с. Сумский Посад (1 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	27	27	0	82
1957	22	21	0	17
1958	25	20	24	50
1959	17	12	28	1
1960	11	17	41	48
1961	26	21	24	65
1962	8	8	0	98
1963	18	14	13	0
1964	19	16	11	1
1965	15	13	4	9
1966	23	23	0	26
1967	5	6	1	167
1968	17	18	2	1
1969	16	24	60	4
1970	15	15	0	9
1971	27	29	4	82
1972	21	15	35	9
1973	9	15	39	80
1974	26	20	34	65
1975	0	8	66	321
1976	22	19	10	17
1977	13	18	28	24
1978	23	18	30	26
1979	23	23	0	26
1980	20	20	0	4
S			4,35	
G			7,16	
S/G			0,61	

Таблица В.11. Сроки вскрытия р. Водла – д. Харловская (2 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	28	25	9	160
1957	24	19	22	75
1958	20	18	4	22
1959	16	9	46	0
1960	10	15	26	29
1961	27	19	63	135
1962	8	5	7	54
1963	14	12	4	2
1964	19	13	32	13
1965	9	10	2	40
1966	22	22	0	44
1967	4	3	0	129
1968	6	16	103	88
1969	14	22	62	2
1970	10	12	5	29
1971	27	27	0	135
1972	14	13	1	2
1973	9	13	15	40
1974	21	18	9	32
1975	0	5	29	236
1976	12	17	23	11
1977	15	16	1	0
1978	12	15	11	11
1979	24	21	10	75
1980	19	18	0	13
S			4,50	
G			7,58	
S/G			0,59	

Таблица В.12. Сроки вскрытия р. Черная – с. Каршево (2 класс)

Год	Исходные	Прогнозные	$\Delta^2$	$(X-X_{\text{ср}})^2$
1956	30	24	33	134
1957	22	21	2	13
1958	26	20	39	57
1959	15	14	1	12
1960	13	18	24	30
1961	15	20	29	12
1962	8	12	13	109
1963	24	16	65	31
1964	19	17	5	0
1965	16	15	1	6
1966	24	22	4	31
1967	20	10	94	2
1968	22	19	12	13
1969	20	22	5	2
1970	19	16	9	0
1971	22	26	14	13
1972	18	16	3	0
1973	8	16	71	109
1974	15	20	23	12
1975	0	12	135	340
1976	19	19	0	0
1977	16	19	6	6
1978	22	18	16	13
1979	27	22	29	73
1980	21	20	1	7
S			5,14	
G			6,53	
S/G			0,79	

Таблица В.13. Сроки вскрытия р. Шуя – д. Бесовец (2 класс)