



МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ В СПБ

Modeling and prediction of catastrophic flooding in St. Petersburg

Р. Шабасв

R. Shabaev

Россия, Санкт-Петербург
И.Е. Моргунова

Russia, S-Petersburg
I. E. Morgunova

Россия, Санкт-Петербург

Russia, S-Petersburg

В статье рассматриваются вопросы, связанные с возможностью моделирования и прогнозирования наводнений с учетом динамики природной среды. **Направление и задача исследований** - разработка программной модели моделирования наводнений на основе динамики природной среды, позволяющая анализировать и прогнозировать наводнения в Санкт-Петербурге. Для построения математических моделей используются методы следующих разделов математики: теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов. Для построения моделей на основе динамики природной среды, используется имитационная модель, как часть программного продукта Future на языке программирования Borland® Delphi 7.

This article discusses problems related to the possibility of modeling and forecasting of flooding, taking into account the dynamics of the environment. Direction and purpose of research - development of the floods simulation model based on the dynamics of the environment, allows them to analyze and predict flooding in St. Petersburg. To construct mathematical models of the following methods are used: probability theory and mathematical statistics, stochastic processes. To build models based on the dynamics of the environment, using a simulation model as part of a software product on the Future programming language Borland ® Delphi 7.

Ключевые слова: МОДЕЛИРОВАНИЕ,
ПЛАНЕТАРНЫЙ ЦИКЛ, СИНХРОНИЗМ,
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Key words: MODELING, PLANET CYCLE,
SYNCHRONICITY, EXTREME SITUATION

Общая информация о наводнениях в Санкт-Петербурге

[Наводнения в Санкт-Петербурге](#) — подъёмы воды в дельте [Невы](#) и восточной части [Невской губы](#), вызывающие затопление части территории города.

[Причиной](#) являются циклоны в Балтийском море с преобладанием западных ветров, которые вызывают нагонную волну,двигающуюся в направлении устья Невы, где она сталкивается с естественным течением реки.

Подъем воды усиливается из-за мелководья и пологости дна в Невской губе, а также сужающимся к дельте Невы Финским заливом. Наводнения вызываются также рядом других факторов: возникающие на [Балтике](#) циклоны с преобладанием западных ветров вызывают подъём «медленной» нагонной [волны Кельвина](#) и ее движение в направлении устья Невы, где она встречается сдвигающимся во встречном направлении естественным течением реки.

Наводнения причиняют городу колоссальный ущерб. Глобальное потепление и ряд «антропогенных» факторов, по прогнозам специалистов, приведут к увеличению повторяемости и росту разрушительной силы наводнений. И статистика это подтверждает.

Еще при Петре I для защиты города от наводнений старались поднять уровень застраиваемых земель. В старых районах города насыпной грунт составляет 3-4 метра, а кое-где - до 12 метров! Был специально прорыт Обводный канал, который, как считалось, должен был защитить город от стихии. Увы, расчет не оправдался. В 1824 году, когда уровень воды поднялся до 410 см выше ординара, затопленной оказалась большая часть города.

После наводнения 1824 года инженер П.П. Базен предложил построить каменную дамбу поперек Финского залива, от Лисьего носа через остров Котлин (Кронштадт) до Ораниенбаума (Ломоносова). В XIX веке создать этот барьер было практически невозможно. Через полтора столетия идея Базена стала основой проекта Комплекса Защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнения («дамбы»).

Проект Дамбы изначально рассчитывался с запасом - на 5-метровое наводнение в сочетании с 3-метровой ветровой волной. Катастрофа такого масштаба маловероятна.

Строительство комплекса было начато в 1979 году, но в 1987 году строительство было прервано, из-за опасений по поводу негативного экологического воздействия КЗС (комплекса защитных систем). Однако в 1990 г. независимая международная комиссия пришла к выводу о том, что сооружения комплекса ничего плохого для экологии не несут, и рекомендовала закончить строительство. Новый этап строительства Комплекса защитных сооружений начался в 2001 году.

В настоящее время наводнениями считаются подъёмы уровня воды более чем на 160 см. над нулем Кронштадтского футштока или выше 150 см. над ординаром у Горного института.

Расположение измерительного поста у Горного института не случайно. Поблизости, на 23-й линии Васильевского острова, располагалась основанная в 1849 году Главная физическая обсерватория (ГФО) — метеорологический центр России. Водный пост «Горный институт», подведомственный ГФО, начал действовать в 1878 году, и с тех пор измерения уровня воды в Петербурге считаются достаточно надежными.

Наблюдения за колебаниями уровня Балтийского моря начались с 1703 года. А с 1707 года в Кронштадте действует футшточная служба. В 1840 году по предложению гидрографа М.Ф.Рейнеке на каменном устое Синего моста через Кронштадтский Обводный канал нанесена черта, соответствовавшая среднему уровню воды Финского залива по наблюдениям 1825-1839 годов. С этой чертой совмещен нуль Кронштадтского футштока (0 КФ), от которого исчисляются абсолютные высоты поверхности Земли, все глубины морей на навигационных и топографических картах, космические высоты. С 1898 года работает автоматический самопишущий прибор-мареограф, фиксирующий изменения уровня воды.

Футшток — простейший прибор для измерения высоты уровня воды, рейка-линейка. Кронштадтский футшток представляет собой массивную металлическую линейку с фарфоровыми вкладышами делений, укрепленную вертикально на восточном устое Синего моста через Обводный канал в Кронштадте.

Измерения по футштоку производятся с точностью до одного сантиметра. Отметка 0 КФ зафиксирована горизонтальной чертой на металлической пластине, также укрепленной на устье моста. Рядом находится стилизованное под архитектуру Петровской эпохи строение, где установлен мареограф — прибор непрерывного автоматического измерения уровня воды. Его датчик-поплавок опущен в колодезь глубиной 7 метров, сообщающийся с открытой водной поверхностью. Колебания уровня воды, регистрируемые на ленте мареографа, систематически сверяются с измерениями по футштоку.

До 1982 года высоты наводнений в Ленинграде отсчитывались от ординара у Горного института, показывающего средний многолетний уровень воды в Неве. Этот ординар выше 0 КФ на 11 см, то есть низшая отметка наводнений составляла 150 см.

В первые годы существования Петербурга исходная отметка уровня воды для отсчета наводнений отсутствовала, хотя по указу Петра I в 1715 году у стены Петропавловской крепости был установлен первый в России футшток.

В дальнейшем наводнениями считались подъемы воды на 3 фута (91 см; фут равен 30,48 см). В XIX и XX веках наиболее употребительной для отсчета наводнений была отметка 5 футов (152 см) над ординаром, близкая к современной. Предлагались и другие, например 7 футов (213 см), когда затоплению подвергалась значительная часть исторического центра города.

До начала систематических измерений уровня воды у Горного института в 1878 году сведения о наводнениях в Петербурге не вполне точны. Достаточно надежны лишь даты значительных подъемов воды — чрезвычайные события слишком очевидны и наглядны. Что касается относительно невысоких наводнений, то они фиксировались приближенно, их уровень определялся грубо, порой «на глаз», с перерывами, в различных местах по течению Невы, от различных отсчетных горизонтов.

Чаще всего наводнения происходят в период с сентября по январь. Наиболее крупными были наводнения в [1824](#) (7 ([19](#)) ноября, 421 см выше ординара), [1924](#) ([23 сентября](#), 380 см), [1777](#) (10 ([21](#)) сентября) 321 см), [1955](#) ([15 октября](#), 293 см), [1975](#) ([29 сентября](#), 281 см) годах. С [1703](#) по [2008](#) гг. зафиксировано 332 наводнения (подъем воды более 160 см), из них 37 с подъемом более 210 см. В некоторые годы случались по несколько наводнений (в 1983 — десять), были периоды затишья ([1729—1732](#) и [1744—1752](#)).

Какова **классификация** наводнений?

Наводнения с подъёмом воды до 210 см. считаются опасными, от 211 до 299 см. — особо опасными, свыше 300 см. — катастрофическими.

При катастрофических наводнениях общая площадь затопления превышает 100 км. Скорость подъема уровня воды в Неве, продолжительность стояния высокого уровня и скорость спада воды зависят от интенсивности наводнения. При наводнении в 150-200 см средняя скорость подъема уровня 22,5 см/ч, спада - 15 см/ч. Наибольшая скорость подъема и спада уровня (100 см/ч) наблюдалась 15.10.1929 и 01.10.1994. Продолжительность наводнений варьируется от 8 часов до 2-3 суток и в среднем составляет около 24 ч. Подъем уровня длится в среднем 8-9 ч. Как правило, время спада в 1,1-1,5 раза больше времени подъема. На рис. 1.1 приведена схема крупнейших наводнений в СПб с момента основания города.

Высокий уровень воды в Неве может наблюдаться в любое время суток. За период 1703-2008 гг. из 332 наводнений 160 произошли в октябре - ноябре, что обусловлено повышенной циклонической деятельностью в это время года. Единичные случаи наводнений зафиксированы в период с февраля по июль.

На рис.1.2 приведен график наводнений уровней подъема воды в СПб с 1703 года по 2008 гг..



Рис. 1.1. Схема крупнейших наводнений в СПб



Рис. 1.2. Уровни подъема воды в СПб с 1703 года по 2008 гг.

За всю историю Санкт-Петербурга произошло 3 катастрофических наводнения (с подъемом воды свыше 300 см.) - в 1777, 1824 и 1924 гг.

27 августа и 21 сентября 1777 года (321 см) 1-е катастрофическое наводнение в истории города.

19 ноября 1824г. (421 см) произошло первое по высоте наводнение и 2 катастрофическое в истории Петербурга.

23 сентября 1924 года (380 см) – 3 катастрофическое наводнение в истории Петербурга.

Таким образом, 3 наводнения катастрофического плана наступили с интервалом в 50 и 100 лет, что наводит на размышления об определенной цикличности. Между 2 и 3 наводнением, наверное, должно было быть еще одно наводнение, в районе 1874-77 годов. Хронология наводнений показывает, что опасные наводнения были только в 1874 году и до 1879 года больше таковых не наблюдалось. Позже рассмотрим и это положение.

Некоторые общие выводы по разделу:

- наводнения в Санкт-Петербурге относятся к нагонным наводнениям на морских побережьях при ветрах, дующих с моря;
- нагонные наводнения в Санкт-Петербурге случаются почти ежегодно в разные сроки с разной интенсивностью;
- наводнения приводят к затоплению значительной исторической части территории города.

Общенаучные методы прогнозирования невских наводнений

Еще Петром I были изданы указы о принятии мер по спасению имущества во время наводнений. Однако никаких предупреждений населения о подъемах уровня не давалось. В ночь с 21 сентября 1777 года произошло катастрофическое наводнение с подъемом уровня воды до 310 см, принесшее настоящее бедствие городу и сопровождающееся человеческими жертвами. Екатериной II был издан указ об учреждении в городе «знаков и сигналов» для оповещения жителей о наводнениях. Оповещение производилось выстрелами из пушки, барабанным боем, вывешивались флаги на Адмиралтействе, а в ночное время - фонари. Били в колокола протяжным боем. Такая система оповещения о подъемах уровня воды в реке Неве существовала более 100 лет.

