



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Выбор эффективной прогностической модели по характеристикам речного водосбора

Исполнитель Захаров Илья Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«27» мая 2024г.

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Современные прогностические подходы в гидрологии.....	4
1.1 Методы прогнозирования	4
1.2 Способы подбора эффективного прогностического метода.....	9
2 Формирование базы данных.....	14
2.1 Выбор репрезентативных водосборов.	14
2.2 База данных по репрезентативным водосборам.....	15
3 Фрактальная диагностика	17
3.1. Алгоритм расчета фрактальной размерности	18
4 Выводы и определение зависимостей.....	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	63

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире изучение фракталов позволило гораздо лучше понять физические и природные процессы, происходящие вокруг нас. Использование особенностей фракталов в прогнозировании позволило бы значительно облегчить составление прогнозов и увеличить их точность.

Целью данного исследования является исследование зависимости фрактальной размерности от характеристик речного водосбора.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- а. Изучить современные прогностические подходы в гидрологии.
- б. Сформировать и обработать базу данных гидрологических и физико-географических показателей.
- в. Рассчитать фрактальные размерности выбранных гидрологических постов.
- г. Построить графики, выявляющие зависимости фрактальной размерности от природных и климатических характеристик.
- д. Проанализировать полученные результаты.

1 Современные прогностические подходы в гидрологии

1.1 Методы прогнозирования

Прогнозы гидрологического характера – это основанные на научных данных методы и способы прогнозирования параметров и времени наступления будущего состояния водного или ледового режима водотоков, озер или водоемов. Одно из главнейших понятий в гидрологических прогнозах – это заблаговременность. Под заблаговременностью прогноза понимается промежуток времени между датой составления прогноза и датой осуществления предсказываемого явления (Взято из учебника ссылка). При составлении прогноза необходимо учитывать все физические процессы, которые воздействуют на предсказываемое явление. Именно поэтому, существуют различные систематики и методы составления прогнозов. По заблаговременности прогнозы делятся на краткосрочные – до 15 суток, долгосрочные прогнозы – от 15 суток до нескольких месяцев и сверхдолгосрочные – более 1 года. Методами краткосрочного прогноза являются метод тенденций, метод соответственных уровней, метод соответственных объемов и модели трансформации волны [1].

Метод тенденций

Основа метода тенденций – это пролонгация исходных данных на нужное количество дней.

Так как способов экстраполяции данных несколько, то существуют основные две группы: линейной и нелинейной тенденции. Рассмотрим метод линейной тенденции.

Метод линейной тенденции

Метод линейной тенденции – это метод прогноза стока путем экстраполяции графика уровня или расхода воды в данном створе реки на некоторый срок вперед. Метод основан на предположении о постоянстве

закона изменения уровня или расхода воды в период заблаговременности прогноза, т. е. на предположении, что существующая в настоящее время тенденция в изменении уровня или расхода воды сохранится неизменной в период заблаговременности прогноза.

Практическое осуществление этого способа производится следующим образом. Предположим, имеется отрезок гидрографа за период от t_1 до t_2 , причем t_0 – день выпуска прогноза (см. рисунок 2).

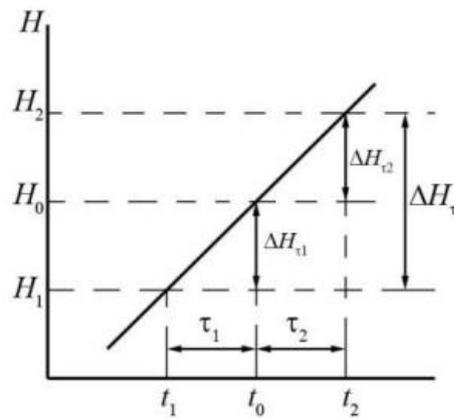


Рисунок 1 – Иллюстрация метода линейной тенденции

t_0 – дата выпуска прогноза;

t_2 , – дата, на которую прогнозируется уровень;

$\Delta H\tau_1$, $\Delta H\tau_2$, $\Delta H\tau$ – изменение уровня за период τ_1 , τ_2 и τ .

Предположим, необходимо дать прогноз в момент времени $t_0 + \tau_2$ (т. е. с заблаговременностью τ_2). Обозначим приращение в период от t_0 до $t_0 + \tau_2$ через $\Delta H\tau_2$, а приращение уровня в прошлый период от t_0 до $t_0 - \tau_1$, через $\Delta H\tau_1$ прошлый период от t_0 до $t_0 - \tau_1$ через $\Delta H\tau_1$. Тогда мы получаем [2]

$$H_2 = H_{t_0} + \Delta H\tau_2, \text{ где } \Delta H\tau_2 = f(\Delta H\tau_1) \quad (1)$$

Методы нелинейной тенденции

Методы используются для прогноза крупных половодий и больших паводков.

Основаны на зависимости $\frac{dQ}{dt} = f(Q)$, где $\frac{dQ}{dt} \neq \text{const}$.

Можно решать двумя способами: аналитически и графически.

Рассмотрим графический способ решения.

Графический способ

Графический способ основан на осреднении и типизации кривых спада, а также на зависимости.

$$\frac{dQ}{dt} = f(Q). \quad (2)$$

Строятся типовые кривые спада отдельно для каждой реки по ежегодным относительным кривым. Расходы воды этих кривых выражаются в долях (или %) от максимального $\alpha_t = \frac{Q_t}{Q_{max}} * 100\%$, а время от начала спада – в долях (или %) от общей продолжительности спада $\beta = \frac{t}{t_{спада}} * 100\%$. По этим данным строится семейство относительных кривых спада

$$Q_t/Q_{max} = f(t/t_{спада}) \quad (3)$$

В поле этих относительных кривых устанавливается типовая или средняя многолетняя кривая спада. [3]

Методы прогноза руслового стока при неустановившемся движении

На участках реки с длинным руслом и поймой, а также при кратковременных высоких паводках и сбросах воды из водохранилища, распластывание волны имеет значительное значение.

Основными причинами распластывания волны являются: различие уклонов в начальной и конечной части волны, регулирующие влияние поймы и берегов.

Основными методами расчета являются: метод Калинин-Милюкова, метод Маскингам, интеграл Дюамеля

Метод Калинина-Милюкова

Метод Калинина–Милюкова основан на предположении, что участок длиной L (характерный) оказывает такое же регулирующее влияние на волну паводка, как и равное ему по объему водохранилища.

В данной работе на характерном участке представлен установившееся уровень движения.

Для определения длины характерного участка используют формулу (4):

$$L = \frac{Q}{i} \frac{dH}{dQ}, \quad (4)$$

где Q – расход воды, м³/с;

i – уклон, ‰;

$\frac{dH}{dQ}$ – тангенс угла наклона к касательной $Q = f(H)$ при данном значении расхода.

Объем рассчитывается по формуле (2):

$$W = \tau Q_n, \quad (5)$$

где τ – время добегания, сек;

Q_n – расход в нижнем створе.

Время добегания рассчитывается по формуле (3):

$$\tau = \frac{\Delta W}{\Delta Q}, \quad (6)$$

где ΔW – разница объемов, м³;

ΔQ – разница расходов воды, м³/с.

Среднеквадратическая погрешность рассчитывается по формуле (7):

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\delta)^2}{n-2}}, \quad (7)$$

где δ – погрешность прогноза;

n – число прогнозов.

Изменчивость прогнозной величины оценивается среднеквадратическим отклонением по формуле (5):

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum(\delta')^2}{n-1}} \quad (8)$$

Методика считается эффективной, если выполняется условие $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,8$.

Метод Маскингам

Метод получил свое название по названию реки в США – Маскингам, для которой был предложен. Метод основан на совместном решении уравнения водного баланса участка реки и зависимости объема воды на участке от расходов воды. Уравнение для линейной связи имеет вид

$$W = \tau(\alpha Q_{\text{В}} + (1 - \alpha) Q_{\text{В}}), \quad (9)$$

где α – весовой коэффициент, который выражает относительное влияние расходов воды в верхнем и нижнем створах на изменение русловых объемов воды.

Интеграл Дюамеля

Если на участке реки имеются наблюдения за расходами в верхнем и нижнем створах, но нет данных о морфометрии и гидравлических сопротивлениях, участок можно рассматривать, как «черный ящик», преобразующий входной гидрограф в выходной. При предположении, что параметры черного ящика постоянны, т. е. не зависят от расходов в верхнем створе, связь между входным и выходным гидрографами можно выразить дифференциальным линейным уравнением n -ого порядка:

$$Q_{\text{Н}} = L(Q_{\text{В}}) \quad (10)$$

где L – является оператором $L = a \frac{d^n Q_B}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} Q_B}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 Q_B$;

Q_B – расход воды в верхнем створе;

Q_H – расход воды в нижнем створе.

Коэффициенты $a; a_n; a_{n-1}$, не зависят от Q_B и Q_H , могут быть постоянными во времени или могут изменяться. Решением уравнения (9) при нулевых начальных условиях является интеграл Дюамеля:

$$Q_H(t) = \int_0^t Q_B(\tau) p(t - \tau) d\tau, \quad (11)$$

где $p(t - \tau)$ – носит название функции влияния, или импульсной, или переходной функции [4].

1.2 Способы подбора эффективного прогностического метода

Оценка оправдываемости прогноза

Под погрешность (ошибкой) отдельного прогноза δ_i понимается разность между предсказанной (y_ϕ) и действительными величинами ($y_{пр}$):

$$\delta_i = y_\phi - y_{пр} \quad (12)$$

В настоящее время существует два способа оценки оправдываемости прогнозов и эффективности методик: метод ГГИ и метод ГМЦ

Метод ГМЦ

Величина допустимой погрешности прогноза определяется в зависимости от наблюдаемой в природных условиях изменчивости предсказываемой величины за период заблаговременности. Основной статистической мерой изменчивости случайной переменной является ее среднее квадратическое отклонение за период заблаговременности от нормы

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n - 1}} \quad (13)$$

где Δ_i – изменение предсказываемой величины за период заблаговременности;
 $\bar{\Delta}$ – норма этих изменений;
 n – число членов ряда.

В качестве допустимой погрешности (приемлемой) берется некоторая доля среднего квадратического отклонения, а именно:

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674 \sigma_{\Delta} \quad (14)$$

Прогноз считается оправдавшимся, если $\delta_i \leq \delta_{\text{доп}}$

Оценка прогноза: отлично $\delta_i < 0,3\delta_{\text{доп}}$; хорошо $\delta_i = (0,3 - 0,6)\delta_{\text{доп}}$;
удовлетворительно $\delta_i = (0,6 - 1,0)\delta_{\text{доп}}$. [5]

Метод ГГИ

В качестве допустимой погрешности используется величина, равная 20 % от расчетной амплитуды A_p . Расчетная обеспеченность – это обеспеченная на 95 % сумма положительных и отрицательных величин изменения прогнозируемого элемента за период заблаговременности прогноза:

$$\delta_{\text{доп}} = \Delta H_a + \Delta H_b \quad (15)$$

где ΔH_a – положительное изменение прогнозируемого элемента, обеспеченность которого на 2,5 % меньше максимально возможной

обеспеченности (для положительных ΔH_a); ΔH_b – то же, но для отрицательного изменения. Величина допустимой погрешности

$$\delta_{\text{доп}} = \frac{1}{5} A_p \quad (15)$$

Оценка эффективности методики прогнозирования

Точность методики оценивается по распределению величин погрешностей поверочных прогнозов или по их обеспеченности, т. е. по величинам вероятности того, что погрешности прогнозов не превысят заданных предельных значений [6].

Метод ГМЦ

Методика может использоваться на практике, если она достаточно точна. В качестве критерия эффективности метода служит соотношение $\frac{S}{\sigma_{\Delta}}$, т. е. отношение средней квадратической погрешности поверочных прогнозов к квадратическому отклонению предсказываемой величины либо к ее изменению за период заблаговременности. [7]

Методика прогноза считается эффективной:

при $n \leq 15$ должно быть $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,70$;

при $15 < n \leq 25$ должно быть $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,75$;

при $n > 25$ должно быть $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,80$.

Метод ГГИ

Оценка эффективности методики по методу ГГИ складывается из определения обеспеченности метода и природной обеспеченности. Методика считалась эффективной в случае, если обеспеченность метода превышает природную обеспеченность [8]:

$$P_M = \frac{n_{\text{опр}}}{n} 100\% \quad (16)$$

$$P_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{опр}}}{n} 100\%$$

Методика прогноза считается эффективной:

при $n \leq 15$ должно быть $P_m > 75\%$;

при $15 < n \leq 25$ должно быть $P_m > 80\%$;

при $n > 25$ должно быть $P_m > 85\%$.

Фрактальная размерность характеризует степень заполненности изучаемым объектом своего пространства вложения. Этим объектом в нашем случае служит временной ряд расходов воды. Фрактальность ряда связывается с порождающими его факторами. Если этих факторов много и они равновероятны, то приходим к белому шуму, который заполняет пространство вложения наподобие ничем не связанных молекул газа, находящихся в объеме. Если же во временном ряде существуют корреляции, то они образуют продолжительные группировки членов ряда. Это приводит к тому, что у ряда появляется своя собственная размерность (фрактальная, дробная).

По Б. Мандельброту, множество X называется фрактальным, если его размерность Хаусдорфа $D(X)$ не является целым числом. В свою очередь эта размерность, по определению, показывает, как растет число n шаров («шар» может иметь любую размерность) диаметром ε , необходимых для покрытия X : $D \approx \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log n(\varepsilon)}{\log n(1/\varepsilon)}$ при $\varepsilon \rightarrow 0$

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (\log n(\varepsilon) / \log n(1/\varepsilon))$$

Знание фрактальных размерностей предельных множеств (аттракторов) позволяет оценить минимальное число фазовых переменных, необходимых для описания изучаемых процессов

(размерность пространства вложения). Восстановив по временному ряду фрактальную размерность, можно целое число, непосредственно следующее за нею, считать минимальным числом переменных, необходимых для построения модели. Оно определяет наименьшее число дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих динамику изучаемой системы.[11]

2 Формирование базы данных

Для исходных данных производилась выборка из гидрологических постов, которые находились в районах с разными физико-географическими условиями формирования речного стока. Основными характеристиками для выбора исходных данных служили свойства водосборов, которые оказывают наибольшее влияние на формирование стока. К таким свойствам были отнесены: тип почвы, тип растительности, наличие карста, наличие мерзлых грунтов, среднемесячные температуры почвы и величина многолетнего значения относительной влажности (как косвенного показателя величины осадков, температуры воздуха, испарения).

Для работы была составлена карта постов и сводная таблица с физико-географическими характеристиками. Исходные данные расходов воды были взяты из электронной базы данных АИС ГМВО [9] с помощью специально написанного макроса для обработки этих рядов. Всего рассматривалось 16 водосборов, местоположение которых указано на рисунке 2.

2.1 Выбор репрезентативных водосборов.

Главным критерием по выбору гидрометрического поста, служила его площадь водосбора, которая должна была варьироваться от 1500 до 50000 км². Важно, чтобы площади водосбора значительно отличались друг от друга. Также было необходимо, чтобы посты имели разные физико-географические характеристики почв, растительности, влажности. Они обязаны находиться в разных географических районах, поэтому, глядя на карту видно, что выборка производилась из постов находящихся в болотистой, горной и равнинной местностях. Для более точной оценки нельзя было выбирать посты с расходами, которые слабо отличаются друг от друга, поэтому одним из главных критериев послужил большой разброс расходов между водомерными

постами. Большое внимание сводилось к рассмотрению формы гидрографов, к их форменному различию.

2.2 База данных по репрезентативным водосборам

Данные по выбранным водосборам собирались из нескольких источников.

Физико-географические характеристики собирались с карт различной направленности и данных, предложенных в СНиПах. Приоритетом в этом направлении служили карты, составленные Геологическим институтом имени А.П. Карпинского. Но ввиду ограниченности доступности материала, были использованы другие источники информации. Это национальный атлас Российской академии наук, по картам которого были собраны данные по растительности и почвам, а также карты и данные предложенные в СНиПах.

Все данные по физико-географическим характеристикам представлены в таблице 1

Данные по расходам были взяты из электронной базы АИС ГМВО. Приоритетом в этом направлении служило фаза половодья, так как именно она представляет наибольший интерес в ходе исследования.