Впервые предупреждения об угрозе наводнения в Петербурге (без указания ожидаемой высоты подъема) стали составляться Главной Физической Обсерваторией в 1897 году. С тех пор и по настоящее время предупреждения о наводнениях регулярно составляются в старом «Доме погоды», расположенном на 23 линии Васильевского острова.

Катастрофическое наводнение 1924 года явилось причиной появления целого ряда исследований - В.Ю. Визе, С.А. Советова, В.М. Макеева, В.А. Берга и других. Во всех этих работах фигурирует волновая гипотеза с той лишь разницей, что одни авторы большее значение придавали ветру на Финском заливе (Визе), а другие (Берг) - основное значение придавали волне, а ветер считали второстепенным фактором.

В 1937 году В.И.Дубов в Горном Институте проводил лабораторные исследования на модели Финского залива, которые привели к обоснованию значения сейш в процессах формирования невских наводнений.

Однако все эти работы практического применения для прогноза наводнений не получили.

В 1936 году была выполнена фундаментальная работа старшего синоптика Ленинградского Бюро погоды К.П. Турыгина «Невские наводнения» (рукопись). В ней автор критически подытожил ранее выполненные исследования по проблеме невских наводнений, составил типизацию наводненческих циклонов и создал Атлас невских наводнений. В течение почти 20 лет Атлас К.П. Турыгина являлся основным пособием синоптиков при составлении штормовых предупреждений о наводнениях. Прогноз в то время составлялся по методу аналогов.

С 1937 года предупреждения о подъемах воды в Неве стали составляться с указанием ожидаемой высоты подъема уровня.

В 40 - 50-х годах важнейшие работы по исследованию природы невских наводнений были выполнены Н.И. Бельским, возглавившим в 1952 году группу по изучению и предупреждению наводнений Ленинградского Бюро погоды. В этих работах подробно рассмотрены следующие вопросы:

- взаимодействие метеорологических и гидрологических факторов и их роль в процессе наводнения,
- типы колебаний уровня воды в Балтийском море и Финском заливе,
- возникновение, перемещение и трансформация длинной волны (впервые показана связь длинной волны с атмосферными фронтами и значение эффекта «резонанса» при совпадении скоростей перемещения длинной волны и фронта), влияние метеорологических условий на Финском заливе на степень нарастания высоты длинной волны, причины и интенсивность повторных подъемов.

В 1954 году Н.И. Бельским впервые в истории службы предупреждений о невских наводнениях создан эмпирический метод расчета высоты подъема уровня воды в устье реки Невы, получивший высокое практическое применение и по настоящее время являющийся основным методом в оперативной работе прогнозиста. В дальнейшем работы по совершенствованию метода прогноза невских наводнений продолжались под руководством А.И. Фрейдзона, Н.Г. Куприяновой. За прогнозы наводнений 14 октября 1954 года (222 см), 15 октября 1955 года (293 см), 14 декабря 1964 года (214 см), 18 октября 1967 года (244 см), 20 декабря 1973 года (240 см), 17 ноября 1974 года (242 см), 29 сентября 1975 года (281 см) специалисты Ленинградского Бюро погоды были награждены Грамотами и памятными подарками Главного Управления Гидрометеослужбы.

К сожалению, метод Н.И. Бельского позволяет спрогнозировать максимальную высоту подъема уровня воды с заблаговременностью 5-8 часов. Для принятия мер по снижению размера ущерба в условиях гигантского мегаполиса запас времени слишком мал.

Поэтому Северо-Западное Управление Гидрометеослужбы (СЗУГМС) еще в 1951 году обратилось в Главное Управление Гидрометслужбы с просьбой о помощи в создании метода прогноза невских наводнений с заблаговременностью 12 часов и более. Эта задача была возложена на ряд научно-исследовательских институтов. В 1954 году при Ленинградском отделении Государственного Океанографического Института (ЛОГОИН) был создан отдел Ленинградских наводнений. Позднее к проблеме были привлечены Государственный Гидрологический Институт (ГГИ), Главная геофизическая обсерватория (ГГО) и Гидрометеоцентр СССР. Работа институтов завершилась в 1965 году созданием так называемого гидродинамического метода ЛОГОИНа.

Результаты испытания метода в 1965-66 годах, 1969, 1975-76, 1977, 1978-79 годах показали непригодность метода для оперативного использования. Отмечалось неудовлетворительное качество прогнозов, малая заблаговременность прогноза

максимума и большая трудоемкость метода. На заседании центральной методической комиссии Главного Управления Гидрометеослужбы 2 июля 1969 года институтам было рекомендовано продолжить работы по совершенствованию метода.

Совершенствование метода закончилось автоматизацией ввода начальных данных для расчета на ЭВМ, т.е. получением результатов расчета колебаний уровня в виде графика с СМ-1600 (без участия синоптика). На заседании Техсовета СЗУГМС в 1990 году было принято решение о возможности использования метода ЛОГОИНа в оперативной работе в качестве вспомогательного. Результаты расчетов поступали из инженерно – вычислительного центра СЗУГМС в отдел прогнозов до 1997 года. В связи с низкой оправдываемостью прогнозов метод прогноза наводнений, созданный ЛОГОИНа, в настоящее время в оперативной работе не используется.

Разработка методов, дающих возможность рассчитывать подъемы уровня воды в устье реки Невы с большей заблаговременностью, остается одной из важнейших задач.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- в Санкт-Петербурге до сих пор отсутствует надежная система прогнозирования времени и интенсивности наводнений;
- несмотря на планы завершения строительства защитных сооружений, необходимо продолжать исследования по моделированию наводнений.

Математическое моделирование наводнений

На сегодняшний день наука достаточно далеко продвинулась в разработке технологий прогнозирования. Специалистам хорошо известны методы нейросетевого прогнозирования, нечёткой логики и т.п. Из разделов математики в теоретической базе анализа объекта прогнозирования наиболее существенное место занимают теория вероятностей и математическая статистика, теория численных методов анализа и оптимизации, современная теория факторного анализа, дифференциальные уравнения. Последние применяются для описания относительно регулярных процессов, случайной составляющей которых можно пренебречь по той или иной причине. В основном же современные прогнозные модели объектов строятся в рамках статистических моделей, моделях экстраполяции и интерполяции регулярных составляющих, оценки влияния случайных составляющих процесса.

Для исследования наводнений методами математической статистики были использованы данные по наводнениям с 1703 по 2008г., приведенные в Приложении 1.

На рис. 3.1 отображена сезонная составляющая особо опасных наводнений.

Таким образом, с февраля по июль включительно наводнения почти исключены. Наибольшее количество приходится на октябрь (32%) и наименьшее на август (3%). Этот аспект необходимо учитывать при составлении прогноза.

В отдельные годы наводнения не наблюдаются. Наибольшее число (10) наводнений в течение года было в 1983. Последняя активизация наводнений отмечена в начале 1990-х гг., последний в XX в. большой подъем воды в Неве был в 1999. На рис. 3.2 отображен график (диаграмма рассеяния), демонстрирующий регулярность крупных наводнений в Санкт-Петербурге за историю наблюдений.

Для выявления закона, наиболее подходящего в качестве описания высоты подъема воды во время наводнений, были проанализированы особо опасные и катастрофические наводнения с 1703 по 2008 гг., то есть те, уровень воды которых превышал 210 см.

Сезонная составляющая особо опасных наводнений

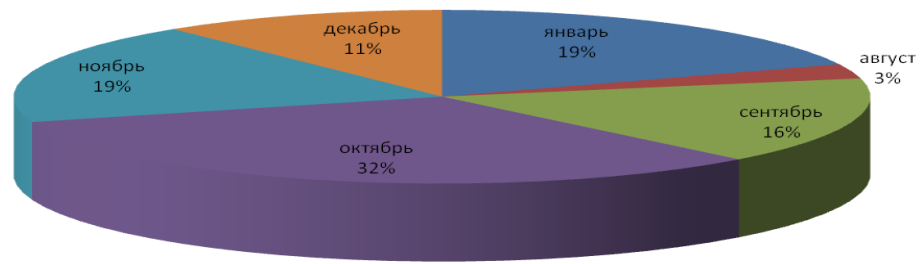


Рис. 3.1. Сезонная составляющая особо опасных наводнений в СПб

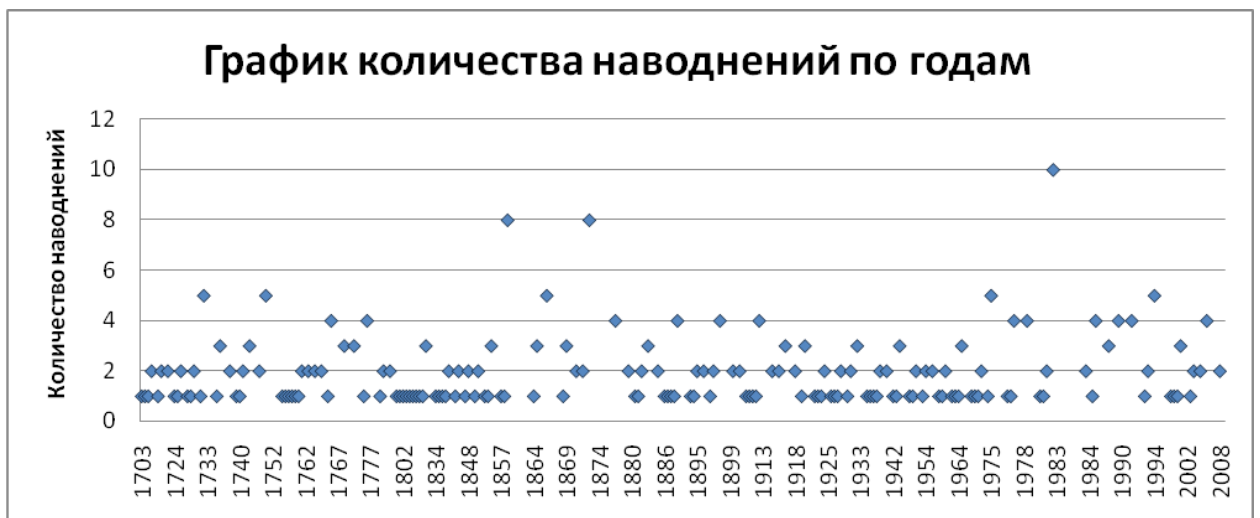


Рис. 3.2. График количества наводнений в СПб по годам.

Для автоматизации и упрощения обработки большого объема данных, все вычисления проводятся в среде Mathcad. Исходными данными для будущей модели наводнений является третья колонка таблицы 3.1 – уровень подъема воды. Обозначим ее как вектор X , представляющий собой выборочные данные (выборку) длиной $n=83$. Список исследуемых наводнений отражен в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Список исследуемых наводнений

День и Месяц	Год	Уровень подъема воды (см)
31 августа	1703	211
20 сентября	1706	262
16 сентября	1710	211
21 декабря	1710	211
16 ноября	1715	211
16 ноября	1721	265
21 ноября	1721	211

День и Месяц	Год	Уровень подъема воды (см)
13 октября	1723	272
19 ноября	1723	211
12 ноября	1724	211
16 ноября	1725	216
12 ноября	1726	270
23 октября	1729	237
21 сентября	1736	261

День и Месяц	Год	Уровень подъема воды (см)
19 января	1738	211
28 августа	1744	234
21 сентября	1744	211
2 ноября	1752	280
6 ноября	1752	234
22 декабря	1752	234
10 октября	1756	242
19 октября	1763	219
1 декабря	1764	244
21 сентября	1777	321
7 октября	1788	211
10 октября	1788	237
18 сентября	1802	224
4 февраля	1822	254
19 ноября	1824	421
1 сентября	1831	264
22 ноября	1833	219
23 ноября	1833	215
29 июня	1840	211
2 октября	1853	221
20 октября	1863	227
31 мая	1865	224
31 января	1866	229
1 ноября	1873	242
26 января	1874	219
10 ноября	1874	252
8 декабря	1874	237
5 сентября	1879	221
29 августа	1890	255
14 ноября	1895	237
16 ноября	1897	242
8 декабря	1898	240
25 ноября	1903	269
11 сентября	1905	211
27 января	1914	213
30 ноября	1917	244
24 августа	1918	224
24 ноября	1922	228
23 сентября	1924	380
3 января	1925	225
15 октября	1929	258
8 января	1932	239
8 октября	1935	239
9 сентября	1937	236
14 сентября	1938	233
3 октября	1948	212
22 октября	1948	216

День и Месяц	Год	Уровень подъема воды (см)
14 октября	1954	222
15 октября	1955	293
14 декабря	1964	214
18 октября	1967	244
20 октября	1973	240
17 ноября	1974	242
6 января	1975	216
29 сентября	1975	281
7 сентября	1977	231
25 ноября	1982	216
17 декабря	1982	215
1 января	1984	231
26 октября	1985	216
6 декабря	1986	260
2 октября	1994	219
12 октября	1994	228
19 октября	1998	220
30 ноября	1999	262
15 ноября	2001	216
9 января	2005	239
28 октября	2006	224
10 января	2007	220

Для определения закона распределения уровней подъема воды, а также в целях предварительного анализа свойств распределения выборочных данных (вектора X) в математической статистике используются гистограммы – диаграммы распределения частот попадания выборочных данных в заранее выбранные интервалы. Таким образом, промежуток между наименьшим (211 см) и наибольшим (421 см) уровнями подъема воды разбивается на b интервалов равной длины h , для каждого из которых определяется число n_i элементов выборки X , попавших в данный интервал, $i=1,2,\dots,b$. Числа носят название частот попадания, а n_i/n – относительных частот попадания элементов в интервалы. Определяя для каждого интервала величины приведенных относительных частот $\delta_i=n_i/(nh)$ и размещая полученные значения на серединах $f0_i$ интервалов, строится зависимость δ_i от $f0_i$ (рис. 3.3).

$\sigma := \text{Stdev}(X)$	$\sigma = 33.904$	исправленная дисперсия
$l := \min(X)$	$l = 211$	нижняя граница диапазона
$u := \max(X)$	$u = 421$	верхняя граница диапазона
$D := u - l$	$D = 210$	ширина диапазона
$h := \frac{\sigma}{2.5}$	$h = 13.562$	ширина интервалов
$b := \text{ceil}\left(\frac{D}{h}\right)$	$b = 16$	количество интервалов
F := histogram(b, X)		
$f0 := F^{(0)}$		вектор средних точек каждого из интервалов
$f1 := F^{(1)}$		вектор частот попаданий в интервалы
$h1 := \frac{D}{b}$	$h1 = 13.125$	конечная ширина интервалов
$\delta := \frac{f1}{n \cdot h1}$		вектор относительных частот попаданий в интервалы
Показательное распределение		Распределение Парето
$\lambda := 0.05$		$x_m := \min(X)$ $k := 8$
$f(x) := 30 \cdot n \cdot h \cdot \text{dexp}(x, \lambda)$		$g(x) := k \cdot x_m^k \cdot x^{-(k+1)}$
$x := l..u$		

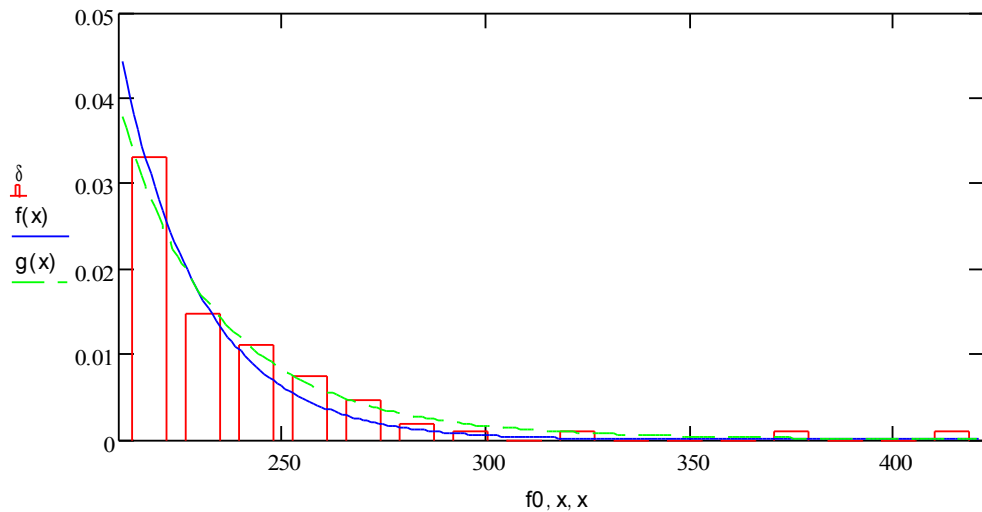


Рис. 3.3. Диаграммы распределения частот попадания выборочных данных

На основе визуального анализа построенной гистограммы, путем сопоставления ее с теоретическими плотностями вероятностей, нанесенными на график, можно сделать предварительное заключение о предполагаемом виде закона распределения. Но это заключение не будет являться окончательным, так как различные законы распределения имеют близкие по форме плотности вероятностей. Поэтому необходимо выполнить проверку гипотез о виде распределения.

По построенным плотностям вероятностей $f(x)$ и $g(x)$ и гистограмме приходим к выводу, что законом, описывающим высоту подъема воды во время наводнений, является либо показательное распределение, либо распределение Парето. Выдвигая гипотезу H_0 , что данные удовлетворяют закону Парето, применим критерий ω^2 (омега-квадрат) проверки гипотезы о виде распределения. На рис. 3.4 приведены вычисления, связанные с проверкой гипотезы при помощи критерия ω^2 , записанном как Ω . Уровень значимости принимается равным 0.05. Решение предполагает вычисление значения ω^2 , получение $n\omega^2$ и сопоставление этого значения с квантилью уровня 0.95, равной 0.4614^{*)}. Подставляя различные значения параметра k распределения Парето, сравниваем $n\Omega$ со значением указанной квантили и приходим к выводу, что гипотеза верна для $k=7\dots 10$.

Проверка гипотезы

$i := 0..n-1$	
$k = 8$	параметр распределения
$\alpha := 0.05$	уровень значимости
$\text{Int0} := \text{sort}(X)$	отсортированные по возрастанию уровни воды
$GO_i := 1 - \left(\frac{x_m}{\text{Int0}_i}\right)^k$	гипотетическая функция распределения
$\Omega := \frac{1}{12 \cdot n^2} + \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^{n-1} \left(GO_k - \frac{2 \cdot k - 1}{2 \cdot n}\right)^2$	искомый критерий
$n \cdot \Omega = 0.159$	$n \cdot \Omega < 0.4614$ гипотеза верна для $k=7\dots 10$

Рис. 3.4. Проверка гипотезы о виде распределения при $k=8$.

Таким образом доказано, что законом, описывающим уровни подъема воды во время наводнений, является распределение Парето с параметрами x_m и k .

Зная закон распределения, можно определить вероятность подъема воды до определенного уровня, а также промежутки времени между этими подъемами. Для реализации данной задачи необходимо сгенерировать вектор элементов распределения Парето.

Пусть функция распределения задается формулой:

$$G(x) := \int_{x_m}^x g(y) dy \quad (2.3.1)$$

Где x_m – параметр распределения, наименьшее значение подъема уровня воды во время наводнений;

$$g(y) := k \cdot \frac{x_m^k}{y^{k+1}} - \text{функция плотности распределения Парето.}$$

Зная значения функции $G(x)$, можно определить значения x верхнего предела интегрирования, которые и будут являться элементами распределения Парето. Как известно, функция распределения принимает значения от 0 до 1, которые можно принять как элементы равномерного распределения R в диапазоне $(0,1)$, то есть формулу (2.3.1) можно записать в виде:

$$R = \int_{x_m}^p k \cdot x_m^k \cdot y^{-(k+1)} dy \quad (2.3.2)$$

Проведя алгебраические преобразования, получаем формулу для вычисления элементов распределения Парето:

$$p := \frac{x_m}{k \sqrt[k]{1-R}} \quad (2.3.3)$$

Для простоты представления, а также для дальнейших вычислений можно округлить вектор p элементов распределения до целых чисел: $w := \text{round}(p)$. Итак, откладывая по оси абсцисс время t , равное количеству элементов, а по оси ординат вектор w , получается зависимость уровней воды от времени (рис. 3.4)

На основе построенного временного ряда можно провести анализ, результатом которого будет математическая модель для вычисления частоты подъема воды до определенного уровня. Входным значением модели является вектор W , т.е. уровни подъема воды. Рассматриваемый период времени T , наименьшее значение уровня воды для наводнений x_m и параметр k распределения Парето являются входными параметрами математической модели. Рассмотрим зависимость вектора W от параметра k распределения Парето. Как известно, $W(k)$ представляет собой случайную функцию, т.е. семейство случайных величин, зависящих от параметра k , значения которого пробегает некоторое множество K . В нашем случае, это множество при котором уровень подъема воды во время наводнений описывается распределением Парето, т.е. $K = \{7, 8, 9, 10\}$. При фиксированном значении k функция $W(k)$ представляет собой реализацию w случайной функции. На рис. 3.4 приведена реализация закона распределения Парето для времени $t = 1000$ лет и $k = 9$.



Рис. 3.4. Реализация закона распределения Парето для $t = 1000$ и $k = 9$.

Если зафиксировать время $t = t_i$ случайной функции и провести прямую, перпендикулярную оси абсцисс, то эта прямая пересечет каждую реализацию только в одной точке. На рис. 3.4 этой точкой для $t = 421$ является $w_{421} = 233$. Совокупность таких точек пересечения есть сечение случайной функции. Очевидно, каждое сечение случайной функции представляет собой случайную величину, возможные значения которой – это значения функции в точках пересечения при $t = t_i$. Определив выборочное среднее w_s для сечений, найдем промежутки времени $t_i - t_j$ между одинаковыми значениями w_s .

Как было отмечено ранее, временем в искомой модели является номер (индекс) элемента. Значения элементов вектора w пробегает от наименьшего до наибольшего с шагом 1. Поэтому для упрощения расчетов рассмотрим не каждое значение w_i , а интервалы значений.