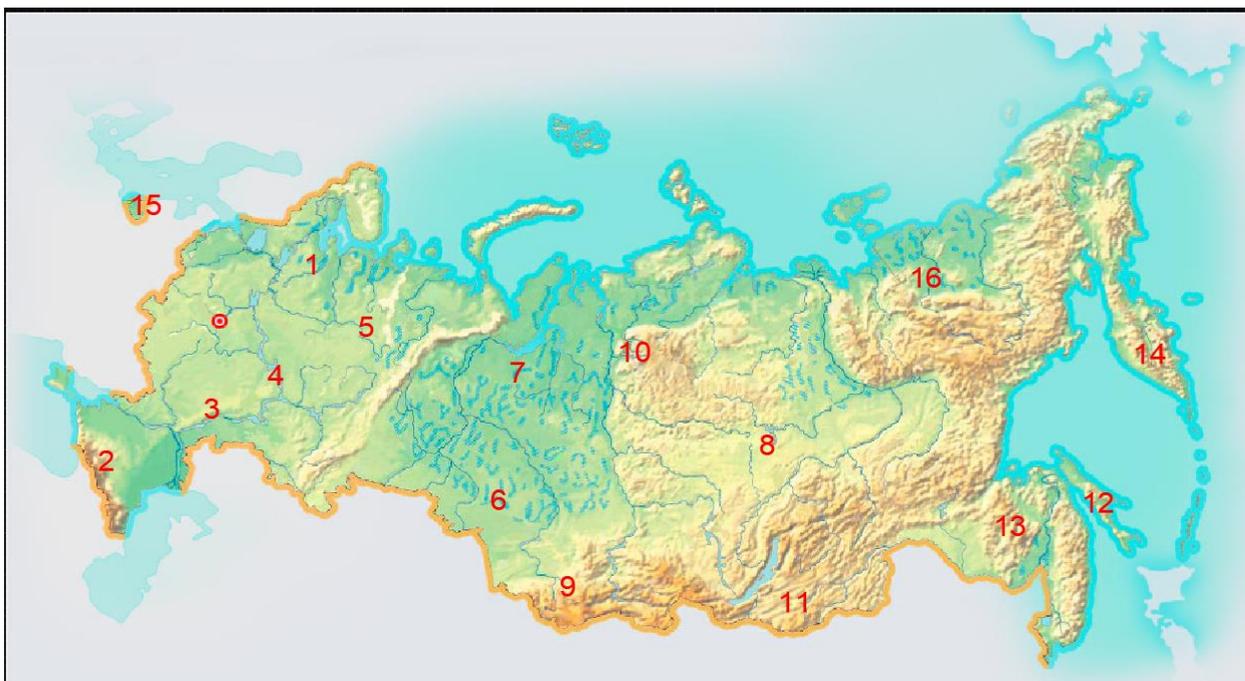


Рисунок 2 – Расположение гидрологических постов

Таблица 1 – Сводная таблица физико-географических характеристик

Номер поста	Река - пост	УТМС и регион	Метеостанция	Почвы	Номер почвы	Растительность	Номер растительности	Среднегодовая температура почвы на глубине 20см	Карст	Относительная влажность воздуха	Многомерзлые грунты	Западение грунтовых вод		
1	р.Онега-Турчасово	Северное УТМС	Турчасово	Подзолистые и подзоло контактно осветленные	1	Еловые среднетаежные леса	20	4 - 6	1	Отсутствие	1	78.5	Отсутствие	1
2	р.Кубань-с.им.Коста-Хетагурова	Северо-Кавказское УТМС	Зеленчукская	Горно-луговые	2	Алтайско-субальпийско-высокотравный кавказ	83	10 - 12	2	Карбонатный	2	81	Отсутствие	1
3	р.Чагра - пст.Новолука	Приволжское УТМС	Путачёв	ановые или темно каштан	3	Разнотравно-дерновиннозлаковые	71	8 - 10	3	Отсутствие	1	84	Отсутствие	1
4	р.Меша-Пестрецы	УТМС республике Татарстан	Казань	Серые лесные	4	Лишние с дубом	62	8 - 6	4	Сульфатный и карбонатно-сульфатный	3	75.5	Отсутствие	1
5	р. Сыслова - с.Койгородок	Северное УТМС	Койгородок	Подзолистые	5	Сосновые среднетаежные леса	21	4 - 6	1	Отсутствие	1	77.5	Отсутствие	1
6	р. ТАРА - С.КЫШТОВКА	Западно-Сибирское УТМС	Кыштовка	Торфяные и торфяно-глебовые болотные переходные и низинные	6	Богоразнотравно-злаковые луговые степи	73	4 - 6	1	Отсутствует	1	74.5	Отсутствие	1
7	р.Надым - г.Надым	Обь-Иртышское УТМС	Надым	Аллювиальные и маршевые	7	Луга, болота, кустарники и леса в поймах рек.	129	2 - 4	5	Отсутствует	1	77	Неглобальное распространение многомерзлых грунтов	2
8	р.Улахан Ботобуйа - Захар	Якутское УТМС	Чернышевская	Дерново-карбонатный	8	Лиственный среднетаежные леса	36	0 - 2	6	Карбонатный	2	68.5	Преимущественно сплошное распространение многомерзлых грунтов	3
9	Р.Бия-Кебезень	Западно-Сибирское УТМС	Яйто	Дерново-подзолистые	9	Алтайско-субальпийско-таежно-степной Алтай Восточносибирские	97	2 - 4	5	Отсутствует	1	71.5	Неглобальное распространение многомерзлых грунтов	2
10	р.Курейка - пгт Светлогорск	Среднесибирское УТМС	Игарка	Тундрово-болотные	10	Лиственный с елью редколесья	43	0 - 2	6	Карбонатный	2	71	Неглобальное распространение многомерзлых грунтов	2
11	Чикой-пст.Поворот	Забайкальское УТМС	Ново-Селенгск	Буровые пески	11	Лиственный среднетаежные леса	36	2 - 4	5	Отсутствует	1	75	Неглобальное распространение многомерзлых грунтов	2
12	Тымово-Адамо-Тымово	Сахалинское УТМС	Тымовское	Торфяные и торфяно-глебовые болотные верховые.	13	Сфагновые верховые, грядово-мочажинные и грядово-озерковые	125	4 - 6	1	Карбонатный	2	78.5	Отсутствие	1
13	р.Бурей - с.Усть-Ниман	Дальневосточное УТМС	Чегдомын	Подбуро - таежные	14	Слабиково-таежные - хребты Джугды и Буринский Сфагновые	115	4 - 6	1	Отсутствует	1	74.5	Неглобальное распространение многомерзлых грунтов	2
14	р.Средняя Воровская уроч.Ашово	Камчатское УТМС	Соболево	Вулканическая (вулканические пеплы и лава)	15	Сфагновые верховые, грядово-мочажинные и грядово-озерковые. Пшашеобразные	125	4 - 6	1	Отсутствует	1	83.5	Отсутствие	1
15	р.Преголя-Гвардейск	Северо-Западное УТМС	Калининград	Дерново-подзолистые	9	Еловые сложенные, широколиственные подтаежные леса	24	8 - 10	3	Отсутствует	1	81	Отсутствие	1
16	р.Яна - р.п.Багагай	Якутская УТМС	Багагай	Аллювиальные и маршевые	7	Лиственный, северо-таежные леса	49	(- 6) - (-8)	7	Отсутствует	1	67.5	Сплошное распространение многомерзлых грунтов	3

3 Фрактальная диагностика

Фрактал – термин, означающий геометрическую фигуру, обладающую свойством самоподобия, то есть составленную из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. В более широком смысле под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность. Метрической размерностью называют число, выражающее связь между измеряемым размером фигуры и единицей, лежащей в основе измерения. Метрическая размерность линий равна 1, метрическая размерность плоских фигур равна 2, а объемных фигур – 3, т.е. совпадает с их топологической размерностью. Но есть фигуры, метрическая размерность которых является дробной. Если размерность объектов целая, их размер будет оставаться одинаковым при переходе от больших единиц к меньшим и наоборот. Но, например, такой природный объект, как берег реки, озера или моря. Длина береговой линии будет разной в зависимости от того, измеряют ее километрами, метрами, сантиметрами или миллиметрами. Такая природная линия является чем-то промежуточным между математической линией и математической плоскостью и имеет размерность $1 < D < 2$.

Фрактальная размерность – количественная и качественная характеристика структурной разупорядоченности системы. Фрактальность позволяет сравнивать различные по своей природе показатели в едином метрическом пространстве состояний и, таким образом, отображать системные особенности природных объектов. Этим объектом в нашем случае служит временной ряд расходов воды. Связав физико-географические характеристики водосбора с фрактальной размерностью, можно заблаговременно, до использования прогностической модели, определить тип этой модели, а именно необходимое число параметров в ней для получения надежного прогноза. [10]

3.1. Алгоритм расчета фрактальной размерности

Фрактальная диагностика производится с использованием метода расчета корреляционной размерности. Такой вид фрактальной размерности легко рассчитать, если временной ряд представить как точки, разбросанные по области пространства (строятся зависимости расходов воды со сдвижкой во времени $\tau(Q(t), Q(t + \tau), Q(t + 2\tau), \dots)$). Для определения корреляционной размерности необходимо подсчитать количество точек, попарные евклидовы расстояния между которыми меньше заданного расстояния r .

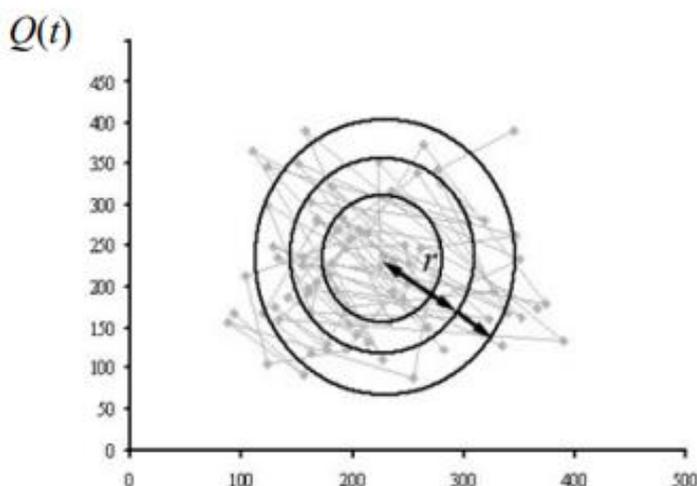


Рисунок 3 – Определение количества точек входящих в заданное расстояние

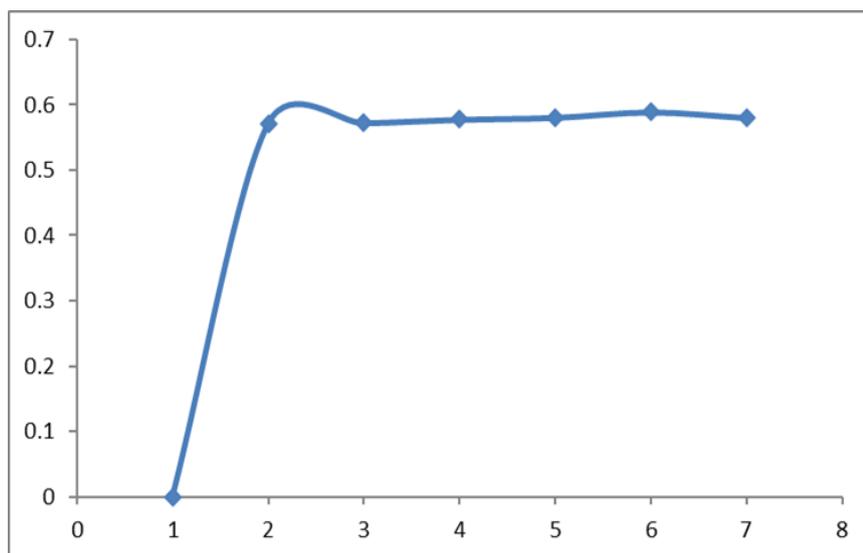


Рисунок 4 – Пример кривой насыщения

При изменении r изменяется относительная доля $C(r)$ таких точек. Величина $C(r)$ называется корреляционной суммой (или корреляционным интегралом) и определяется как отношение числа точек, попарные расстояния между которыми меньше r , к общему числу точек. Корреляционная размерность определяется как:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} (\ln C(r) / \ln r)$$

Опираясь на заданный временной ряд, строится функция для возрастающих значений размерностей фазового пространства n . Определяется «наклон» d по выражению и строится зависимость $d = f(n)$. Результатом вычислений является неизменяющееся значение размерности при последовательных сдвигках τ - целое число, непосредственно следующее за фрактальной размерностью [12].

4 Выводы и определение зависимостей

Определение зависимости по расходам типового водосбора

В качестве исходных данных для определения фрактальной размерности послужили расходы различных рек, находящиеся в различных частях Российской Федерации. Так как определение размерности по единственному выбранному году не может являться надежным показателем, ввиду возможности наличия аномальных расходов, которые резко отличаются от нормы, было принято решение о построении типовых гидрографов по всем имеющимся годам. Для упрощения обработки расходов, в программе *Excel*, была создана утилита, позволяющая обрабатывать расходы от условных обозначений и строить типовой гидрограф за имеющиеся количество лет.

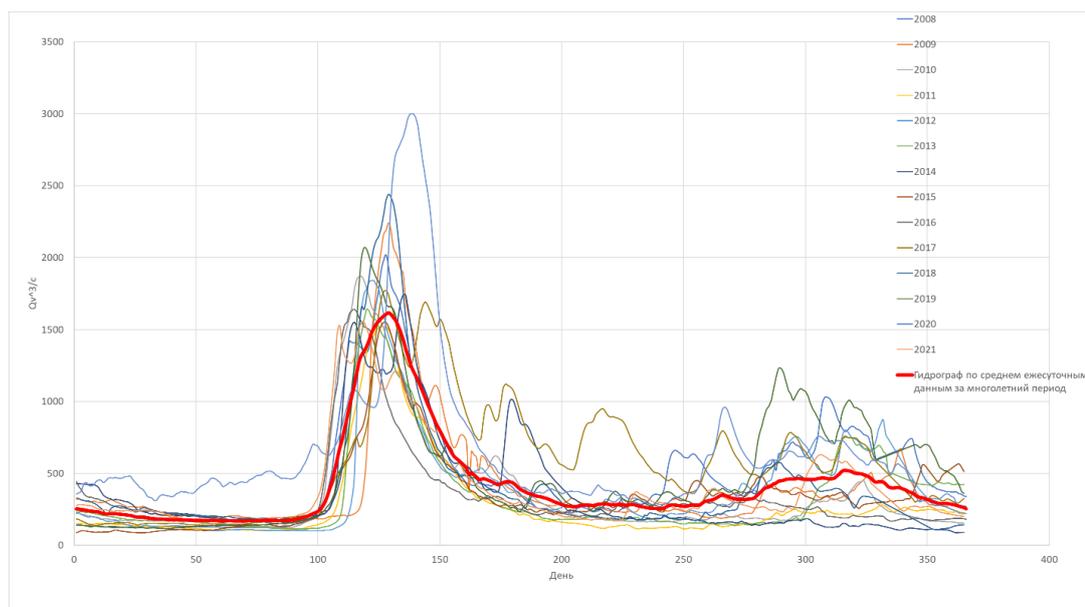


Рисунок 5 – Типовой гидрограф р. Онега – д. Турчасово



Рисунок 6 – Скриншот программы со сводными таблицами

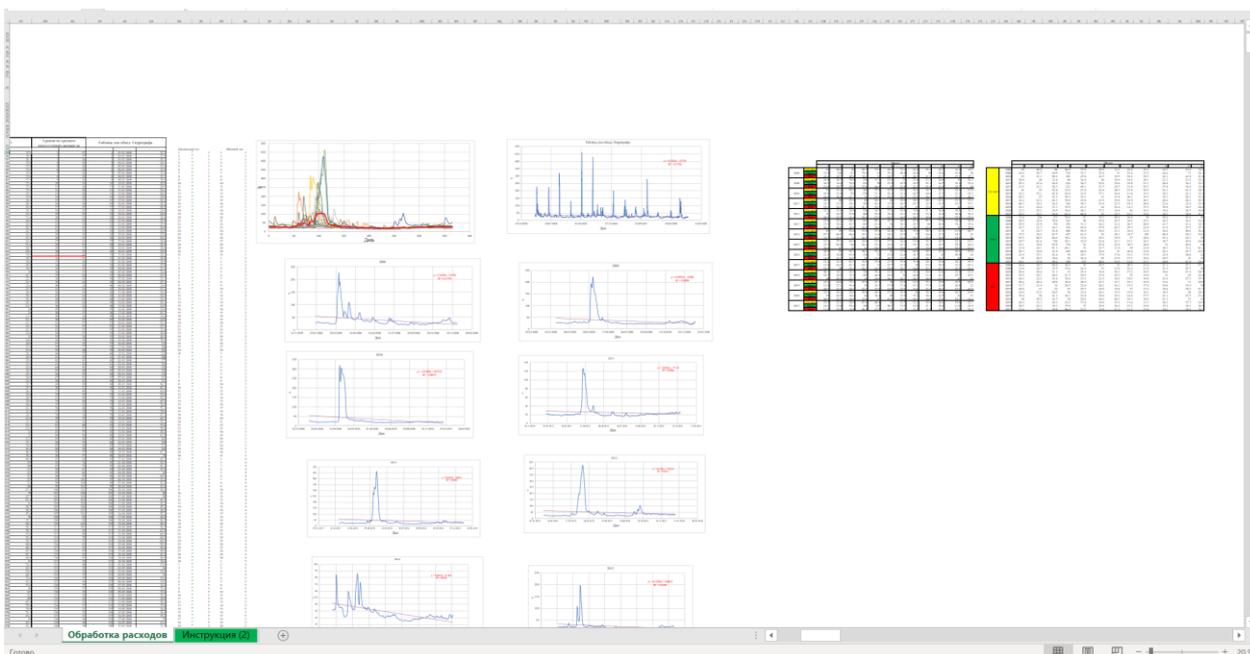


Рисунок 7 – Скриншот программы с типовым гидрографом, гидрографом отдельно за каждый год и сводной таблицей средних, минимальных и максимальных значений за каждый месяц.