- 1) Разобьем промежутков, в котором изменяются значения элементов распределения, на равные интервалы:

$$int_j := L + h \cdot j, \text{ где}$$

L – нижняя граница диапазона, наименьшее значение среди элементов,

h – ширина интервалов,

$j = 0..bl$, bl – количество интервалов. Для $k = 9$ получаем значения:

$int^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7
	211	221.059	231.119	241.178	251.238	261.297	271.357	281.416

- 2) Найдем величины средних точек в каждом из интервалов:

$$w_{cp_i} := \text{round} \left(\frac{int_i + int_{i+1}}{2} \right), i = 0..bl-1$$

- 3) Просматриваем вектор w по полученным интервалам и находим среднее значение времени между попавшими в один интервал значениями вектора w :

$$\tau_{cp_i} := \frac{\sum_{l=1}^{k-1} (\tau_l - \tau_{l-1})}{k-1}, \text{ где}$$

τ_l – время, соответствующее элементу w , попавшему в интервал $(int_i; int_{i+1})$,

k – количество таких элементов.

- 4) Если $k < 2$, то есть значение w высоты подъема уровня воды не повторялось в соответствующем ему интервале, тогда среднее значение времени считается равным нулю.

По данному алгоритму можно найти значения τ_{cp} и w_{cp} для реализаций распределения Парето с различными значениями параметра k . Для промежутков времени составляется матрица Vr , в столбцах которой записаны значения τ_{cp} для реализаций распределения Парето с параметрами $k=7,8,9,10$ соответственно, а для средних точек каждого из интервалов – матрица Ur , в столбцах которой записаны значения w_{cp} .

	0	1	2	3
0	2.572	2.572	2.633	2.599
1	4.279	4.392	4.681	4.553
2	6.93	7.234	6.312	6.979
3	13.886	12.789	13.315	12.789
4	15.333	15.333	14.636	14.636
5	24.444	21.463	22	22
6	60.5	62.5	50.357	50.357
7	59.133	58.5	52	49.263
8	104.667	85.636	85.636	85.636
9	185	185	185	185
10	99.833	99.833	99.833	99.833
11	421	421	421	421
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	610	610	610
15	76	0	0	0
16	0	954	954	954
17	520	0	0	0

	0	1	2	3
0	219	218	217	216
1	235	231	228	226
2	251	244	240	236
3	267	258	251	246
4	282	271	263	256
5	298	284	274	266
6	314	298	285	276
7	330	311	297	286
8	346	324	308	297
9	362	338	320	307
10	378	351	331	317
11	393	364	343	327
12	409	377	354	337
13	425	391	366	347
14	441	404	377	357
15	457	417	389	367
16	473	431	400	377
17	489	444	412	387

Строки матриц Vr и Ur являются сечениями случайной функции $W(k)$. Найдя выборочное среднее τ_s и w_s для каждого из них соответственно, получим частоты подъема воды до определенного уровня. Следует отметить, что промежутки времени также являются случайными величинами, так как они зависят от интервалов разбиения вектора w , имеющего различные значения при различных $k \in K$.

В итоге получается следующая таблица 3.2 повторяемости уровней воды в реке Неве (превышение ординара в см).

Повторяемость уровней воды	Высота воды (превышение ординара в см)
1 раз в 954	420
1 раз в 610	395
1 раз в 421	357
1 раз в 185	332
1 раз в 100	344
1 раз в 90,5	319
1 раз в 62	293
1 раз в 22,5	281
1 раз в 15 лет	268
1 раз в 13 лет	256
1 раз в 7 лет	243
1 раз в 4,5	230
1 раз в 2,5	218

Таблица 3.2. Повторяемость уровней воды в реке Неве

Таким образом, с помощью построенной математической модели, можно определить опасные для наводнений года, а также возможные уровни подъема воды.

Зная последние года наводнений и уровни подъема, строим прогноз до 2020 года (рис. 3.5).

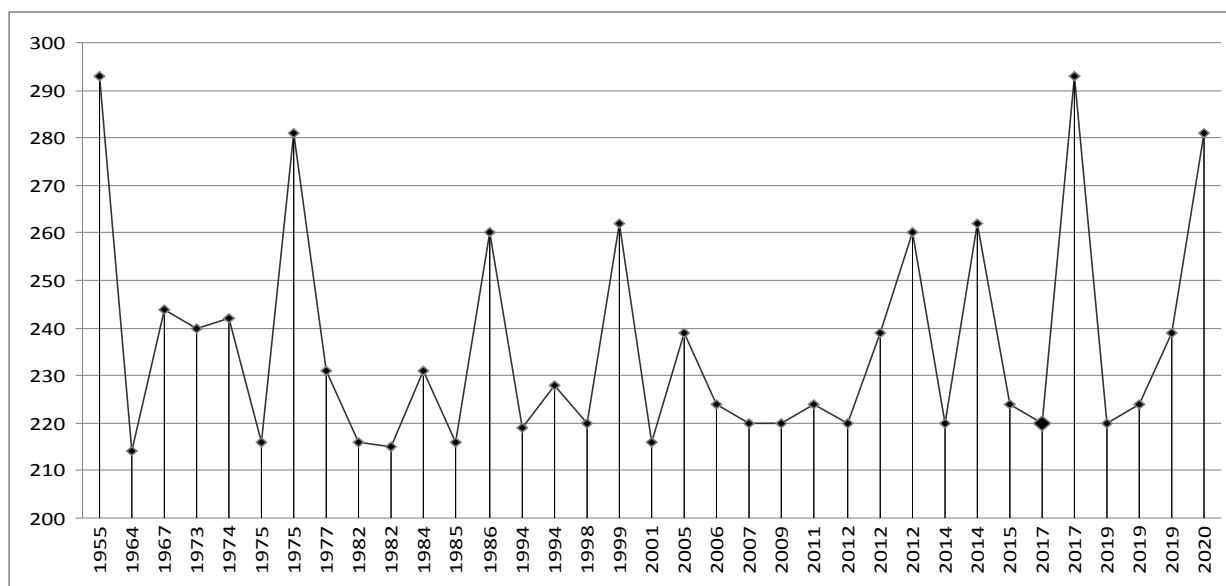


Рис. 3.5. Прогноз наводнений в Санкт-Петербурге до 2020г.

Однако для прогнозирования более – менее точной даты возникновения наводнений методов математической статистики недостаточно. Для этих целей было использование моделирование на основе динамики природной среды.

Модель анализа и прогноза наводнений на основе динамики природной среды

Начальная пространственно-временная планетарная картина называется статической картой, фиксируется и используется как основа для прогнозирования дальнейшего развития во времени данной системы. При этом используется методика определения экстремумов и фаз циклов, сочетания циклов с учетом их информационной базы. Статическая дата играет роль точки отсчета, относительно которой рассматривается поведение системы.

В более широком плане, начальная, зафиксированная в момент зарождения системы, пространственно-временная планетарная картина в рамках выбранных координат, олицетворяющая фактически внутреннюю программу самоуправления, используется как основа для прогнозирования дальнейшего развития во времени данной системы или подсистемы. Движение вышестоящей внешней системы (в нашем случае - Солнечной) отражено постоянными перемещениями планет, которые возможно зафиксировать в любой момент времени.

При этом информационное развитие системы имеет содержательную и функциональную трактовку. Если иметь в виду содержание информации (содержательная трактовка), то оно кроется в конечном счете в организации, то есть в структуре объектов (карте с обозначением положения РЗФ). Это содержание проявляется при воздействии на объект в особых условиях резонанса, что отражается в соответствующих функциональных "фазовых портретах". В модели на основе ДПС планеты-точки, олицетворяя определенную информационную базу, перемещаясь относительно своего начального положения, в разные фазы своего цикла движения динамично отражают свойственные им по информации события. В этом случае понятие информации связывается непосредственно с содержанием.

Таким образом, в предлагаемой модели на основе ДПС осуществляется не только поисковое прогнозирование, но и нормативное, которое не позволяет абстрагироваться от возможных, а порой и просто необходимых решений, способных видоизменить известные тренды-тенденции. Вместе с тем, вмешательство человеческого фактора должно вписываться в известный закон циклической временной организации, выражаемый в циклическом движении планет-точек, то есть в общие временные циклы развития в силу включенности в естественно-природные реалии этого мира. С одной стороны, зная циклы развития того или иного явления, закономерности развития этого явления в прошлом и настоящем, а с другой стороны, учитывая право выбора и возможность внесения определенных корректив, возможно осуществление адекватного реальности прогнозирования. Есть две даты, претендующие на роль статической. **18 августа 1979** году ЦК КПСС и Совет министров приняли постановление "О строительстве сооружений защиты города Ленинграда от наводнений", предусматривающее строительство защитной дамбы. Также роль статической карты для моделирования наводнений может выполнять дата возникновения города СПб - **27 мая 1703** года.

На рис. 4.1 приведена карта модели на основе ДПС от даты наводнения – 19.11.1824 года по системе включения (19.11.1824 PL 090->UR-000-NE 03.12.1821 17:21:59).

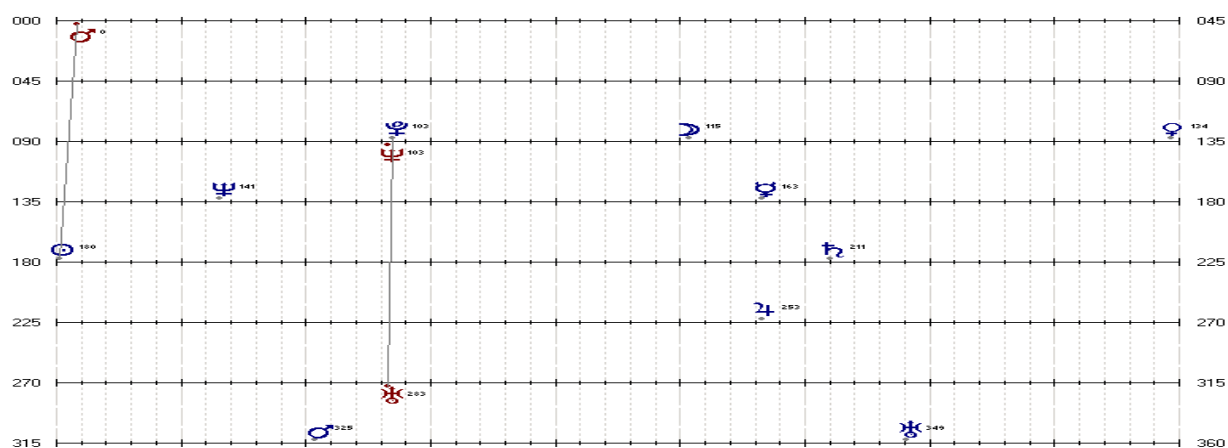


Рис.4.1. Статическая карта наводнения 1824 года.

На рис. 4.2 приведена карта модели на основе ДПС от даты наводнения – 23.09.1924 года по системе включения (23.09.1924 PL (103) 180->UR-180-NE 12.01.1908 г.).