Типовые гидрографы были построены по данным с 2008 по 2021 год, для большинства выбранных рек. Исключением, ввиду отсутствия данных, являлись: р.Кубань – с им. Коста-Хегурова, данные были взяты с 2017 по 2021 год и р.Курейка – пост. Светлогорск, данные были взяты только за 2008 год.

По типовым гидрографам были определены периоды спада и подъема половодья, для 16 водомерных постов. Для каждой фазы была подсчитана фрактальная размерность и погрешность 10%. Данные представлены в таблице 2

Таблица 2 – Значения фрактальной размерности для типового гидрографа.

Значения фрактальной размерности для типового гидрографа						
Номер поста на карте	Подъем	Спад	Погрешность			
			Подъем		Спад	
			10%	-10%	10%	-10%
1	0.60	0.40	0.66	0.54	0.4	0.4
2	0.61	0.76	0.67	0.55	0.8	0.7
3	0.51	0.26	0.56	0.46	0.3	0.2
4	0.31	0.35	0.34	0.28	0.4	0.3
5	0.23	0.48	0.25	0.21	0.5	0.4
6	0.60	0.80	0.66	0.54	0.9	0.7
7	0.65	0.88	0.72	0.59	1.0	0.8
8	0.92	0.90	1.01	0.83	1.0	0.8
9	0.75	0.89	0.83	0.68	1.0	0.8
10	0.90	0.30	0.99	0.81	0.3	0.3
11	0.78	0.80	0.86	0.70	0.9	0.7
12	0.44	0.60	0.48	0.40	0.7	0.5
13	0.60	0.65	0.66	0.54	0.7	0.6
14	0.55	0.80	0.61	0.50	0.9	0.7
15	0.74	0.63	0.81	0.67	0.7	0.6
16	0.92	0.86	1.01	0.83	0.9	0.8

Рассчитав фрактальную размерность для каждой фазы, можно приступать к анализу зависимости фрактальной размерности от характеристик водосбора.

Температура почвы

Данные по температуре почв были взяты с карты температур почв “Атласа почв Российской Федерации” – Московского государственного университета им. Ломоносова.

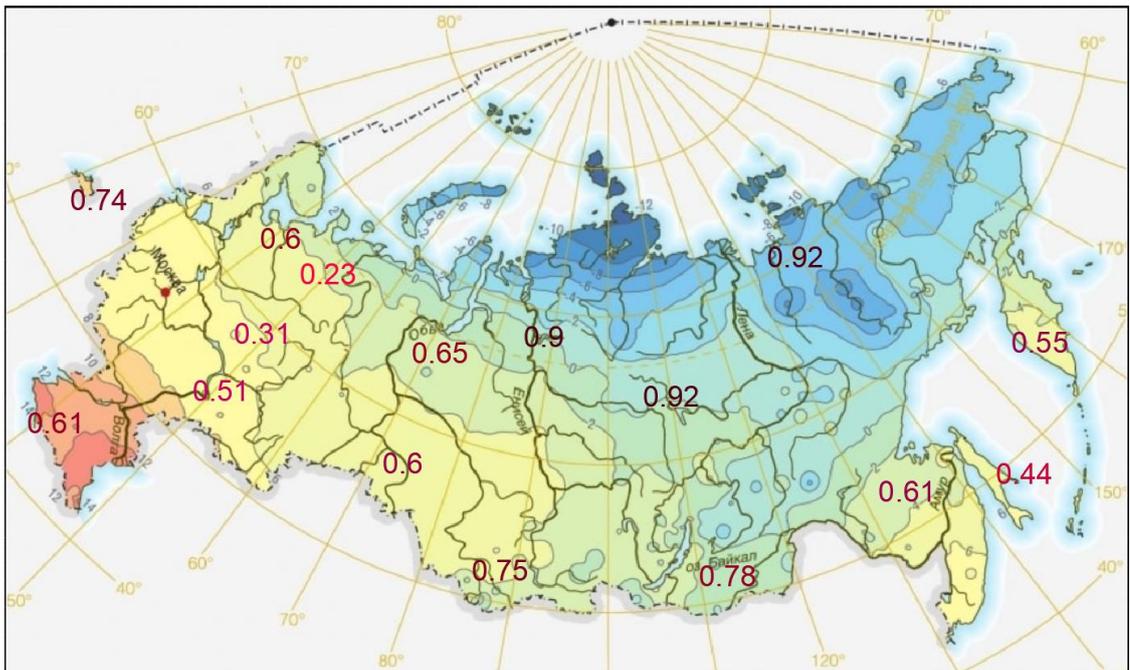


Рисунок 7 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте температуры почв.

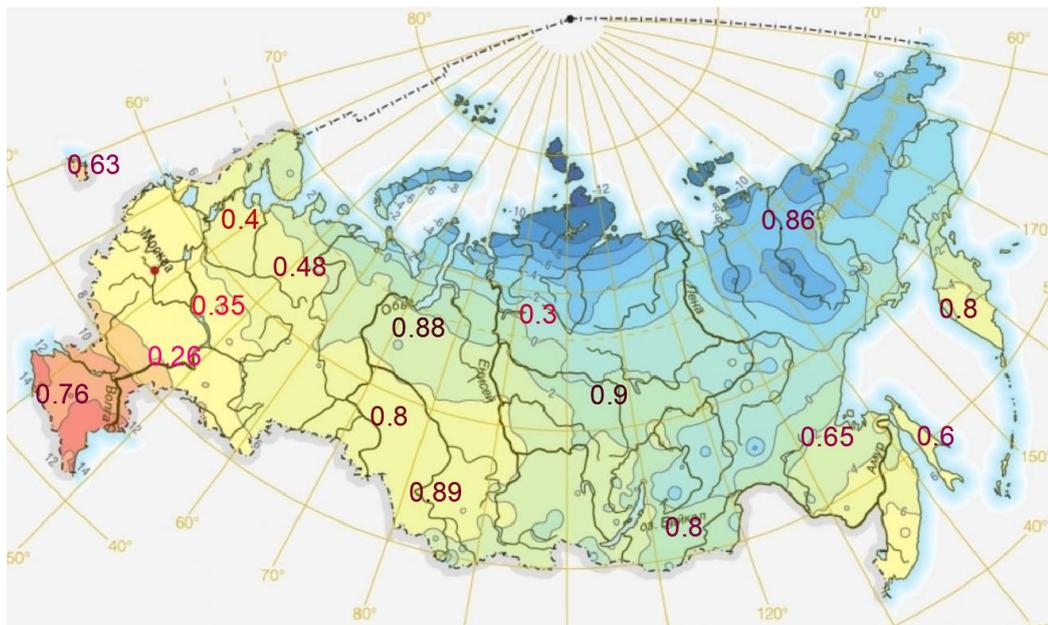


Рисунок 8 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте температуры почв.

Таблица 3 – Сводная таблица распределения температуры почвы от фрактальной размерности

Номер поста на карте	Относительная влажность воздуха (%)	Фрактальная размерность	
		Подъем	Спад
1	78.5	0.6	0.4
2	81	0.61	0.76
3	84	0.51	0.26
4	75.5	0.31	0.35
5	77.5	0.23	0.48
6	74.5	0.6	0.8
7	77	0.65	0.88
8	68.5	0.92	0.9
9	71.5	0.75	0.89
10	71	0.9	0.3
11	75	0.78	0.8
12	78.5	0.44	0.6
13	74.5	0.6	0.65
14	85.5	0.55	0.8
15	81	0.74	0.63
16	67.5	0.92	0.86

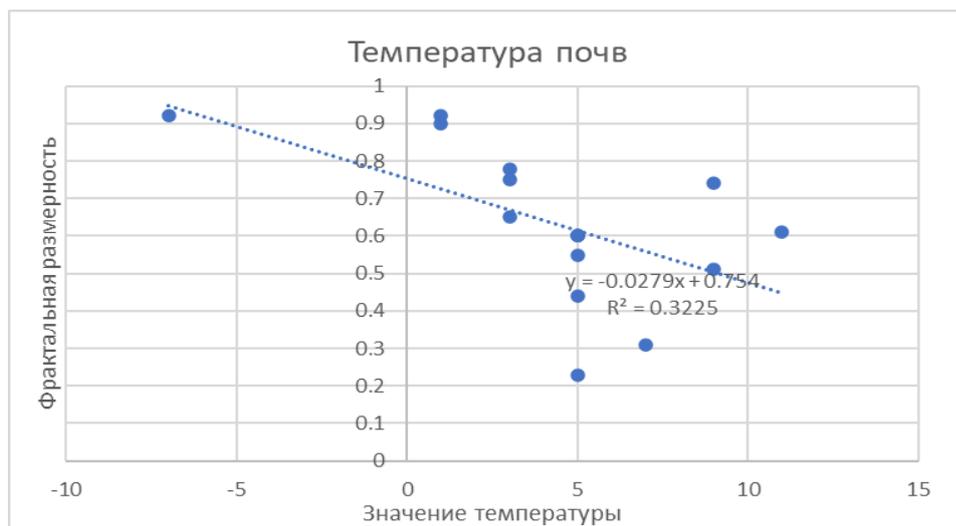


Рисунок 9 – График зависимости фрактальной размерности подъема половодья от температуры почвы.

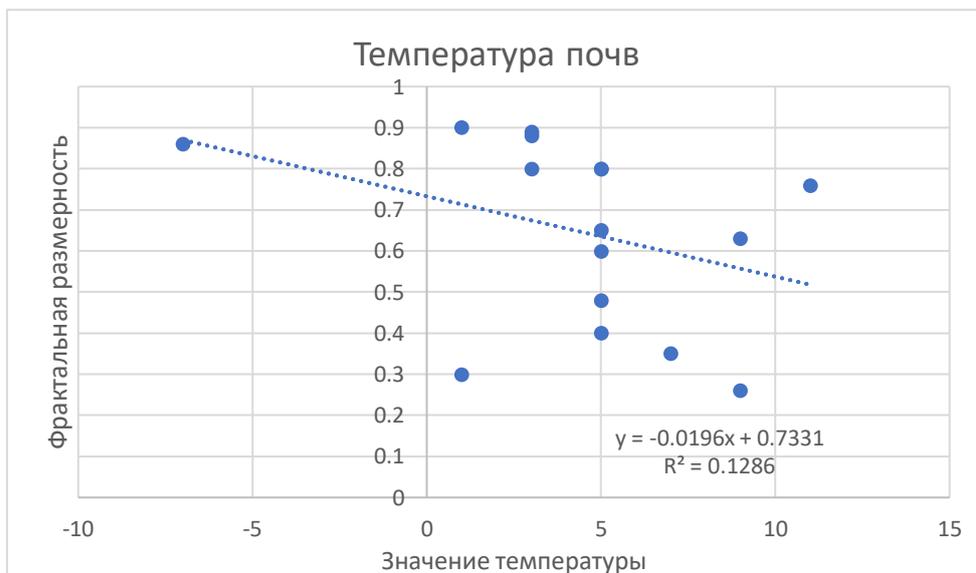


Рисунок 10 – График зависимости фрактальной размерности подъема половодья от температуры почвы.

По данным графиков были получены коэффициенты корреляции.

Таблица 4 - Сводная таблица коэффициентов корреляции.

	R
Подъем	0.583
Спад	0.359

Коэффициент корреляции показывает какая связь между данными величинами. Для относительно небольшого числа точек получены

однозначные однонаправленные связи с коэффициентами корреляции между данными: для подъема половодья коэффициент равняется 0.583, а для спада половодья коэффициент равняется 0.359.

Относительная влажность

Данные по относительной влажности были взяты из СП 131.13330.2018. Так как карта по относительной влажности в СНиПе не прилагается, то данные сразу представлены в сводной таблице.

Таблица 5 – Сводная таблица распределения относительной влажности от фрактальной размерности.

Номер поста на карте	Относительная влажность воздуха (%)	Фрактальная размерность	
		Подъем	Спад
1	78.5	0.60	0.40
2	81	0.61	0.76
3	84	0.51	0.26
4	75.5	0.31	0.35
5	77.5	0.23	0.48
6	74.5	0.60	0.80
7	77	0.65	0.88
8	68.5	0.92	0.90
9	71.5	0.75	0.89
10	71	0.90	0.30
11	75	0.78	0.80
12	78.5	0.44	0.60
13	74.5	0.60	0.65
14	85.5	0.55	0.80
15	81	0.74	0.63

Номер поста на карте	Относительная влажность воздуха (%)	Фрактальная размерность	
		Подъем	Спад
16	67.5	0.92	0.86

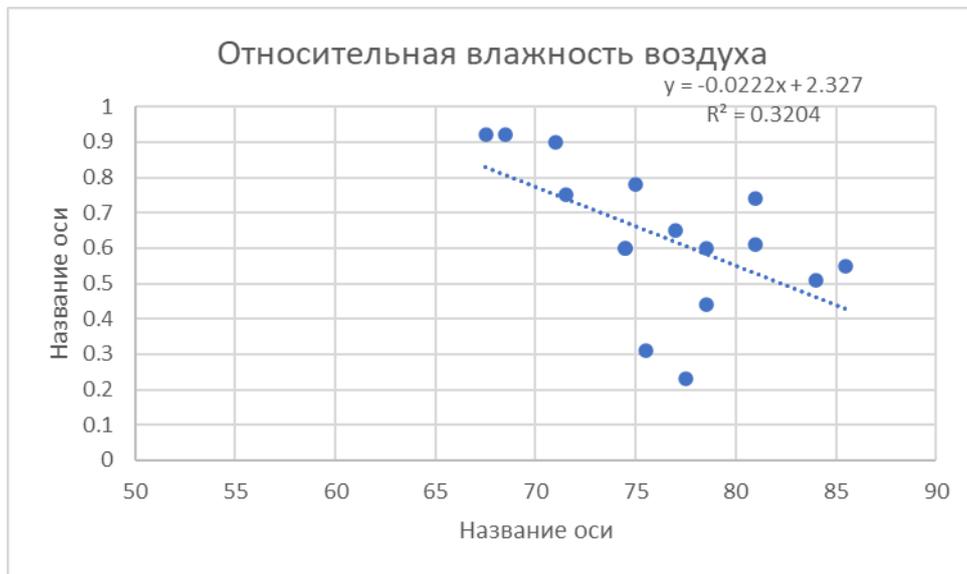


Рисунок 11 – График зависимости фрактальной размерности подъема половодья от относительной влажности воздуха.

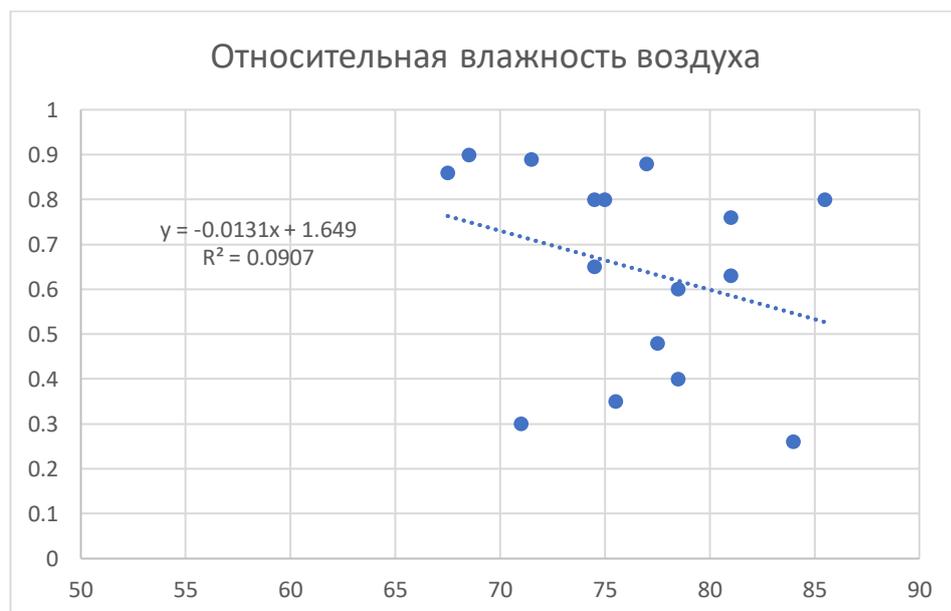


Рисунок 12 – График зависимости фрактальной размерности спада половодья от относительной влажности воздуха.

По данным графиков были получены коэффициенты корреляции.

Таблица 6 – Сводная таблица коэффициентов корреляции.

	R
Подъем	0.566
Спад	0.301

Коэффициент корреляции показывает какая связь между данными величинами. Для относительно небольшого числа точек получены однозначные однонаправленные связи с коэффициентами корреляции между данными: для подъема половодья коэффициент равняется 0.566, а для спада половодья коэффициент равняется 0.301.

Почвы

Данные по температуре почв были взяты с карты почв “Атласа почв Российской Федерации” – Московского государственного университета им. Ломоносова.

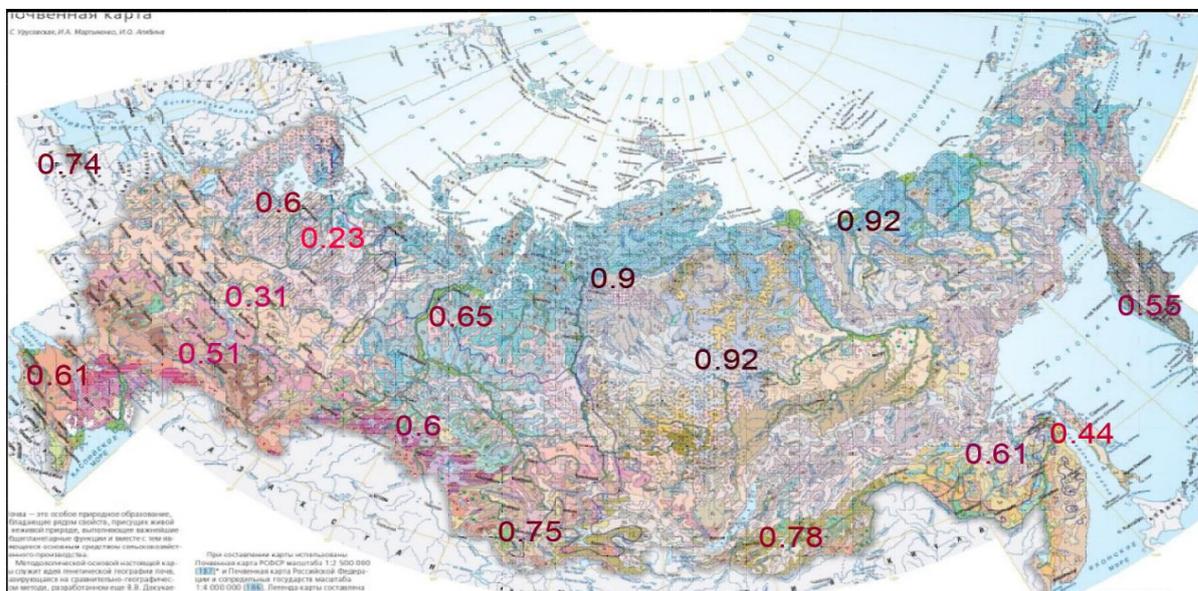


Рисунок 13 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте почв.

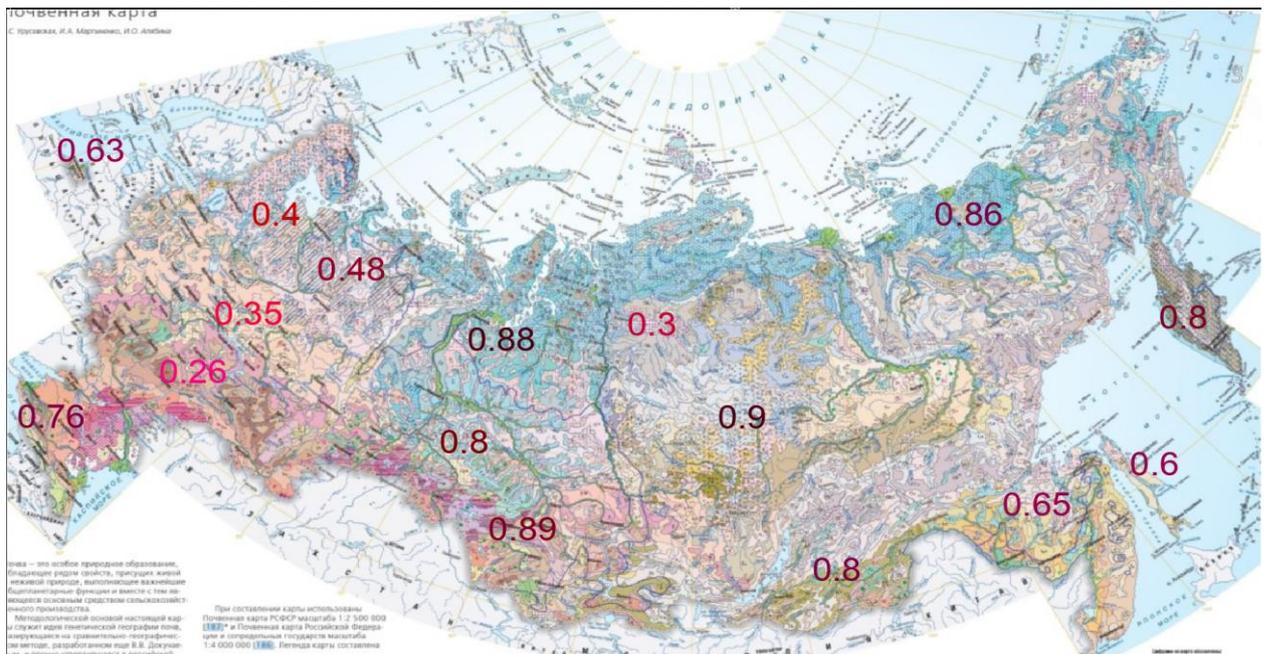


Рисунок 14 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте почв.

Таблица 7 – Сводная таблица распределения почвы от фрактальной размерности.

Номер поста на карте	Фрактальная размерность		Тип почвы
	Подъем	Спад	
1	0.60	0.40	Бореальный пояс
2	0.61	0.76	Почвы горных территорий
3	0.51	0.26	Суббореальный пояс
4	0.31	0.35	Суббореальный пояс
5	0.23	0.48	Бореальный пояс
6	0.60	0.80	Гидроморфные
7	0.65	0.88	Гидроморфные

Номер поста на карте	Фрактальная размерность		Тип почвы
	Подъем	Спад	
8	0.92	0.90	Бореальный пояс
9	0.75	0.89	Бореальный пояс
10	0.90	0.30	Полярный пояс
11	0.78	0.80	Суббореальный пояс
12	0.44	0.60	Гидроморфные
13	0.60	0.65	Бореальный пояс
14	0.55	0.80	Почвообразующая порода
15	0.74	0.63	Бореальный пояс
16	0.92	0.86	Гидроморфные

Для удобства сначала будут рассмотрены фрактальные размерности подъема половодья, а затем размерности спада половодья. При анализе почв подъема можно увидеть, что наибольшая размерность наблюдается у гидроморфных почв и бореального пояса. Наибольшая размерность для европейской территории России наблюдается у почв бореального пояса и равняется 0,74. Наибольшая размерность для азиатской территории России наблюдается у почв бореального пояса и гидроморфных почв, она равняется 0,92. Наименьшая размерность для европейской территории России, принадлежит почвам бореального пояса и составляет 0,23. Наименьшая размерность для почв азиатской территории России, принадлежит гидроморфным почвам и составляет 0,44. При анализе видно, что фрактальная размерность подъема половодья, значительно больше в азиатской части территории России. Анализ спада половодья. При анализе почв спада можно увидеть, что наибольшая размерность наблюдается у почв бореального пояса. Наибольшая размерность для европейской территории России наблюдается у

почв горных территорий и равняется 0,76. Наибольшая размерность для азиатской территории России наблюдается у почв бореального пояса она равняется 0,9. Наименьшая размерность для европейской территории России, принадлежит бореальному поясу и составляет 0,23. Для азиатской территории России, наименьшая размерность, относится к гидроморфным почвам, и равняется 0,3.

Как можно заметить наибольшие фрактальные размерности наблюдаются, в азиатской территории России. Наибольшая средняя размерность наблюдается у гидроморфных почв. Для бореальных почв наблюдается, что без европейской территории средняя фрактальная размерность больше, чем у гидроморфных почв. Можно заметить, что определенный тип почвы, существенно на фрактальную размерность не оказывает влияние, так как, при одном и том же типе почвы мы можем наблюдать и малые, и большие значения фрактальной размерности.

Растительность

Данные по температуре почв были взяты с карты растительности “Атласа почв Российской Федерации” – Московского государственного университета им. Ломоносова.

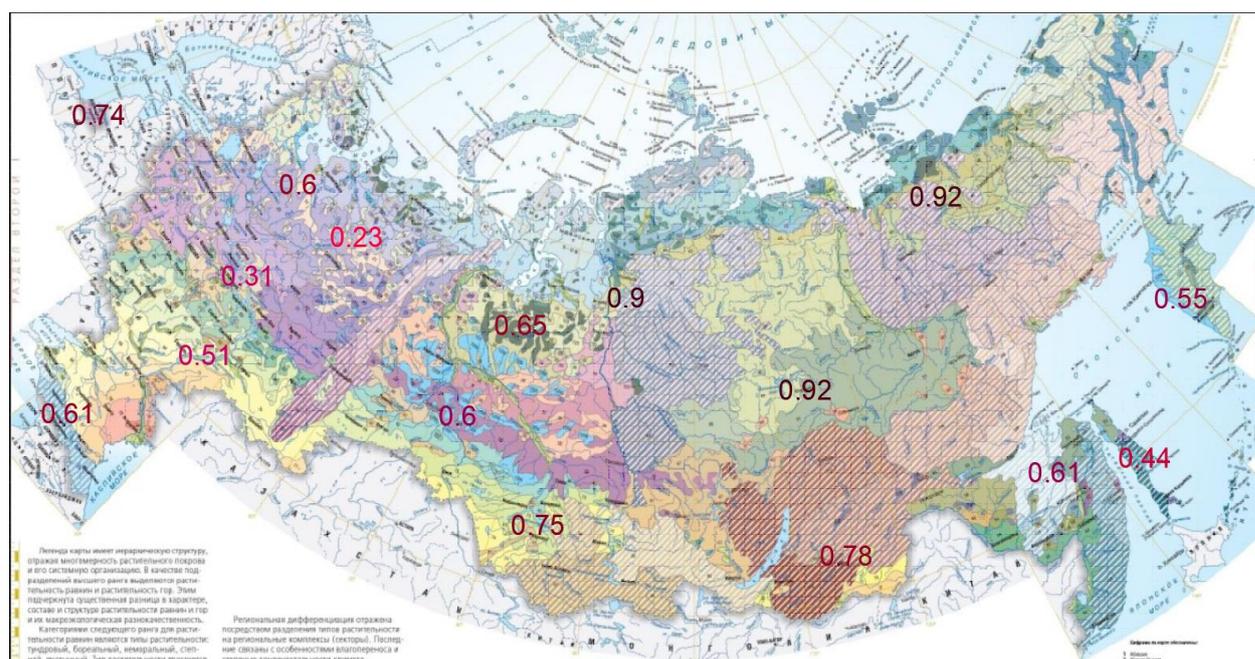


Рисунок 15 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте растительности.

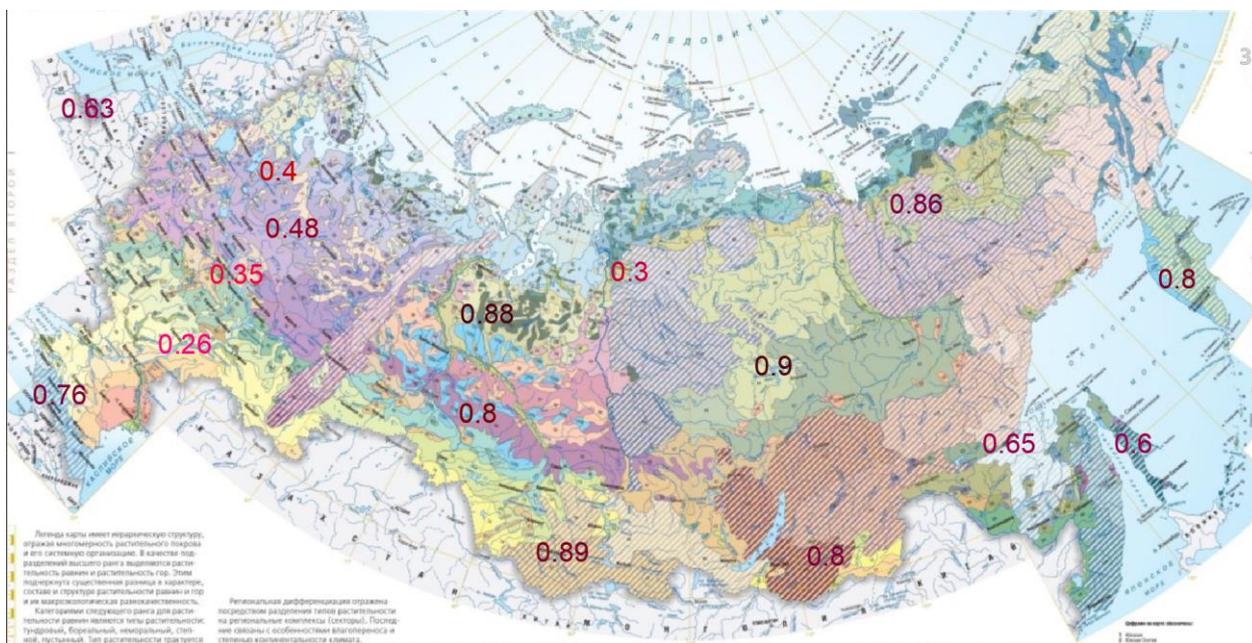


Рисунок 16 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте растительности.

Таблица 8 – Сводная таблица распределения растительности от фрактальной размерности.

Номер поста	Фрактальная размерность		Тип растительности
	Подъем	Спад	
1	0.60	0.40	Бореальная растительность
2	0.61	0.76	Растительность гор
3	0.51	0.26	Степная растительность
4	0.31	0.35	Неморальная растительность

Номер поста	Фрактальная размерность		Тип растительности
	Подъем	Спад	
5	0.23	0.48	Бореальная растительность
6	0.60	0.80	Степная растительность
7	0.65	0.88	Растительность пойм рек
8	0.92	0.90	Бореальная растительность
9	0.75	0.89	Растительность гор
10	0.90	0.30	Бореальная растительность
11	0.78	0.80	Бореальная растительность
12	0.44	0.60	Растительность болот
13	0.60	0.65	Растительность гор
14	0.55	0.80	Растительность болот
15	0.74	0.63	Бореальная растительность
16	0.92	0.86	Бореальная растительность

Для удобства сначала будут рассмотрены фрактальные размерности подъема половодья, а затем размерности спада половодья. Наиболее распространенный тип растительности, это бореальный. Самая большая фрактальная размерность, принадлежит бореальной растительности и составляет 0,92. Самая малая также принадлежит бореальной растительности,

и составляет 0,23. Наибольшая размерность для европейской территории России наблюдается у бореальной растительности и равняется 0,74. Наибольшая размерность для азиатской территории России наблюдается, также у растительности бореального пояса и равняется 0,92. Наименьшая размерность для европейской территории России, принадлежит бореальному поясу и составляет 0,23. Для азиатской территории России, наименьшая размерность, относится к растительности болот, и равняется 0,44. Для спада половодья, ситуация наблюдается несколько иная. Наибольшая размерность для европейской территории России наблюдается у растительности гор и равняется 0,76. Наибольшая размерность для азиатской территории России наблюдается, у бореальной растительности и равняется 0,9. Наименьшая размерность для европейской территории России, принадлежит растительности суббореального пояса и составляет 0,26. Наименьшая размерность для почв азиатской территории России, принадлежит бореальным почвам и составляет 0,3.

Для подъема половодья если взять только водомерные посты, находящиеся, только в азиатской части, видно, что самые высокие размерности наблюдаются у бореальной растительности. Так как одинаковый тип растительности относится и к малым и большим фрактальным размерностям, существенно на фрактальную размерность он не оказывает влияние.

Карст

Данные по температуре почв были взяты с карты “Распределения карстов по Территории России”.