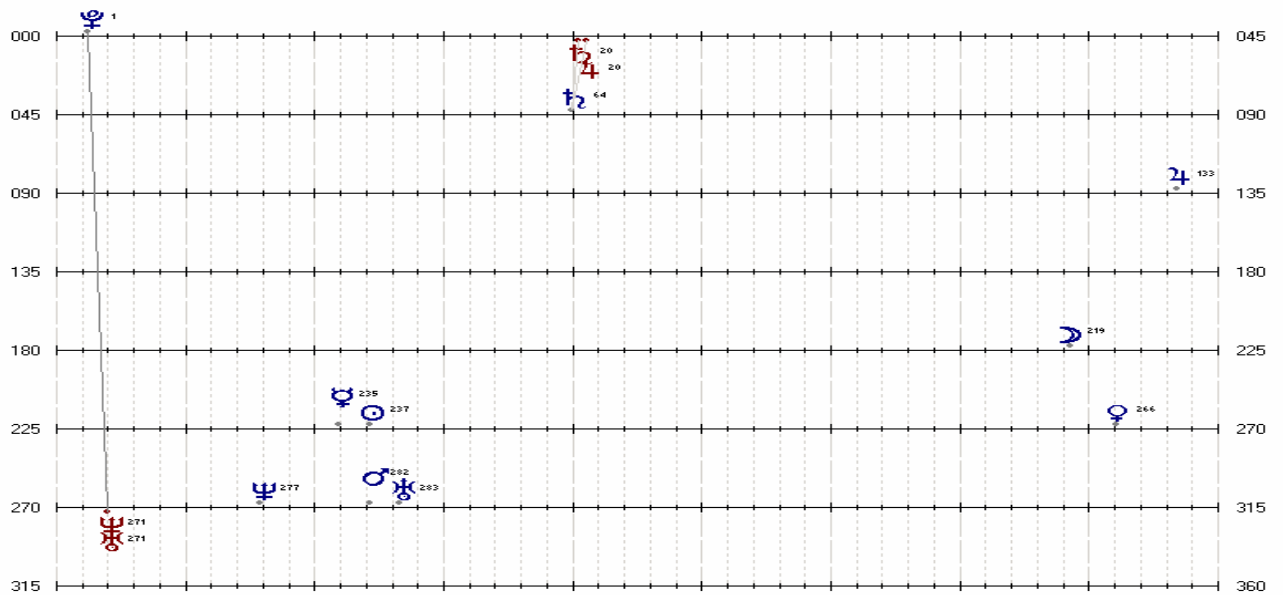


Рис.4.2. Статическая карта наводнения 23.09 1924 года.

В чем же заключается единство и отличие этих двух катастрофических наводнений? Единство заключается в том, что транзитный РЗФ **PL** в обоих случаях включает фазы цикла с большим периодом обращения и соответствующим ИН – **UR-NE** (0,8) по 4 гармонике. В первом случае транзитный Плутон включает оппозицию, во втором – соединение. Если моделировать по аналогии, то катастрофическое наводнение в Санкт-Петербурге в ближайшее время возможно в 2017-2018 годах. Между третьим и потенциально четвертым наводнением тоже должен существовать критический период, который приходится на 1974-75 гг. Как видно в табл. 3.1, такой период действительно был - 29.9.75 году высота наводнения достигала – 281 см. Если учитывать одни включения, то в 1982-83 гг. состоялся транзит PL по фазе цикла NE-UR. Однако катастрофического наводнения не наблюдалось, максимальные значения в эти годы 216 см. Следовательно, должны существовать еще какие-то дополнительные факторы. Важное значение имеет определение полного алгоритма возникновения тех или иных опасных явлений, в данном случае - наводнений.

Для определения алгоритма возникновения наводнений рассматриваются наводнения **свыше 250 см**. Всего в истории Санкт-Петербурга насчитывается 19 таких наводнений. В модели на основе ДПС для анализа целесообразно использовать базу данных наводнений в 20 и 21 веках, поскольку программа Future позволяет отслеживать циклы лишь за указанный период. С 1903 по 2007 гг. наблюдалось 7 такого рода наводнений (см. табл. 4.1, рис. 4.3).

Список дат наводнений:

№ п/п	Дата	Высота подъема воды
1	25.11.1903	269
2	23.09.1924	380
3	15.10.1929	258
4	15.10.1955	293
5	29.09.1975	281
6	06.12.1986	260
7	30.11.1999	262

Таблица 4.1. Список дат наводнений высотой подъема свыше 250 см.

На рис. 4.2 приведена диаграмма особо опасных наводнений высотой свыше 250 см.:

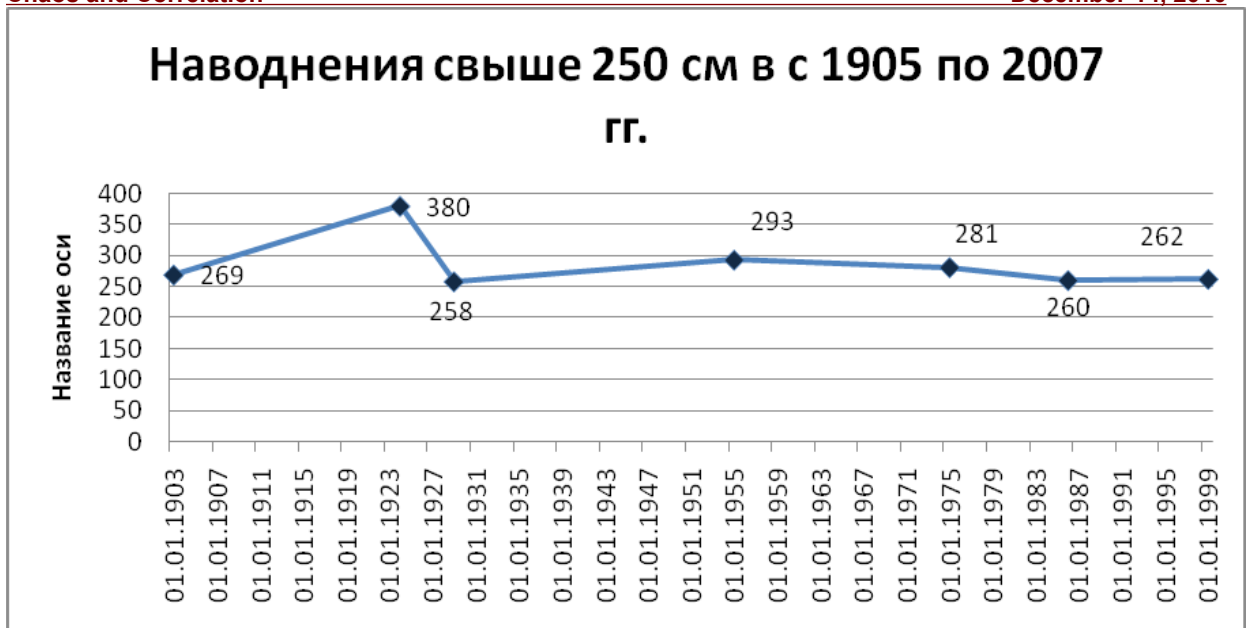


Рис. 4.3. Список наводнений высотой свыше 250 см.

Для составления алгоритма особо крупных наводнений высотой свыше 250 см., проведем анализ базы данных (табл.4.1) по 3 циклическим составляющим:

- Фоновым циклам;
- Транзитам (по карте СПб от 27.05.1703 г.);
- Включенным циклам.

Выраженность фоновых циклов отражена на рис. 4.4 и 4.5.

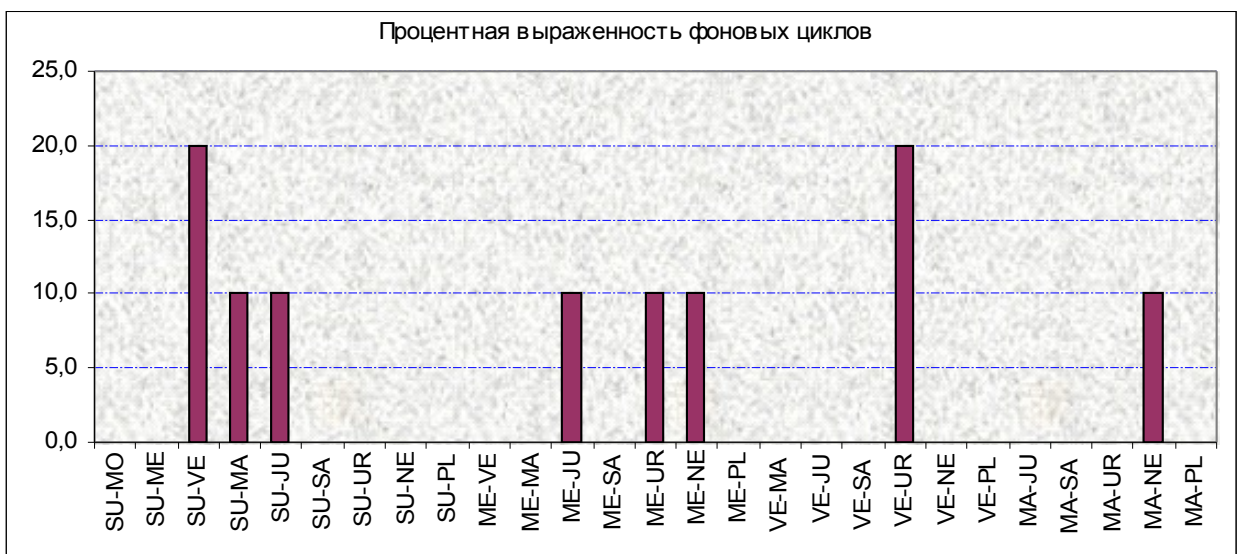


Рис.4.4. Процентная выраженность малых циклов при наступлении наводнений.

Учитывая некорректность базы данных (малого объема) для нахождения явных закономерностей в проявлениях малых циклов и из-за их высоких скоростей данные таблицы 4.4 мы можем игнорировать. Вот данные рис. 4.5, отражающих выраженность высших фоновых циклом, ввиду длительности периодов образования, мы игнорировать не можем, хотя бы очевидную роль цикла JU – PL. Таким образом, при наступлении особо опасны, и в первую очередь, катастрофических наводнений, роль фонового цикла JU – PL чрезвычайно высока.

Исходя из данных двух рисунков можно составить индексную шкалу напряженности планетарных циклов. В таблице 4.2 приведена шкала ИН фоновых циклов, составленная на основе рис. 4.4 и 4.5.



Рис.4.5 . Выраженность высших фоновых циклов при наводнениях в СПб

Хотя следует признать, что индексация малых циклов носит ориентировочный характер и не отражает истинной картины. Более корректным представляется ориентация на закономерности всех опасных наводнений, что требует дальнейших исследований.

NE	0,00							
UR	0,00	0,00						
SA	0,40	0,40	0,40					
JU	0,80	0,00	0,00	0,00				
MA	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00			
SU	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10		
VE	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	
ME	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
PL		NE	UR	SA	JU	MA	SU	VE

Таблица 4.2. Индексная шкала напряженности фоновых циклов при наводнениях в СПб

Теперь следует рассмотреть роль включенных циклов. Параметры их проявленности отражены на рисунках 4.6 и 4.7.

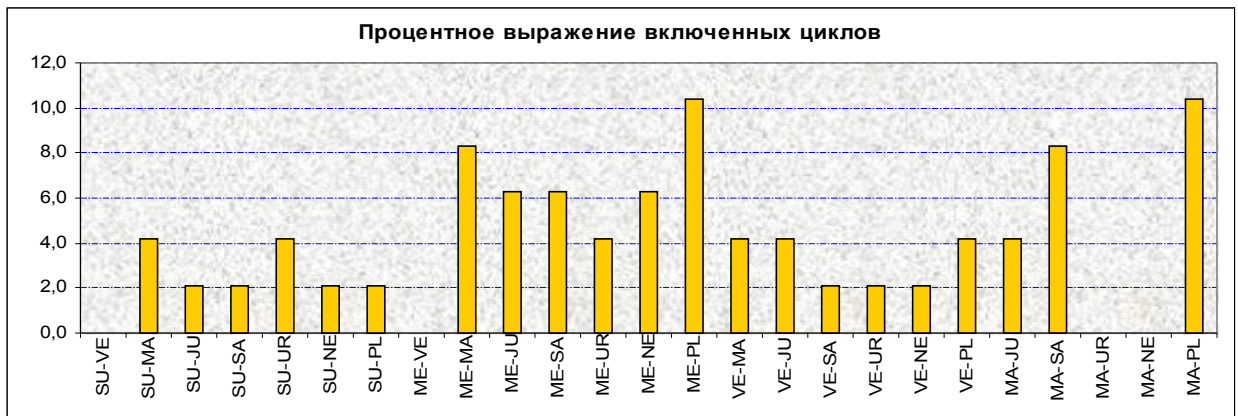


Рис.4.6. Процентная выраженность малых включенных циклов при наступлении наводнений

Здесь также следует в большей степени ориентироваться на данные высших включенных циклов, поскольку малые включенные циклы носят тактический характер.

Основным моделирующим циклом наводнений в СПб, как показано на рис. 4.7, является включенный цикл **UR-NE**. Данный цикл включается в 2,5 раза чаще, чем все остальные 9 циклов, составляя около 18 % общего веса 35 планетарных циклов.

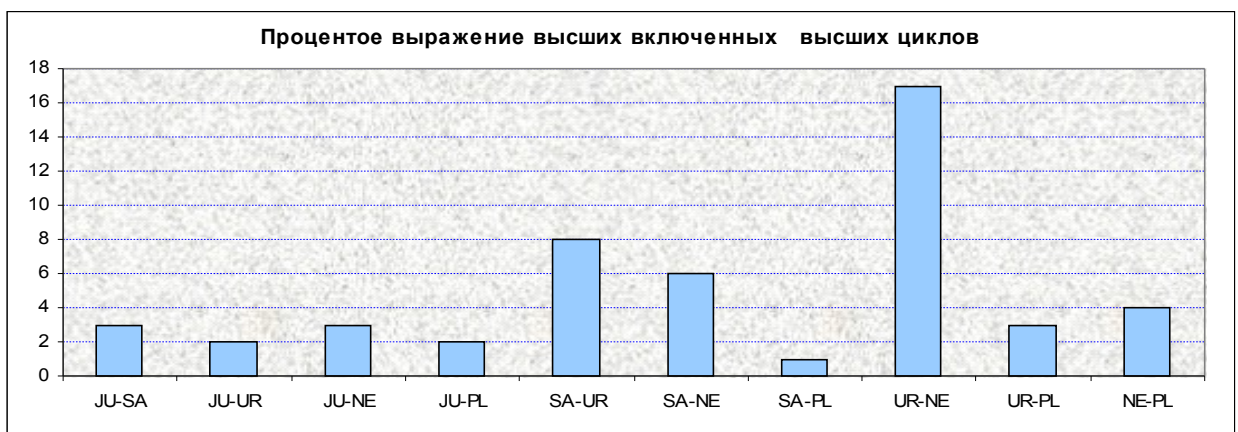


Рис.4.7. Выраженность высших включенных циклов при наводнениях в СПб

Для особо опасных и катастрофических наводнений характерны включения высшими РЗФ (особенно PL) - статических точек или ранее образованных циклов, особенно планетарных циклом - UR-NE. Наглядно данная закономерность просматривается при анализе катастрофических наводнений в 1824 и 1924 гг. (рис. 4.1, 4.2).

Таким образом, особо опасные и катастрофические наводнения в Санкт-Петербурге моделируются включениями фаз циклов высшей категории **UR-NE**, UR-PL, NE-PL.

Исходя из параметров рисунков рис. 4.6 и 4.7., составляется индексная шкала

напряженности включенных планетарных циклов. В таблице 4.3 приведена шкала ИН

включенных циклов:

NE	0,08			
UR	0,06	0,35		
SA	0,02	0,12	0,16	
JU	0,04	0,06	0,04	0,06

MA	0,10	0,00	0,00	0,08	0,04			
SU	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04		
VE	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,00	
ME	0,10	0,06	0,04	0,06	0,06	0,08	0,00	0,00
PL	NE	UR	SA	JU	MA	SU	VE	

Таблица 4.3. Индексная шкала напряженности включенных циклов при наводнениях в СПб

Закономерности транзитов по статической карте от 27.5.1703 года отражены на рис. 4.8. и 4.9.

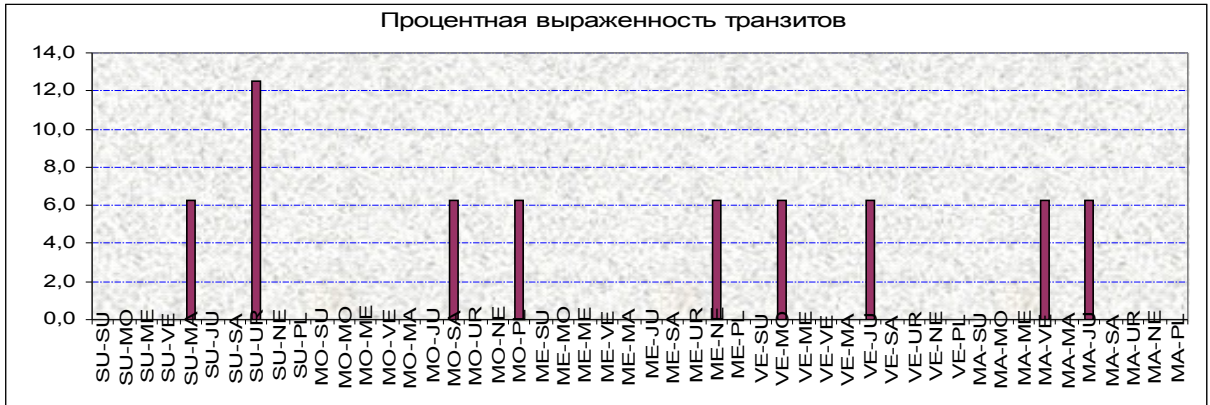


Рис.4.8. Выраженность транзитов малых планет при наводнениях.

Здесь, также как и в предыдущих случаях, можно игнорировать данными транзитов малых планет.

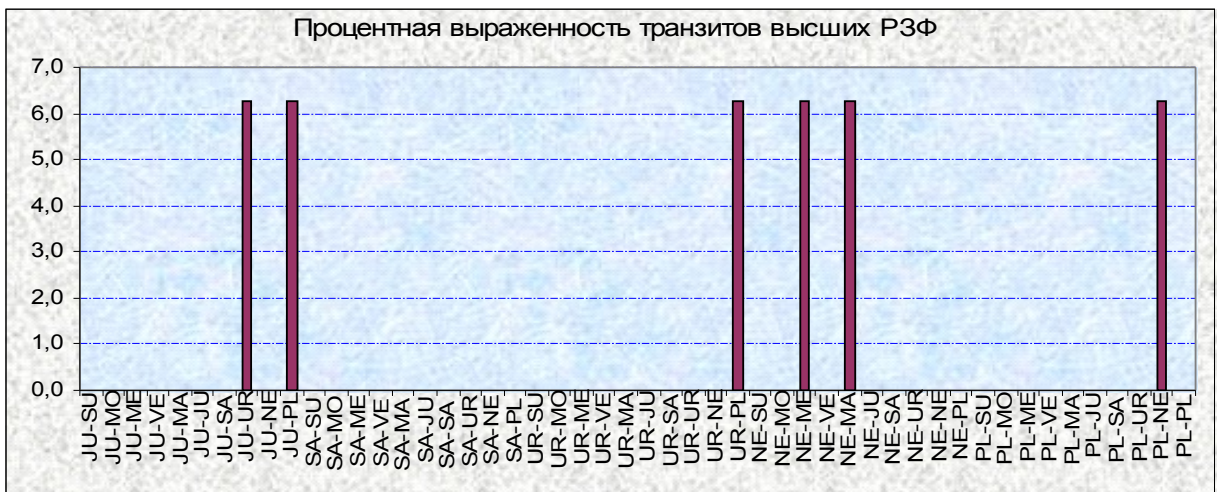


Рис. 4.9. Выраженность транзитов высших планет при наводнениях в СПб

Данные рисунка 4.9, отражающие выраженность транзитов высших планет при катастрофических наводнениях в СПб, весьма наглядны, показывают особое при моделировании значение транзитов таких РЗФ, как Юпитер и Нептун, а также транзит Плутона по Нептуну статическому (радикальному). На рисунке первая планета – транзитная, вторая – статическая.

PL-тр	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,31
UR	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JU	0,31	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,09	0,00
SU	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00

VE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
ME	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MO	0,06	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PL	NE	UR	SA	JU	MA	SU	VE	ME

Таблица 4.4. Индексная шкала напряженности транзитов при наводнениях в СПб

Исходя из параметров рисунков рис. 4.8 и 4.9. можно составить индексную шкалу напряженности транзитов. В таблице 4.4 приведена шкала ИН включенных циклов:

В целом, можно подчеркнуть, что по результатам комплексного анализа основных видов циклов, найдены четкие закономерности формирования катастрофических и особо опасных наводнений.

Основные выводы по результатам исследований модели на основе ДПС следующие:

1. Особо опасные и катастрофические наводнения в Санкт-Петербурге моделируются включениями циклов высшей категории **UR-NE**, **UR-PL**, **NE-PL**, транзитами высших планет, особенно Плутоном.
2. Наиболее уязвимыми в резонансе являются следующие статические РЗФ: **SA – NE – UR**, включая и их фоновые комбинации.
3. Весьма опасными являются включения циклов, находящихся в резонансе с точками статической карты;
4. Транзиты Плутона, Нептуна и Юпитера по точкам статической карты требуют особого внимания.