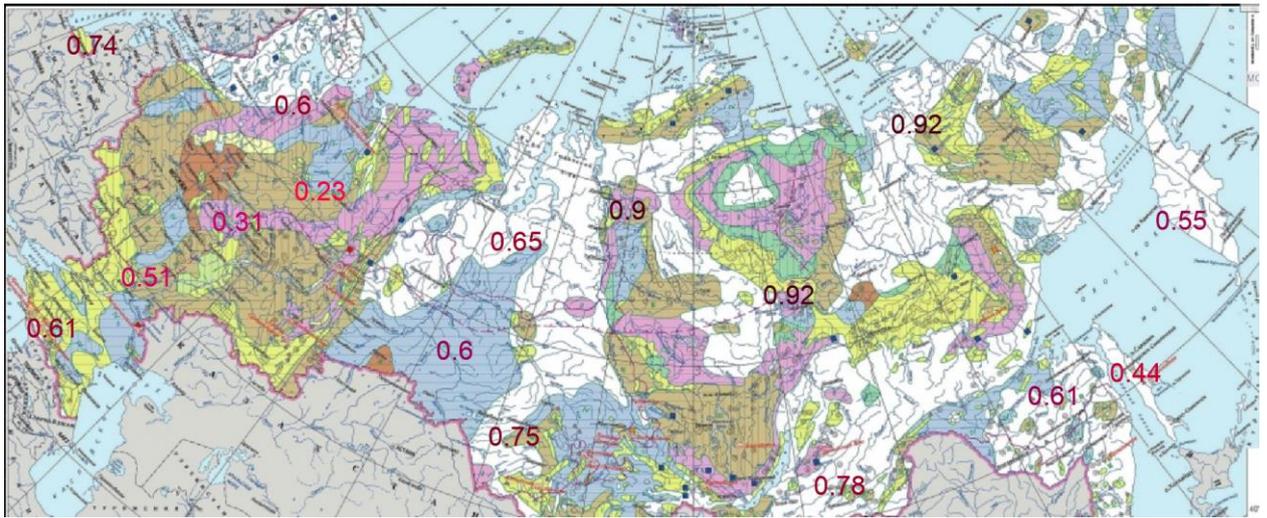


Рисунок 17 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте карстов.

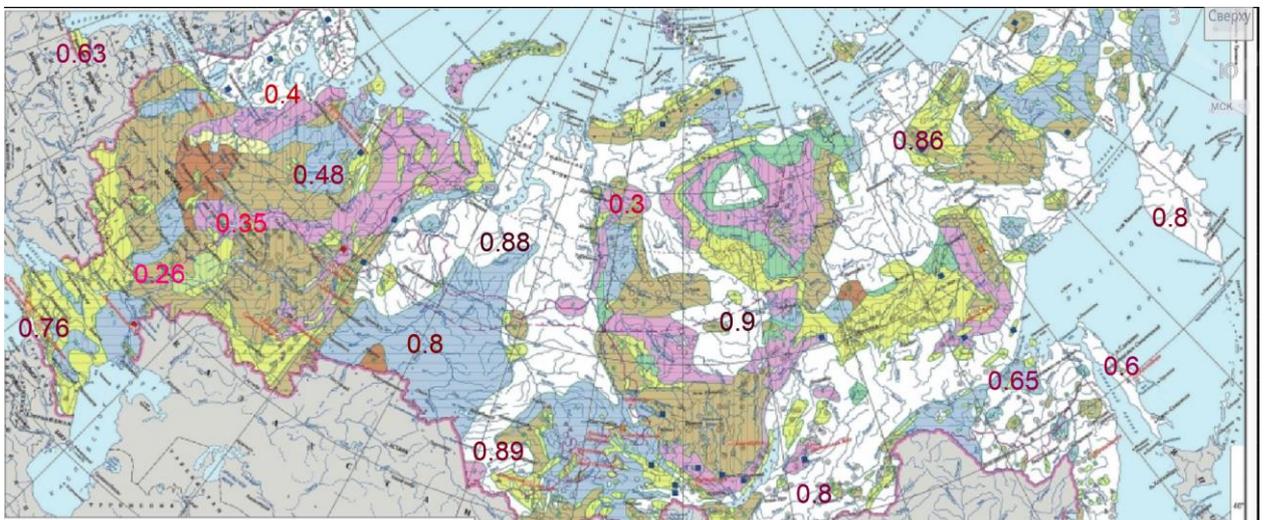


Рисунок 18 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте карстов.

Таблица 9 – Сводная таблица распределения карстов от фрактальной размерности.

Номер поста	Фрактальная размерность		Тип карста		Характер перекрывающих отложений
	Подъем	Спад			
1	0.60	0.40	Карбонатно-сульфатный тип	Известняково-гипсовый	Покрытый

Номер поста	Фрактальная размерность		Тип карста		Характер перекрывающих отложений
	Подъем	Спад			
2	0.61	0.76	Карбонатный	Известняковый	перекрыто-покрытый
3	0.51	0.26	Карбонатный	Известняковый	покрытый
4	0.31	0.35	Терригенно-карбонатный тип	Терригенно-известняковый	покрытый
5	0.23	0.48	Терригенно-карбонатный тип	Терригенно-известняковый	перекрыто-покрытый
6	0.60	0.80	Карбонатно-терригенный тип	известняково-терригенный	перекрыто-покрытый
7	0.65	0.88	отсутствие		
8	0.92	0.90	Карбонатный	меловой	покрытый
9	0.75	0.89	Карбонатный тип	известняковый	перекрыто-покрытый
10	0.90	0.30	Карбонатно-терригенный тип	Известняково-терригенный	перекрыто-покрытый
11	0.78	0.80	Отсутствует		
12	0.44	0.60	Карбонатный	Известняковый	

Номер поста	Фрактальная размерность		Тип карста		Характер перекрывающих отложений
	Подъем	Спад			
13	0.60	0.65	Отсутствует		
14	0.55	0.80	Отсутствует		
15	0.74	0.63	Карбонатный	Известняковый	Покрытый
16	0.92	0.86	Отсутствует		

Так как одинаковый тип карстов относится и к малым и большим фрактальным размерностям, на фрактальную размерность он не оказывает существенного влияния.

Многолетняя мерзлота

Данные по многолетней мерзлоте были взяты из СП 115.13330.” СНИП 22-01-95 Геофизика опасных природных воздействий”.

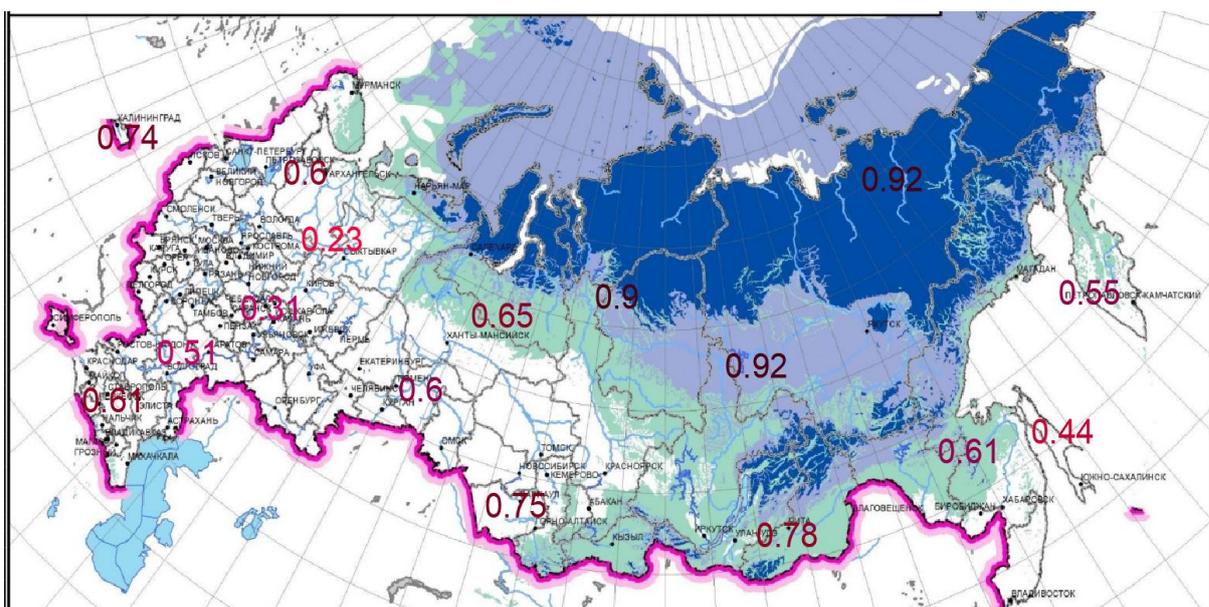


Рисунок 19 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте многолетней мерзлоты.

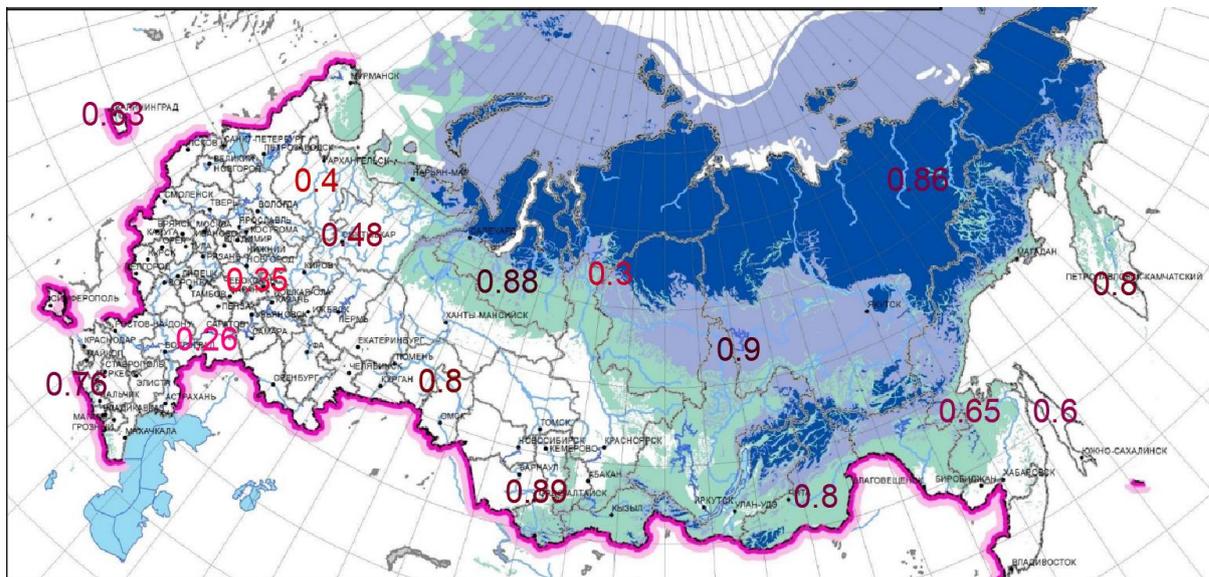


Рисунок 20 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте многолетней мерзлоты.

Таблица 10 – Сводная таблица распределения многолетней мерзлоты от фрактальной размерности

Номер поста	Фрактальная размерность		Многомерзлые грунты
	Подъем	Спад	
1	0.60	0.40	Отсутствие
2	0.61	0.76	Отсутствие
3	0.51	0.26	Отсутствие

Номер поста	Фрактальная размерность		Многомерзлые грунты
	Подъем	Спад	
4	0.31	0.35	Отсутствие
5	0.23	0.48	Отсутствие
6	0.60	0.80	Отсутствие
7	0.65	0.88	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
8	0.92	0.90	Преимущественно сплошное распространение многомерзлых грунтов
9	0.75	0.89	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
10	0.90	0.30	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
11	0.78	0.80	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
12	0.44	0.60	Отсутствие
13	0.60	0.65	Несплошное распространение многомерзлых грунтов

Номер поста	Фрактальная размерность		Многомерзлые грунты
	Подъем	Спад	
14	0.55	0.80	Отсутствие
15	0.74	0.63	Отсутствие
16	0.92	0.86	Сплошное распространение многомерзлых грунтов

Для удобства сначала будут рассмотрены фрактальные размерности подъема половодья, а затем размерности спада половодья. Для подъема половодья, прослеживается определенная тенденция. Везде, где прослеживается не сплошное, преимущественно сплошное и сплошное распространение многомерзлых грунтов, фрактальная размерность не опускается ниже 0,6, и именно на территориях, где присутствуют многомерзлые грунты, наблюдаются самые высокие фрактальные размерности. Для спада половодья, картина наблюдается практически такой же, за исключением единственного поста.

Проанализировав физико-географические характеристики водосборов, можно сделать предположение, что наибольшее влияние оказывают относительная влажность, температура почв и многолетняя мерзлота. Именно у этих характеристик выявляются явные зависимости с фрактальной размерностью.

Реальный год

После определения зависимостей характеристик фрактальной размерности для типового гидрографа, было решено проанализировать на зависимости выбранный год, с целью нахождения одинаковых закономерностей. Для большинства водосборов был выбран 2021 год.

Исключением являлся водомерный пост р.Курейка – пост. Светлогорск. Так как данные по нему были известны лишь за 2008 год.

Таблица 11 – Значения фрактальной размерности для выбранного года.

Номер	Размерность				Погрешности							
	Выбранный год		Типовой гидрограф		Выбранный год(подъем)		Выбранный год(спад)		Типовой гидрограф(подъем)		Типовой гидрограф(спад)	
	Подъем	Спад	Подъем	Спад	10%	-10%	10%	-10%	10%	-10%	10%	-10%
1	0.46	0.7	0.6	0.4	0.51	0.41	0.77	0.63	0.66	0.54	0.44	0.36
2	0.87	0.9	0.61	0.76	0.96	0.78	0.99	0.81	0.67	0.55	0.84	0.68
3	0.56	0.26	0.51	0.26	0.62	0.50	0.29	0.23	0.56	0.46	0.29	0.23
4	0.76	0.18	0.31	0.35	0.84	0.68	0.20	0.16	0.34	0.28	0.39	0.32
5	0.56	0.24	0.23	0.48	0.62	0.50	0.26	0.22	0.25	0.21	0.53	0.43
6	0.81	0.39	0.6	0.8	0.89	0.73	0.43	0.35	0.66	0.54	0.88	0.72
7	0.44	0.46	0.65	0.88	0.48	0.40	0.51	0.41	0.72	0.59	0.97	0.79
8	0.85	0.35	0.92	0.9	0.94	0.77	0.39	0.32	1.01	0.83	0.99	0.81
9	0.71	1.02	0.75	0.89	0.78	0.64	1.12	0.92	0.83	0.68	0.98	0.80
10	0.9	0.3	0.9	0.3	0.99	0.81	0.33	0.27	0.99	0.81	0.33	0.27
11	0.95	0.9	0.78	0.8	1.05	0.86	0.99	0.81	0.86	0.70	0.88	0.72
12	0.62	0.58	0.44	0.6	0.68	0.56	0.64	0.52	0.48	0.40	0.66	0.54
13	0.36	0.6	0.6	0.65	0.40	0.32	0.66	0.54	0.66	0.54	0.72	0.59
14	0.42	0.44	0.55	0.8	0.46	0.38	0.48	0.40	0.61	0.50	0.88	0.72
15	1.01	0.42	0.74	0.63	1.11	0.91	0.46	0.38	0.81	0.67	0.69	0.57
16	0.91	0.16	0.92	0.86	1.00	0.82	0.18	0.14	1.01	0.83	0.95	0.77

Температура почвы

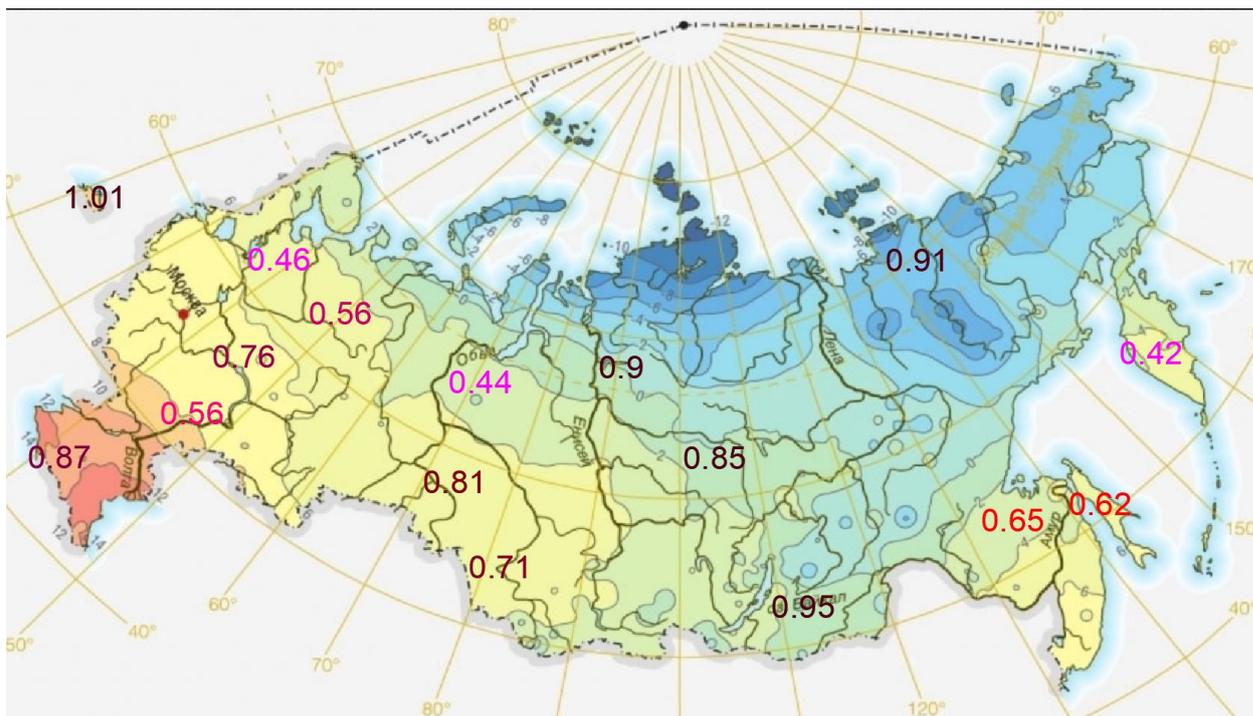


Рисунок 21 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте температуры почв.

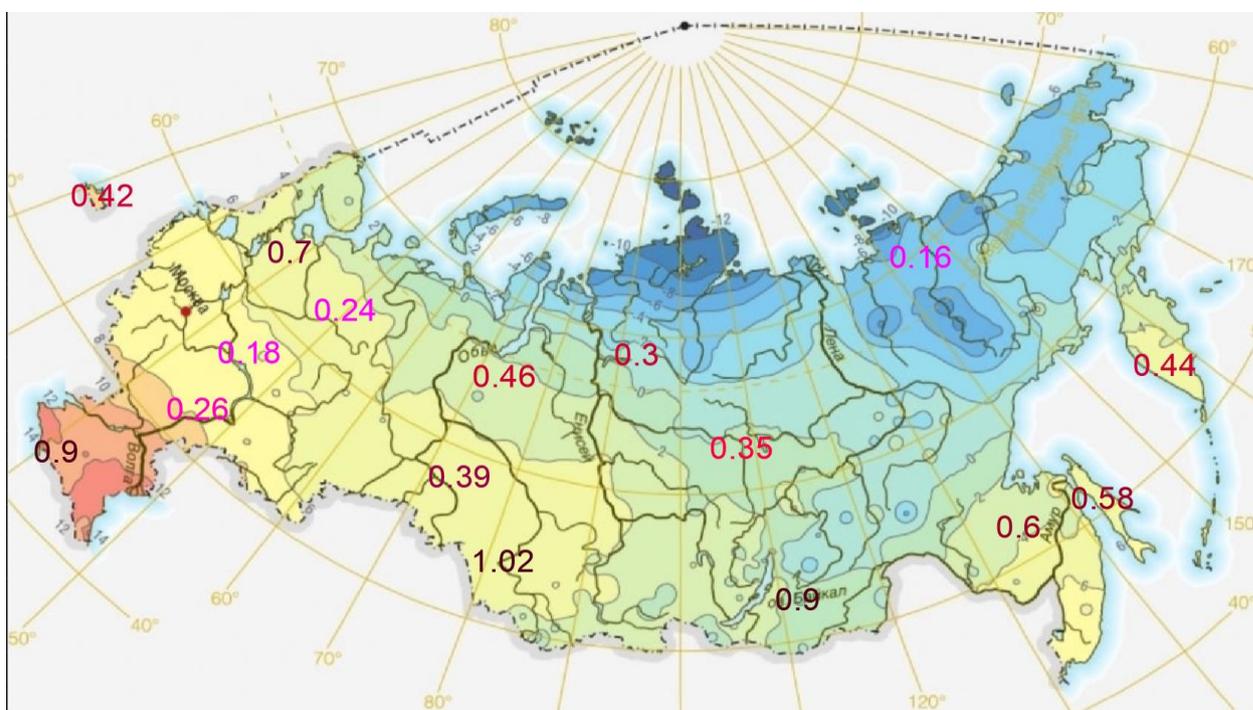


Рисунок 22 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте температуры почв.

Таблица 11 – Сводная таблица распределения температуры почвы от фрактальной размерности

Номер поста на карте	Относительная влажность воздуха (%)	Фрактальная размерность	
		Подъем	Спад
1	78.5	0.46	0.7
2	81	0.87	0.9
3	84	0.56	0.26
4	75.5	0.76	0.18
5	77.5	0.56	0.24
6	74.5	0.81	0.39
7	77	0.44	0.46
8	68.5	0.85	0.35
9	71.5	0.71	1.02
10	71	0.9	0.3
11	75	0.95	0.9
12	78.5	0.62	0.58
13	74.5	0.36	0.6
14	85.5	0.42	0.44
15	81	1.01	0.42
16	67.5	0.91	0.16

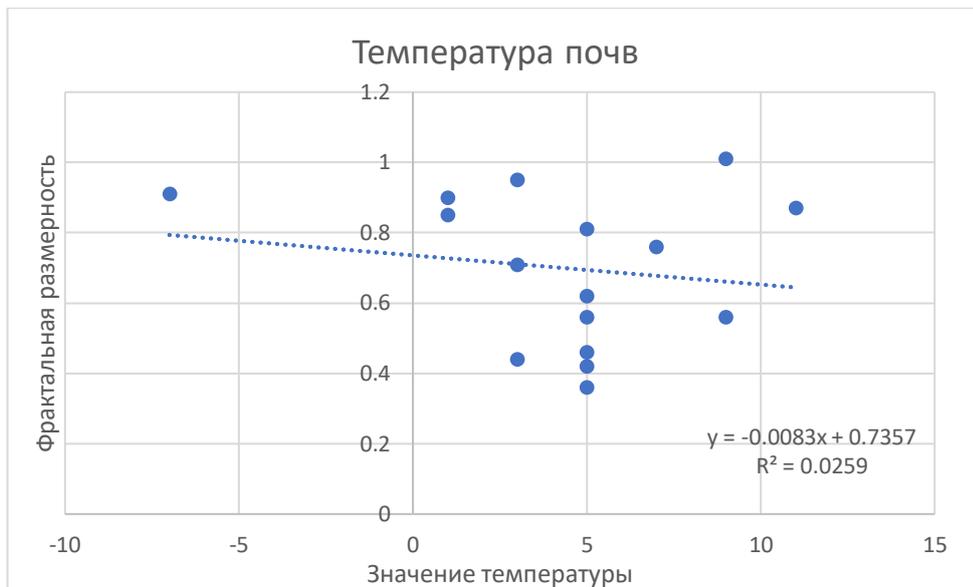


Рисунок 23 – График зависимости фрактальной размерности подъема половодья от температуры почвы.

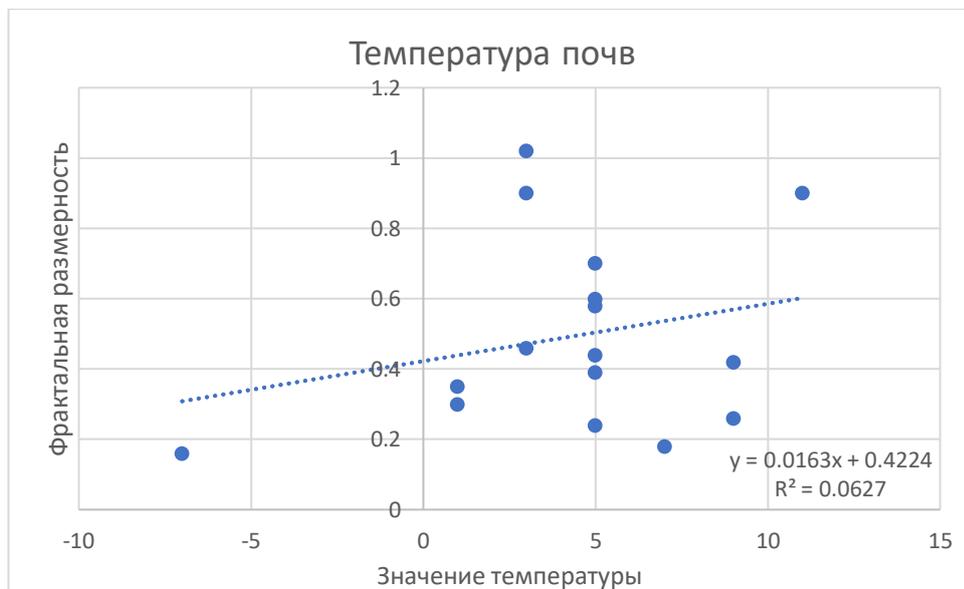


Рисунок 24 – График зависимости фрактальной размерности спада половодья от температуры почвы.

По данным графиков были получены коэффициенты корреляции.

Таблица 12 – Сводная таблица коэффициентов корреляции.

	R
Подъем	0.16
Спад	0.25

Коэффициент корреляции показывает какая связь между данными величинами. Для относительно небольшого числа точек получены однозначные однонаправленные связи с коэффициентами корреляции между данными: для подъема половодья коэффициент равняется 0.16, а для спада половодья коэффициент равняется 0.25.

Относительная влажность

Таблица 13 – Сводная таблица распределения относительной влажности от фрактальной размерности.

Номер поста на карте	Относительная влажность воздуха (%)	Фрактальная размерность	
		Подъем	Спад
1	78.5	0.46	0.7
2	81	0.87	0.9
3	84	0.56	0.26
4	75.5	0.76	0.18
5	77.5	0.56	0.24
6	74.5	0.81	0.39
7	77	0.44	0.46
8	68.5	0.85	0.35
9	71.5	0.71	1.02
10	71	0.9	0.3

11	75	0.95	0.9
12	78.5	0.62	0.58
13	74.5	0.36	0.6
14	85.5	0.42	0.44
15	81	1.01	0.42
16	67.5	0.91	0.16

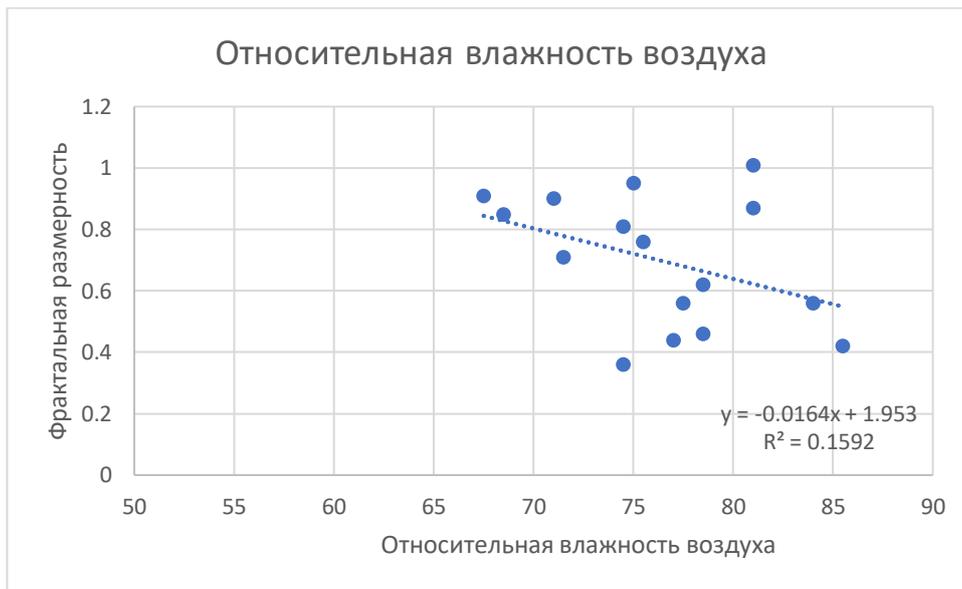


Рисунок 25 – График зависимости фрактальной размерности подъема половодья от относительной влажности воздуха.

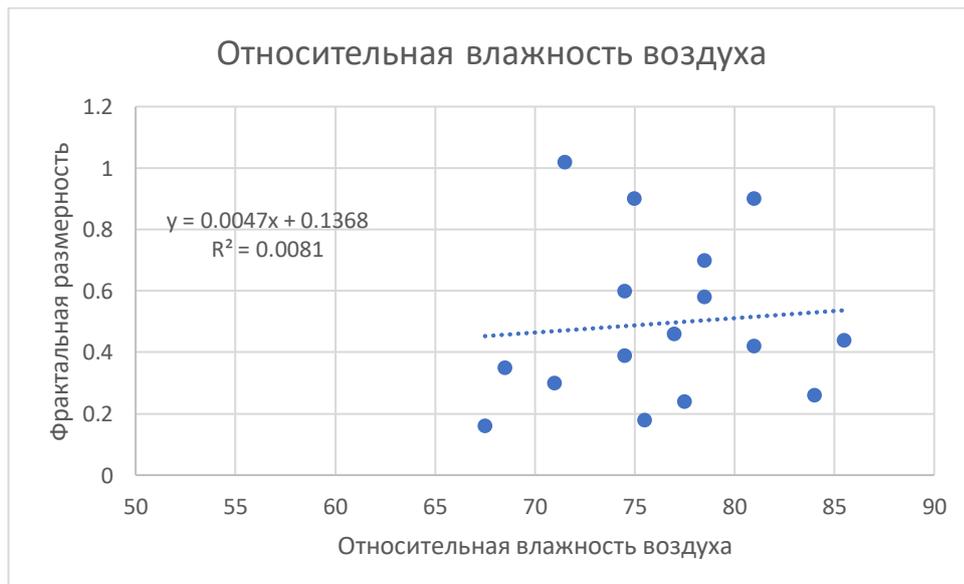


Рисунок 26 – График зависимости фрактальной размерности спада половодья от относительной влажности воздуха.

По данным графиков были получены коэффициенты корреляции.

Таблица 14 – Сводная таблица коэффициентов корреляции.

	R
Подъем	0.40
Спад	0.09

Коэффициент корреляции показывает какая связь между данными величинами. Для относительно небольшого числа точек получены однозначные однонаправленные связи с коэффициентами корреляции между данными: для подъема половодья коэффициент равняется 0.40, а для спада половодья коэффициент равняется 0.09.

Почвы

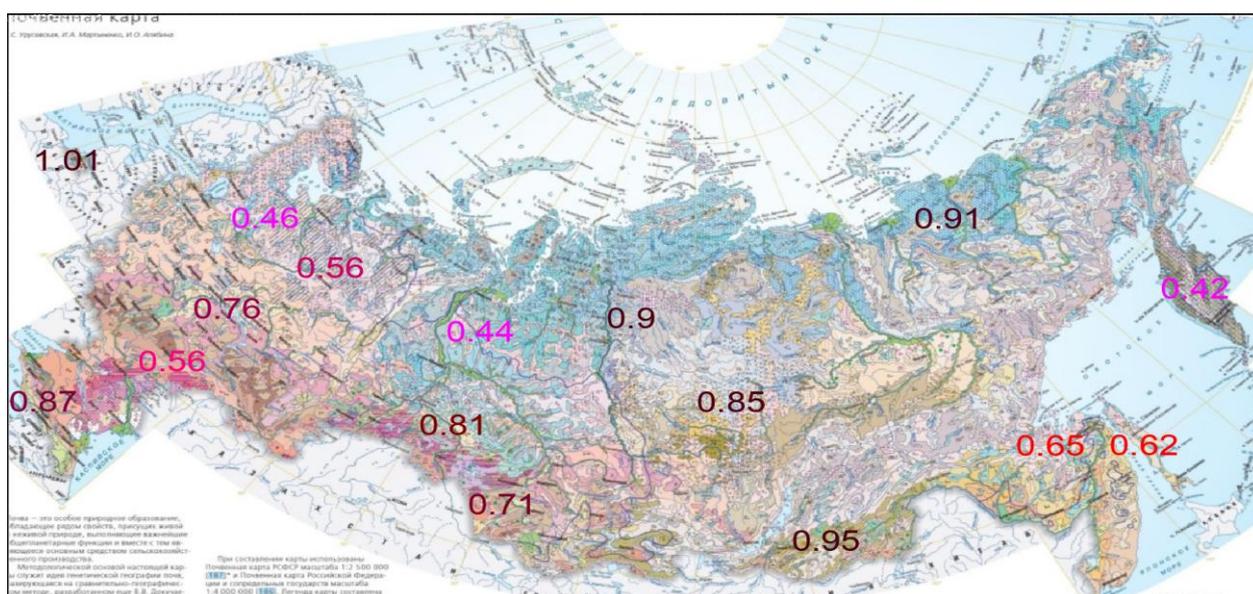


Рисунок 27 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте почв.

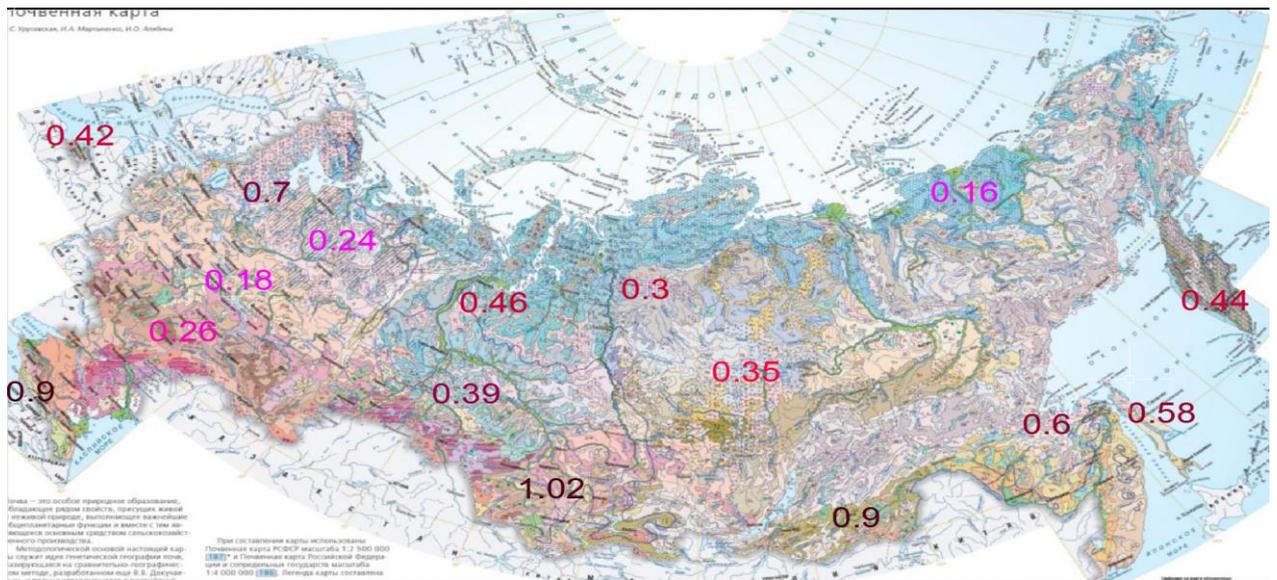


Рисунок 28 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте почв.