Теперь необходимо ответить на самый главный вопрос, когда же возможно наступление в СПб очередного катастрофического наводнения? Нужно напомнить, что последнее соединение Урана и Нептуна состоялось в 1993 году на 288 и 289 градусах эклиптической долготы. Включение данных точек транзитным Плутоном возможно лишь в 2016 и 2017 годах (см. рис. 4.10)

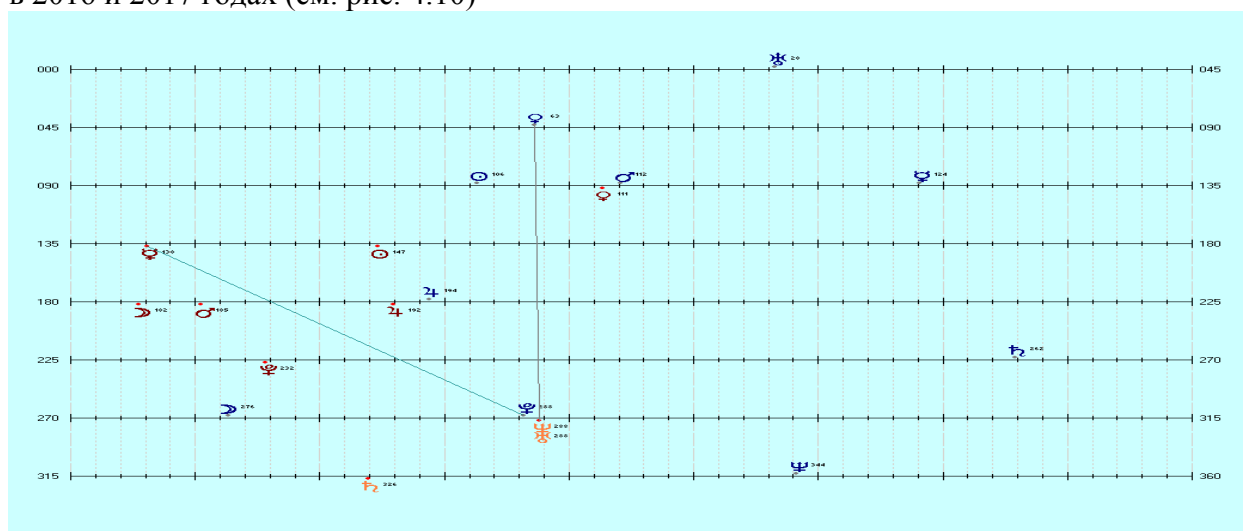


Рис. 4.10. Карта включения в 2016-17 гг. транзитным Плутоном соединения Урана и Нептуна от 1993 г.

Вывод о возможности катастрофического наводнения в указанные годы подтверждается и методами математического экстраполяции (рис. 3.5).

Следует также отметить, что в 2017 году формируется и фоновый полуквадрат Урана и Нептуна. На рис. 4.11 сделана попытка моделирования временного интервала наступления катастрофического наводнения в СПб во второй половине 2017 года (другие интервалы времени не рассматривались).

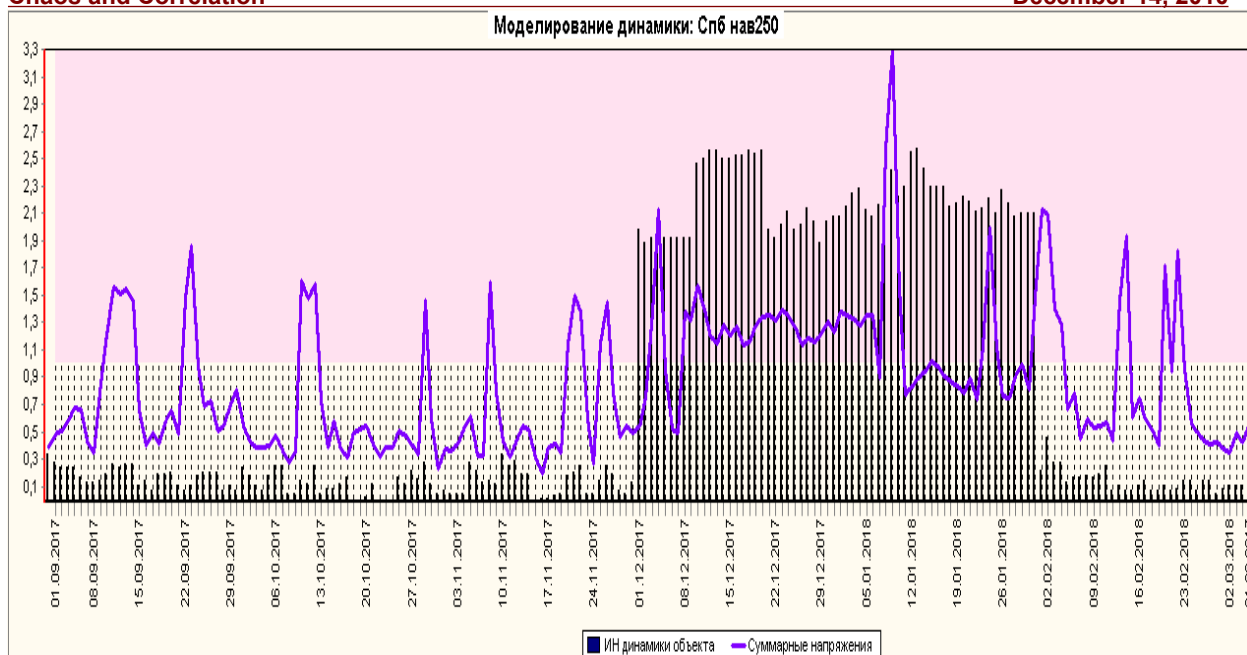


Рис. 4.11. Прогноз катастрофического наводнения в СПб во второй половине 2017 года.

Транзитно-фоновая ситуация показывает, что наиболее опасным периодом является декабрь 2017 года.

Заключение

Наводнения причиняют городу колоссальный ущерб. Глобальное потепление и ряд «антропогенных» факторов, по прогнозам специалистов, приведут к увеличению повторяемости и росту разрушительной силы наводнений. После наводнения 1824 года инженер П.П. Базен предложил построить каменную дамбу поперек Финского залива, от Лисьего носа через остров Котлин (Кронштадт) до Ораниенбаума (Ломоносова). Через полтора столетия идея Базена стала основой проекта Комплекса Защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнения («дамбы»).

Проект Дамбы изначально рассчитывался с запасом - на 5-метровое наводнение в сочетании с 3-метровой ветровой волной. Катастрофа такого масштаба маловероятна. Строительство комплекса было начато в 1979 году, а в 1981 году начались работы по возведению основных объектов КЗС. Новый этап строительства Комплекса защитных сооружений начался в 2001 году, был разработан план действий по завершению строительства КЗС в 2008 году.

Основная задача КЗС - защита Санкт-Петербурга от нагонных наводнений, и, возможно, через несколько лет только памятные доски по всему городу, на которых отмечен уровень подъема воды во время катастрофических наводнений, будут напоминать о том, что было, но уже никогда не случится вновь. Однако данное обстоятельство не умаляет значения проведенной работы.

Во-первых, разработанный механизм возникновения катастрофических наводнений в Санкт-Петербурге позволяет моделировать подобные явления в любом регионе России. К районам, терпящим значительный материальный ущерб от нагонных наводнений, кроме того, относятся устье р. Преголь (г. Калининград), устье р. Дон (г. Азов).

Во-вторых, позволяет соответствующим службам своевременно принимать необходимые меры хотя бы по планированию задач организации деятельности КЗС в периоды, опасные для возникновения наводнений.

В работе показано, что для успешного прогнозирования возникновения наводнения, как правило, недостаточно одного из методов, так как и моделирование на

основе математической статистики, и моделирование на основе динамики природной среды имеют свои достоинства и недостатки. Поэтому был применен комплексный подход к прогнозированию. Для определения годов наводнения используются методы математической статистики, для уточнения месяца и дня наводнения – методы прогнозирования на основе ДПС. Также метод математической статистики позволяет определить высоту подъема воды во время наводнения.

В-третьих, алгоритм моделирования *опасных наводнений* в данной работе не рассматривается и требует дальнейших исследований.

В работе рассмотрены и разработаны следующие вопросы:

1) Проведен анализ базы данных наводнений на основе описательной математической статистики.

2) Была создана математическая модель, позволяющая составлять среднесрочные и долгосрочные прогнозы, а также определять вероятные уровни подъема воды во время наводнения.

3) Определены основные положения системного подхода при моделировании ЧС на основе динамики природной среды и разработана модель прогнозирования наводнений, отличающаяся от существующих, с учетом наиболее значимых циклических факторов окружающей среды с привязкой к географическим координатам (месту функционирования системы).

4) Определен перечень ритмозадающих факторов, моделирующих наводнения.

5) Произведена ранжировка ритмозадающих факторов через категорию индексов напряженности с учетом особенностей циклической динамики природной среды на определенный период.

6) Разработана имитационная модель, являющаяся частью программы моделирования ЧС «Future».

7) Определена дата вероятного очередного катастрофического наводнения

В работе получены следующие научные и практические результаты:

1. Обоснована актуальность дальнейшего совершенствования методов прогнозирования наводнений, имеющих катастрофические последствия. Показана необходимость конкретизации прогноза по месту и дате.

2. Показаны недостатки используемых методов прогнозирования наводнений, к которым следует отнести общий статистический характер прогнозов, базирующийся на методах математической статистики. Эти методы имеют количественные показатели вероятности событий и не выявляют качественные изменения исследуемых объектов.

К недостаткам статистических методов прогнозирования следует отнести снижение их достоверности при малых выборках. К недостаткам методов моделирования на основе ДПС относится невозможность однозначной ранжировки РЗФ для всех ЧС одного вида, необходима адресная и временная коррекция таблицы ИН.

3. Анализ показал, что космические ритмы оказывают существенное влияние на земные природные системы, в том числе и на возникновение наводнений. Основную роль в механизме влияния ритмов играют резонансные, в первую очередь синхронизационные явления. Синхронизация является одним из фундаментальных принципов организации природных систем.

4. При изучении природных систем не всегда возможно использовать математические методы. Явления природы, которые по тем или иным причинам еще недоступны формализации, могут исследоваться другими, менее строгими, описательными методами. Одним из таких общих направлений является концепция модели на основе ДПС.

5. Наиболее перспективным направлением в области обеспечения безопасности функционирования природных систем является системный подход, объединяющий рассмотренные виды моделирования и прогнозирования.

Список использованных источников:

1. Померанец К. С. «Три века петербургских наводнений». СПб, 2005 г.
2. Найденов В.И., Кожевникова И.А. «Российская наука: дорога жизни». М., 2002 г.
3. Нежиховский Р. А. Река Нева и Невская губа, Л.: Гидрометеиздат, 1981
4. Информационные порталы:
 - http://nevariver.ru/flood_list.php;
 - <http://ru.wikipedia.org/wiki/>;
 - Регулярность и сила крупных наводнений в Санкт-Петербурге http://nevariver.ru/flood_info.php.
5. Казначеев В.П. Космическое сознание – естественно-природный геокосмический феномен. Человек как космический феномен: новые гуманитарные и естественнонаучные подходы. Международный сборник исследовательских работ. Выпуск четвертый-пятый. Издательство Удмуртского университета. Ижевск, 1999г.
6. Лебедев В.В. Математическое и компьютерное моделирование экономики. М, 2002г.
7. Немировский В.Г. Современная российская социология: универсальная парадигма как перспектива развития. Минск, 2004 г.
8. Немировский В.Г. Универсальный подход к прогнозированию социальных систем. / В.Г. Немировский, В.И. Кудрявцева. Минск: Изд-во БГУ, Красноярск, РИО КрасГУ, 2003 г.
9. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.:Мысль, 1976 г.
10. Чижевский А.Л. Физические факторы исторического процесса. Калуга, 1924 г.
11. Чижевский А.Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотераксия. М.:Мысль, 1995 г.
12. Яковец Ю.В., Циклы. Кризисы. Прогнозы. М., 1999г.
13. Ивановский Р.И. Компьютерные технологии в науке и образовании. Практика применения систем MathCad Pro. М., 2003г.
14. Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. СПб, 2008г.
15. Бузинов А.С. Моделирование и прогнозирование функционирования технических объектов экономики и территорий, системы «оператор-машина». / А.С. Бузинов Г.П. Жигулин М.Ю. Мамонтова Р.И. Шабаев. СПб, 2005г.
16. Бузинов А.С. Методика прогнозирования функционирования и устойчивости объектов на основе космических ритмозадающих факторов. / А.С. Бузинов Г.П. Жигулин М.Ю. Мамонтова Р.И. Шабаев. СПб, 2004г.