Таблица 15 – Сводная таблица распределения почвы от фрактальной размерности

Номер поста на карте	Фрактальная размерность		Тип почвы
	Подъем	Спад	
1	0.46	0.7	Бореальный пояс
2	0.87	0.9	Почвы горных территорий
3	0.56	0.26	Суббореальный пояс
4	0.76	0.18	Суббореальный пояс
5	0.56	0.24	Бореальный пояс
6	0.81	0.39	Гидроморфные
7	0.44	0.46	Гидроморфные

8	0.85	0.35	Бореальный пояс
9	0.71	1.02	Бореальный пояс
10	0.9	0.3	Полярный пояс
11	0.95	0.9	Суббореальный пояс
12	0.62	0.58	Гидроморфные
13	0.36	0.6	Бореальный пояс
14	0.42	0.44	Почвообразующая порода
15	1.01	0.42	Бореальный пояс
16	0.91	0.16	Гидроморфные

Для удобства сначала будут рассмотрены фрактальные размерности подъема половодья, а затем размерности спада половодья. Наибольшая размерность для европейской территории России наблюдается у почв бореального пояса и равняется 1,01. Наибольшая размерность для азиатской территории России наблюдается у почв суббореального пояса, она равняется 0,92. Наименьшая размерность для европейской территории России, принадлежит почвам бореального пояса и составляет 0,46. Наименьшая размерность для почв азиатской территории России, принадлежит бореальному поясу и составляет 0,36. При анализе видно, что фрактальная размерность подъема половодья, значительно больше в азиатской части территории России. Анализ спада половодья. При анализе почв спада можно увидеть, что наибольшая размерность наблюдается у почв бореального пояса. Наибольшая размерность для европейской территории России наблюдается у почв горных территорий и равняется 0,9. Наибольшая размерность для азиатской территории России наблюдается у почв бореального пояса она равняется 1,02. Наименьшая размерность для европейской территории России, принадлежит суббореальному поясу и составляет 0,18. Для азиатской

территории России, наименьшая размерность, относиться к гидроморфным почвам, и равняется 0,16.

Как можно заметить наибольшие фрактальные размерности наблюдаются, в азиатской территории России. Можно заметить, что определенный тип почвы, существенно на фрактальную размерность не оказывает влияние, так как, при одном и том же типе почвы мы можем наблюдать и малые, и большие значения фрактальной размерности.

Растительность

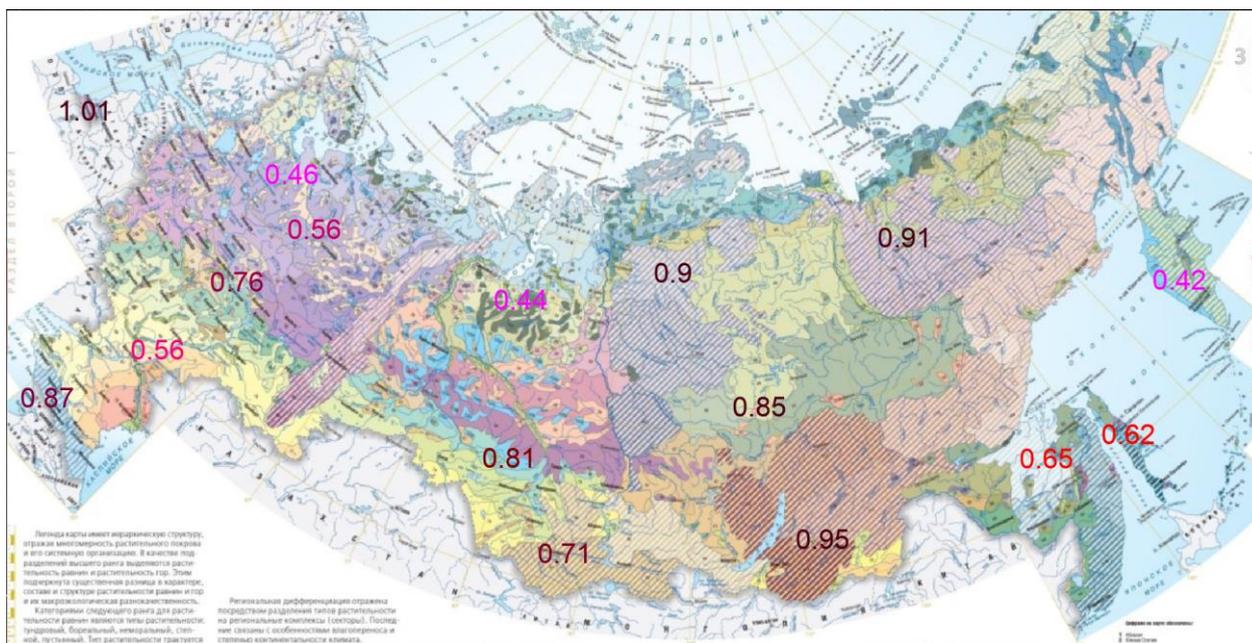


Рисунок 29 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте растительности.

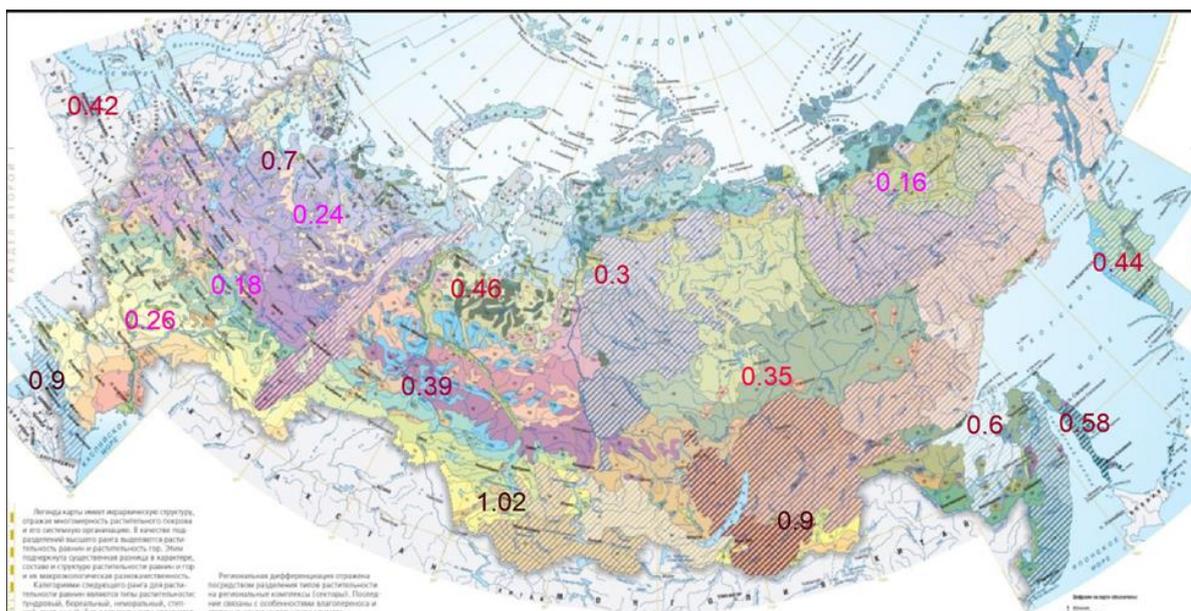


Рисунок 30 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте растительности.

Таблица 16 – Сводная таблица распределения растительности от фрактальной размерности.

Номер поста	Фрактальная размерность		Тип растительности
	Подъем	Спад	
1	0.46	0.7	Бореальная растительность
2	0.87	0.9	Растительность гор
3	0.56	0.26	Степная растительность
4	0.76	0.18	Неморальная растительность
5	0.56	0.24	Бореальная растительность
6	0.81	0.39	Степная растительность

Номер поста	Фрактальная размерность		Тип растительности
	Подъем	Спад	
7	0.44	0.46	Растительность пойм рек
8	0.85	0.35	Бореальная растительность
9	0.71	1.02	Растительность гор
10	0.9	0.3	Бореальная растительность
11	0.95	0.9	Бореальная растительность
12	0.62	0.58	Растительность болот
13	0.36	0.6	Растительность гор
14	0.42	0.44	Растительность болот
15	1.01	0.42	Бореальная растительность
16	0.91	0.16	Бореальная растительность

Для удобства сначала будут рассмотрены фрактальные размерности подъема половодья, а затем размерности спада половодья. Самая большая фрактальная размерность, принадлежит бореальной растительности и составляет 1,01. Самая малая также принадлежит бореальной растительности, и составляет 0,36. Наибольшая размерность для европейской территории России наблюдается у бореальной растительности и равняется 1,01. Наибольшая размерность для азиатской территории России наблюдается, также у растительности бореального пояса и равняется 0,95. Наименьшая размерность для европейской территории России, принадлежит бореальной растительности и составляет 0,46. Для азиатской территории России,

наименьшая размерность, относиться к растительности гор, и равняется 0,36. Для спада половодья, ситуация наблюдается несколько иная. Наибольшая размерность для европейской территории России наблюдается у растительности гор и равняется 0,9. Наибольшая размерность для азиатской территории России наблюдается, у растительности гор и равняется 1,02. Наименьшая размерность для европейской территории России, принадлежит неморальной растительности и составляет 0,18. Наименьшая размерность для почв азиатской территории России, принадлежит бореальным почвам и составляет 0,16.

Так как одинаковый тип растительности относиться и к малым и большим фрактальным размерностям, существенно на фрактальную размерность он не оказывает влияние.

Карта

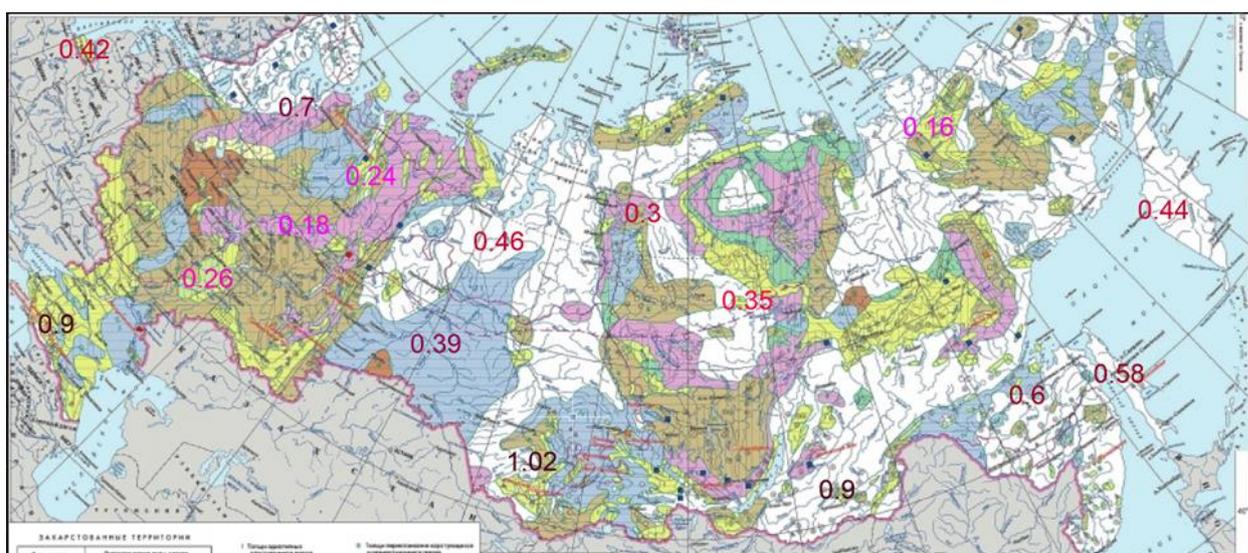


Рисунок 31 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте карстов.

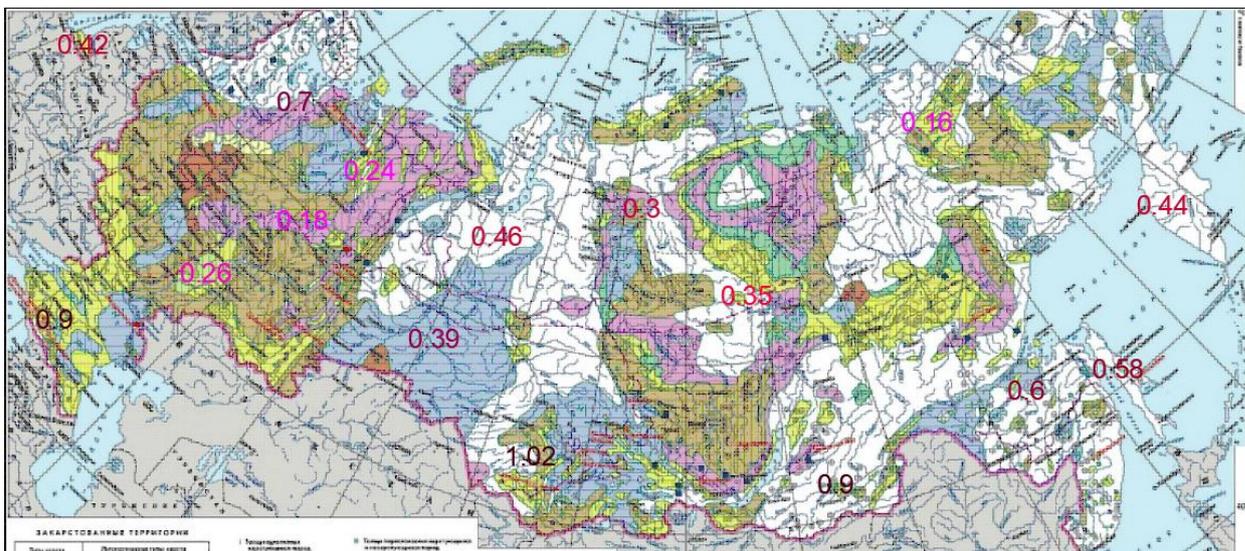


Рисунок 32 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте карстов.

Таблица 16 – Сводная таблица распределения растительности от фрактальной размерности.

с	Фрактальная размерность		Тип карста		Характер перекрывающих отложений
	Подъем	Спад			
1	0.46	0.7	Карбонатно-сульфатный тип	Известняково-гипсовый	Покрытый
2	0.87	0.9	Карбонатный	Известняковый	перекрыто-покрытый
3	0.56	0.26	Карбонатный	Известняковый	покрытый
4	0.76	0.18	Терригенно-карбонатный тип	Терригенно-известняковый	покрытый
5	0.56	0.24	Терригенно-карбонатный тип	Терригенно-известняковый	перекрыто-покрытый
6	0.81	0.39	Карбонатно-терригенный тип	известняково-терригенный	перекрыто-покрытый
7	0.44	0.46	Отсутствует		

Номер поста	Фрактальная размерность		Тип карста		Характер перекрывающихся отложений
	Подъем	Спад			
8	0.85	0.35	Карбонатный	меловой	покрытый
9	0.71	1.02	Карбонатный тип	известняковый	перекрыто-покрытый
10	0.9	0.3	Карбонатно-терригенный тип	Известняково-терригенный	перекрыто-покрытый
11	0.95	0.9	Отсутствует		
12	0.62	0.58	Карбонатный	Известняковый	
13	0.36	0.6	Отсутствует		
14	0.42	0.44	Отсутствует		
15	1.01	0.42	Карбонатный	Известняковый	Покрытый
16	0.91	0.16	Отсутствует		

Так как одинаковый тип карстов относится и к малым и большим фрактальным размерностям, на фрактальную размерность он не оказывает существенного влияния.

Многолетняя мерзлота

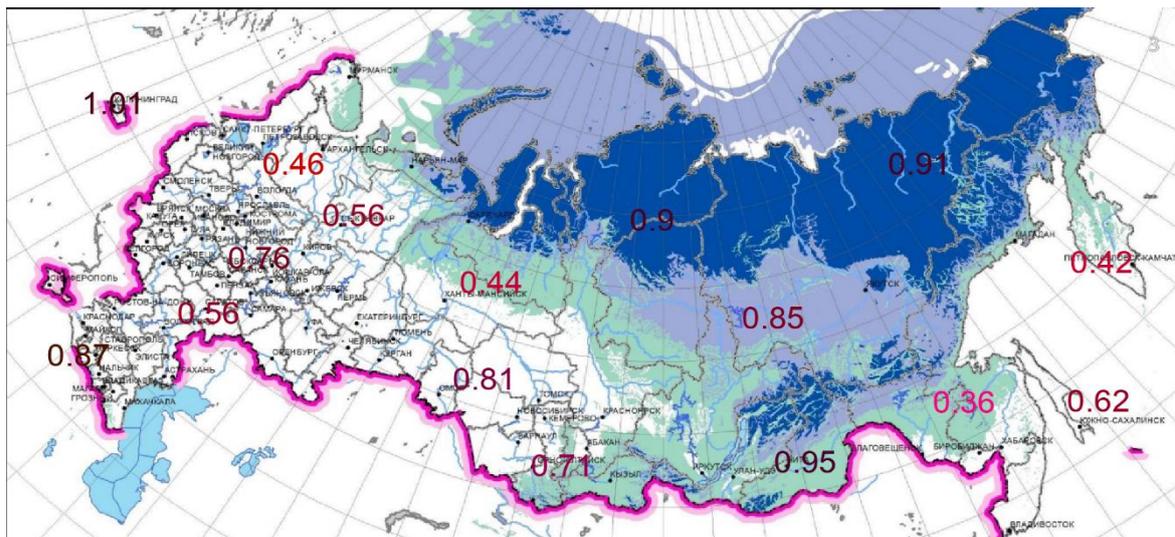


Рисунок 33 – Распределение фрактальной размерности подъема половодья на карте многолетней мерзлоты.



Рисунок 34 – Распределение фрактальной размерности спада половодья на карте многолетней мерзлоты.

Таблица 17 – Сводная таблица распределения мерзлых грунтов и фрактальной размерности

Номер поста	Фрактальная размерность		Многомерзлые грунты
	Подъем	Спад	
1	0.46	0.7	Отсутствие
2	0.87	0.9	Отсутствие
3	0.56	0.26	Отсутствие
4	0.76	0.18	Отсутствие
5	0.56	0.24	Отсутствие
6	0.81	0.39	Отсутствие
7	0.44	0.46	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
8	0.85	0.35	Преимущественно сплошное распространение многомерзлых грунтов
9	0.71	1.02	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
10	0.9	0.3	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
11	0.95	0.9	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
12	0.62	0.58	Отсутствие
13	0.36	0.6	Несплошное распространение многомерзлых грунтов
14	0.42	0.44	Отсутствие
15	1.01	0.42	Отсутствие
16	0.91	0.16	Сплошное распространение многомерзлых грунтов

Для удобства сначала будут рассмотрены фрактальные размерности подъема половодья, а затем размерности спада половодья. Для подъема половодья, прослеживается определенная тенденция. Везде, где более сплошное распространение многолетнемерзлых грунтов, фрактальная размерность имеет самые высокие числовые показатели. Для спада половодья, наблюдается противоположная картина.

Так как анализ проводился только для одного года, то говорить о каких-то однозначных зависимостях не следует, но видно, что зависимости от многолетней мерзлоты и относительной влажности воздуха есть для подъема половодья, а для спада от температуры почвы.

Итоговый вывод по фрактальной размерности на всей территории РФ.

При сравнении результатов, полученных по типовому гидрографу и реальному году видно, что совпадение происходит в нескольких характеристиках. Проанализировав их, можно сделать предположение, что фрактальная размерность подъема половодья имеет зависимость от температуры почв и относительной влажности, ввиду высоких показателей коэффициента корреляции, и многолетней мерзлоты, так как показатели фрактальной размерности имеют повышенные показатели в этих районах. По спаду половодья ситуация не такая однозначная. Коэффициенты корреляции не являются такими же большими как на спаде, это можно объяснить выбранным годом, и большим отклонением его гидрографа от типового.

Анализ рек Северо-Западного региона.

Для подтверждения данной теории были взяты 47 постов относящиеся к северо-западному УГМС, по каждому водомерному посту построены типовые гидрографы и определены фрактальные размерности для периода подъема и спада.

Таблица 18 – Значение фрактальной размерности для рек северо-запада.

Река	Номер на карте	Фрактальная размерность подъема			Фрактальная размерность спада			Площадь водосбор
		Подъем	10%	-10%	Спад	10%	-10%	
Шешупе-долгое	1	0.66	0.73	0.59	0.64	0.70	0.58	5830
Ангарпа-берестово	2	0.65	0.72	0.59	0.64	0.70	0.58	2460
Лава-Роднички	3	1.16	1.28	1.04	0.94	1.03	0.85	7020
Преголя-Черняховск	4	0.49	0.54	0.44	0.78	0.86	0.70	5210
Преголя-Гвардейск	5	0.42	0.46	0.38	0.63	0.69	0.57	13600
Сороть-Осинкино	6	0.6	0.66	0.54	0.81	0.89	0.73	3170
Великая-Опочка	7	0.62	0.68	0.56	0.71	0.78	0.64	3500
Великая-Гуйтово	8	0.63	0.69	0.57	0.79	0.87	0.71	13400
Великая-Пятново	9	0.84	0.92	0.76	0.76	0.84	0.68	20000
Утроя-Большая губа(Малая губа)	10	0.63	0.69	0.57	0.76	0.84	0.68	2970
Череха-Крякуша	11	0.49	0.54	0.44	0.37	0.41	0.33	2300
Плюсса-Брод	12	0.8	0.88	0.72	0.39	0.43	0.35	5090
Луга-Луга	13	0.67	0.74	0.60	0.55	0.61	0.50	2330
Луга-Толмачево	14	0.44	0.48	0.40	0.38	0.42	0.34	6350
Луга-Кингисепп	15	0.4	0.44	0.36	0.6	0.66	0.54	12800
Шуя-Бесовец	16	0.75	0.83	0.68	0.75	0.83	0.68	9560
Сяньга-Чуралахта	17	0.8	0.88	0.72	0.86	0.95	0.77	1610
Суна-Поросозеро	18	0.74	0.81	0.67	0.7	0.77	0.63	3370
Суна-Кивач	19	0.73	0.80	0.66	0.67	0.74	0.60	6410
Водла-Водла	20	0.81	0.89	0.73	0.79	0.87	0.71	8010
Водла-Пудож	21	0.63	0.69	0.57	0.64	0.70	0.58	12000
Оять-Акулова гора	22	0.71	0.78	0.64	0.58	0.64	0.52	4830
Паша-Ниже. Д.Дуброва	23	0.74	0.81	0.67	0.63	0.69	0.57	3910
Паша-Часовенское	24	0.81	0.89	0.73	0.77	0.85	0.69	5710
Капша-Еремина	25	0.75	0.83	0.68	0.64	0.70	0.58	1560
Мста-Пос.Потерпилицы	26	0.8	0.88	0.72	0.7	0.77	0.63	13200
Мста-Девкино	27	0.47	0.52	0.42	0.69	0.76	0.62	22500
Уверь-Меглицы	28	0.88	0.97	0.79	0.75	0.83	0.68	1750
Пола-Налючи	29	0.3	0.33	0.27	0.58	0.64	0.52	6450
Ловать-Великие Луки	30	0.76	0.84	0.68	0.75	0.83	0.68	3270
Ловать-Холм	31	1.01	1.11	0.91	0.9	0.99	0.81	14700
Шелонь-Порхов	32	0.46	0.51	0.41	0.37	0.41	0.33	2950
Шелонь-Заполье	33				0.79	0.87	0.71	6820
Пчѣжва-Белая	34	0.68	0.75	0.61	0.59	0.65	0.53	1690
Тихвинка-Горелуха	35	0.42	0.46	0.38	0.5	0.55	0.45	2070
Янис Йоки-Пос.Хямекоски	36	0.81	0.89	0.73	0.89	0.98	0.80	3650
Тулема-Йоки-Салми	37	0.78	0.86	0.70	0.8	0.88	0.72	1700
Олонка-Олонец	38	0.72	0.79	0.65	0.72	0.79	0.65	2120
Лендерка-Лендеры	39	0.69	0.76	0.62	0.8	0.88	0.72	4000
Ковда(софьянга)-Софпорог	40	0.62	0.68	0.56	0.82	0.90	0.74	3520
Чирко-Кемь - Андропова Гора	41	0.79	0.87	0.71	0.74	0.81	0.67	2730
Чирко-Кемь - Юшкозеро	42	0.81	0.89	0.73	0.73	0.80	0.66	8220
Лужма - Ильино гора	43	0.7	0.77	0.63	0.79	0.87	0.71	3480
Волома - Венигоро	44	0.8	0.88	0.72	0.75	0.83	0.68	1860
Выг - Огорельши	45	0.74	0.81	0.67	0.57	0.63	0.51	2210
Онда - Пос.Лососий порог	46	0.78	0.86	0.70	0.9	0.99	0.81	3360
Сума - Сумский посад	47	0.8	0.88	0.72	0.82	0.90	0.74	1990

Проверку было решено проводить на подъеме половодья. Для этого была составлена карта распределения фрактальной размерности по территории северо-запада. Как шаблон использовалась карта с сайта северо-западного УГМС.

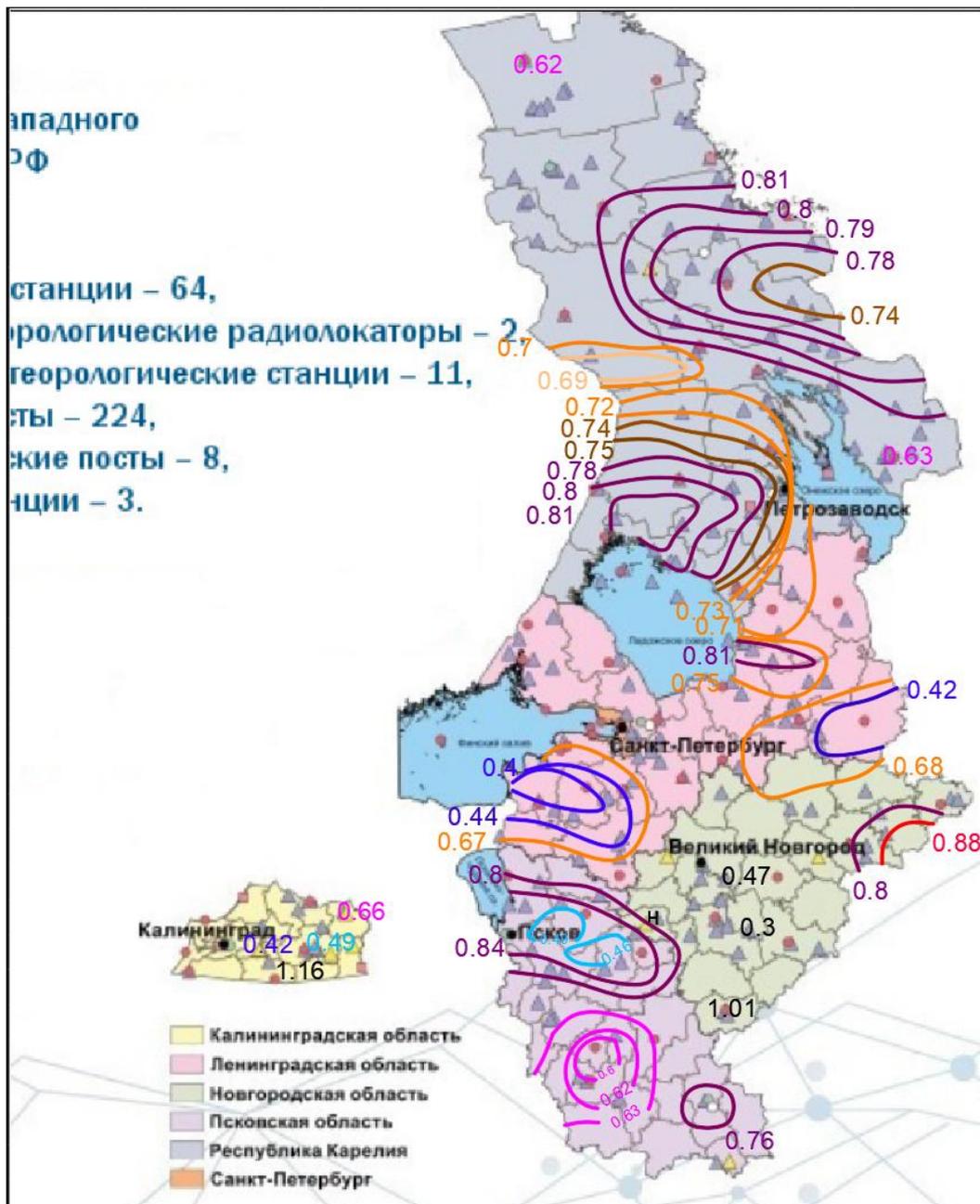


Рисунок 35 – Карта распределения фрактальной размерности подъема половодья.

Так как на территории относящихся к северо-западному УГМС отсутствует многолетняя мерзлота, проверка проводилась на температуре почв. Были взяты данные за 2021 год с сайта Метео.Ру. по 13 метеостанциям за период подъема половодья. Результатом исследования стал график зависимости температуры почв от фрактальной размерности

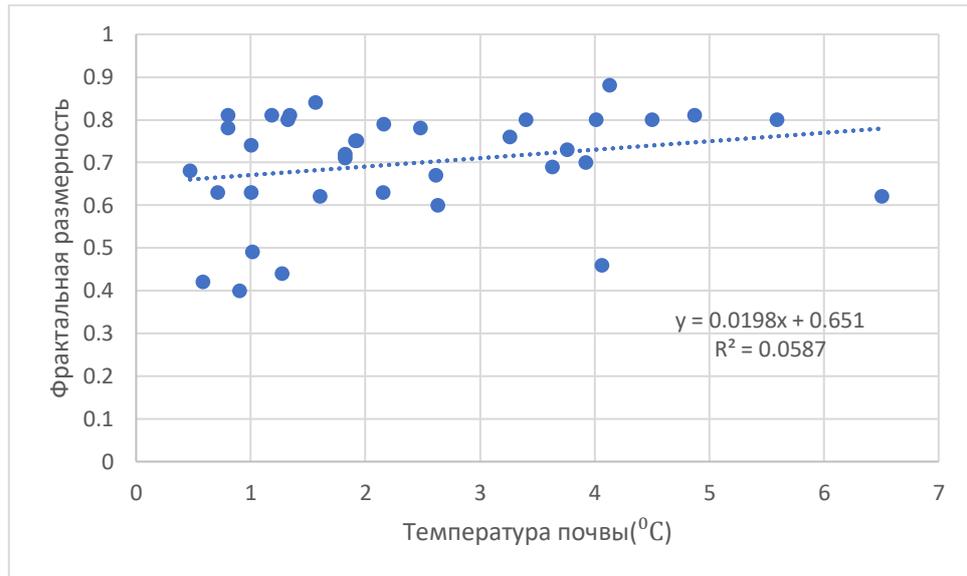


Рисунок 36 – График зависимости фрактальной размерности подъема половодья от относительной влажности воздуха.

Коэффициент корреляции равен 0,22. Причина низкого коэффициента вызвана тем, что данные по температуре почв брались за один год. Для более точного нахождения коэффициента корреляции необходимо брать среднюю температуру за период 2008 по 2021

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

- а. Были выяснены современные прогностические подходы в гидрологии
- б. Сформирована база данных для исследования выбранных гидрологических постов
- в. Рассчитаны фрактальные размерности
- г. Построены редуцированные графики зависимости фрактальной размерности от природных и климатических характеристик
- д. Проанализированы полученные данные

Полученные результаты показывают, дальнейшую перспективность изучения зависимости фрактальной размерности от характеристик речного водосбора.

Исследование внесло значительный вклад в развитие прогнозирования и понимания гидрологических процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гайдукова Е.В., Викторова Н.В. Гидрологические прогнозы. Конспект лекций – СПб.: изд. РГГМУ, 2021. – 19 - 20 с.
2. Там же – 23 с
3. Там же – 28 с
4. Там же – 47 с
5. Там же –10-11с
6. Там же –16с
7. Там же –13с
8. Там же –17с
9. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php>. Дата обращения 28.02.2024.
10. Гайдукова, Е.В. Фрактальная диагностика летне осеннего минимального стока России [Текст] / Е.В.Гайдукова, М.Н. Громова // Ученые записки РГГМУ, № 21, 2010.
- 11 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Викторова Н. В. Практикум по дисциплине «Моделирование гидрологических процессов. Часть III. Частично инфинитное моделирование» (на базе языка C++ Builder). – СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 79 с.
- 12 Гайдукова Е. В. Фрактальная диагностика в моделировании гидрологических процессов [Текст]: монография / Е. В. Гайдукова. – СПб. : Астерион, 2017. – 48 - 49 с.