Приложение 1. Хронология наводнений в СПб

	- Опасное наводнение
	- Особо опасное наводнение
	- Катастрофическое наводнение

№ п/п	День и месяц	Год	Уровень подъема воды (см)
1	31 августа	1703	211
2	16 октября	1705	161
3	20 сентября	1706	262
4	16 сентября	1710	211
5	21 декабря	1710	211
6	16 ноября	1715	211
7	16 ноября	1721	265
8	21 ноября	1721	211
9	13 октября	1723	272
10	19 ноября	1723	211
11	12 ноября	1724	211
12	16 ноября	1725	216
13	29 сентября	1726	161
14	12 ноября	1726	270
15	2 октября	1727	161
16	14 августа	1728	161
17	14 октября	1729	161
18	23 октября	1729	237
19	26 сентября	1732	161
20	17 сентября	1733	161
21	9 октября	1733	161
22	11 ноября	1733	161
23	23 декабря	1733	161
24	9 марта	1735	161
25	21 сентября	1736	261
26	24 декабря	1736	161
27	30 декабря	1736	161
28	8 января	1737	161
29	17 декабря	1737	161
30	19 января	1738	211
31	23 сентября	1740	177
32	14 января	1741	161
33	15 октября	1741	161
34	12 декабря	1743	161
35	13 декабря	1743	161
36	17 декабря	1743	161
37	28 августа	1744	234
38	21 сентября	1744	211
39	2 ноября	1752	280

40	5 ноября	1752	204
41	6 ноября	1752	234
42	8 ноября	1752	204
43	22 декабря	1752	234
44	19 мая	1754	173
45	10 октября	1756	242
46	27 октября	1757	204
47	29 октября	1758	166
48	17 октября	1759	206
49	19 октября	1760	181
50	8 ноября	1762	199
51	21 декабря	1762	199
52	19 октября	1763	219
53	9 декабря	1763	183
54	17 ноября	1764	168
55	1 декабря	1764	244
56	8 ноября	1765	166
57	6 декабря	1765	189
58	30 ноября	1766	163
59	27 июня	1767	176
60	19 октября	1767	186
61	20 октября	1767	168
62	17 ноября	1767	171
63	5 ноября	1771	166
64	10 ноября	1771	173
65	19 ноября	1771	163
66	11 января	1773	178
67	9 августа	1773	181
68	25 октября	1773	196
69	26 июня	1775	178
70	27 августа	1777	173
71	21 сентября	1777	321
72	6 октября	1777	168
73	27 октября	1777	178
74	28 октября	1781	201
75	7 октября	1788	211
76	10 октября	1788	237
77	13 сентября	1797	161
78	5 декабря	1797	161
79	24 сентября	1799	198
80	6 ноября	1801	161
81	18 сентября	1802	224
82	29 сентября	1812	193
83	4 февраля	1822	254
84	19 ноября	1824	421
85	3 декабря	1828	165
86	1 сентября	1831	264
87	8 сентября	1832	161
88	29 августа	1833	163

89	22 ноября	1833	219
90	23 ноября	1833	215
91	11 сентября	1834	161
92	6 февраля	1835	178
93	29 октября	1836	203
94	11 сентября	1839	181
95	29 июня	1840	211
96	18 сентября	1840	161
97	11 октября	1841	171
98	13 октября	1843	196
99	17 декабря	1843	168
100	25 октября	1847	171
101	22 мая	1848	163
102	21 ноября	1848	183
103	7 октября	1849	163
104	26 октября	1851	171
105	1 ноября	1851	194
106	27 октября	1852	161
107	2 октября	1853	221
108	5 сентября	1854	183
109	5 октября	1854	194
110	27 октября	1854	196
111	8 декабря	1857	168
112	10 августа	1859	161
113	27 января	1863	161
114	28 января	1863	196
115	6 мая	1863	189
116	20 октября	1863	227
117	14 ноября	1863	183
118	9 декабря	1863	194
119	23 декабря	1863	163
120	26 декабря	1863	161
121	22 августа	1864	161
122	31 мая	1865	224
123	1 июня	1865	161
124	12 июля	1865	186
125	31 января	1866	229
126	7 октября	1866	166
127	15 ноября	1866	181
128	16 ноября	1866	161
129	19 ноября	1866	163
130	3 декабря	1868	161
131	13 сентября	1869	176
132	18 октября	1869	168
133	30 октября	1869	168
134	23 мая	1872	181
135	7 ноября	1872	183
136	1 ноября	1873	242
137	11 ноября	1873	161
138	26 января	1874	219

139	2 августа	1874	161
140	5 сентября	1874	201
141	13 сентября	1874	176
142	30 октября	1874	161
143	1 ноября	1874	178
144	10 ноября	1874	252
145	8 декабря	1874	237
146	29 августа	1879	167
147	4 сентября	1879	165
148	5 сентября	1879	221
149	23 октября	1879	189
150	7 июня	1880	163
151	19 ноября	1880	198
152	15 ноября	1881	174
153	21 февраля	1882	175
154	10 октября	1883	171
155	27 октября	1883	164
156	22 января	1884	170
157	29 октября	1884	187
158	29 декабря	1884	161
159	11 июня	1885	167
160	5 декабря	1885	162
161	19 декабря	1886	171
162	2 декабря	1887	176
163	30 октября	1888	179
164	19 декабря	1889	175
165	29 августа	1890	255
166	30 сентября	1890	168
167	3 октября	1890	208
168	30 октября	1890	193
169	20 сентября	1892	163
170	30 ноября	1893	163
171	14 ноября	1895	237
172	17 ноября	1895	164
173	8 октября	1896	206
174	7 ноября	1896	174
175	16 ноября	1897	242
176	15 сентября	1898	169
177	8 декабря	1898	240
178	20 ноября	1899	179
179	23 ноября	1899	181
180	26 ноября	1899	164
181	27 ноября	1899	168
182	8 февраля	1903	166
183	25 ноября	1903	269
184	9 сентября	1905	162
185	11 сентября	1905	211
186	21 июля	1909	181
187	12 января	1910	165
188	6 ноября	1911	171

189	3 октября	1912	168
190	18 марта	1913	175
191	30 ноября	1913	173
192	1 декабря	1913	180
193	5 декабря	1913	185
194	27 января	1914	213
195	30 апреля	1914	209
196	13 октября	1916	201
197	16 октября	1916	173
198	27 сентября	1917	199
199	28 ноября	1917	181
200	30 ноября	1917	244
201	24 августа	1918	224
202	22 ноября	1918	165
203	25 ноября	1919	161
204	4 октября	1921	209
205	22 октября	1921	193
206	1 ноября	1921	165
207	24 ноября	1922	228
208	25 ноября	1923	187
209	23 сентября	1924	380
210	3 января	1925	225
211	9 октября	1925	170
212	2 ноября	1927	188
213	10 февраля	1928	181
214	15 октября	1929	258
215	21 марта	1930	197
216	13 ноября	1930	163
217	21 октября	1931	203
218	8 января	1932	239
219	21 августа	1932	170
220	5 августа	1933	177
221	11 августа	1933	208
222	12 октября	1933	191
223	4 октября	1934	169
224	8 октября	1935	239
225	24 декабря	1936	161
226	9 сентября	1937	236
227	14 сентября	1938	233
228	25 ноября	1938	189
229	15 ноября	1940	167
230	24 ноября	1940	191
231	25 октября	1942	174
232	1 сентября	1944	170
233	3 октября	1948	212
234	22 октября	1948	216
235	23 октября	1948	196
236	28 октября	1949	189
237	29 сентября	1950	173
238	2 декабря	1951	175

239	7 декабря	1951	195
240	26 августа	1952	169
241	14 октября	1954	222
242	12 ноября	1954	198
243	15 октября	1955	293
244	30 ноября	1955	182
245	25 октября	1957	170
246	18 мая	1958	168
247	31 марта	1961	189
248	7 декабря	1961	171
249	13 сентября	1962	175
250	17 ноября	1963	203
251	14 декабря	1964	214
252	14 октября	1967	171
253	18 октября	1967	244
254	19 октября	1967	178
255	30 октября	1968	175
256	11 ноября	1969	166
257	22 декабря	1971	162
258	10 октября	1973	179
259	20 октября	1973	240
260	17 ноября	1974	242
261	6 января	1975	216
262	11 января	1975	164
263	29 сентября	1975	281
264	23 декабря	1975	176
265	31 декабря	1975	187
266	8 января	1976	167
267	7 сентября	1977	231
268	15 ноября	1978	204
269	19 ноября	1978	164
270	20 ноября	1978	204
271	22 ноября	1978	200
272	14 сентября	1979	195
273	28 сентября	1979	165
274	5 декабря	1979	172
275	6 декабря	1979	172
276	30 декабря	1980	166
277	21 октября	1981	178
278	25 ноября	1982	216
279	17 декабря	1982	215
280	14 января	1983	178
281	21 января	1983	184
282	26 сентября	1983	182
283	28 сентября	1983	174
284	20 октября	1983	190
285	22 октября	1983	170
286	25 октября	1983	168
287	1 ноября	1983	198
288	3 ноября	1983	200

289	25 ноября	1983	172
290	1 января	1984	231
291	4 января	1984	181
292	26 октября	1985	216
293	3 октября	1986	182
294	2 декабря	1986	207
295	4 декабря	1986	190
296	6 декабря	1986	260
297	17 января	1989	177
298	30 января	1989	173
299	29 марта	1989	199
300	27 января	1990	168
301	22 февраля	1990	200
302	27 февраля	1990	161
303	25 марта	1990	162
304	10 января	1991	166
305	11 января	1991	201
306	22 ноября	1991	173
307	30 декабря	1991	184
308	5 января	1992	175
309	23 января	1993	204
310	21 декабря	1993	168
311	2 октября	1994	219
312	4 октября	1994	184
313	12 октября	1994	228
314	16 октября	1994	163
315	24 ноября	1994	172
316	19 октября	1998	220
317	30 ноября	1999	262
318	15 ноября	2001	216
319	16 января	2002	171
320	5 февраля	2002	182
321	10 марта	2002	182
322	30 декабря	2003	199
323	9 января	2005	239
324	15 ноября	2005	169
325	28 октября	2006	224
326	15 декабря	2006	190
327	10 января	2007	220
328	16 января	2007	180
329	16-17 января	2007	168
330	19 января	2007	170
331	18 января	2008	171
332	03 февраля	2008	190