

## Морские нагонные наводнения в Санкт-Петербурге

Д.С. Тихонова <sup>1\*</sup> А.А. Шумихина <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 69.034.3

### Аннотация

*Методом обзора и анализа публикаций определено, что сложный характер волновой структуры колебаний является причиной изменчивости уровня Балтийского моря. Нагонная волна и локальное ветровое воздействие формируют волновое поле, представляющее собой суперпозицию стоячих колебаний со случайными фазами. Наложение и взаимное усиление данных факторов ведет к возникновению такого экстремального природного явления, как наводнение в восточной части Финского залива, которое в свою очередь ведет к существенному экономическому ущербу для Санкт-Петербурга, а также представляет опасность для населения. В статье рассмотрены пути решения данной проблемы – Комплекс защитных сооружений, обводные каналы, а также различные математические модели динамики поверхностных вод, позволяющие вовремя определить возникновение нагонной волны. Таким образом, при анализе исторических данных, связанных с идеями и методами защиты Санкт-Петербурга от наводнений в течение столетий, были выявлены наиболее эффективные разработки в этой области, а также указаны их недостатки и направления, которые необходимо проработать в ближайшее время.*

### Ключевые слова:

Финский залив, наводнения, циклоническая активность, гидротехнические сооружения, дамбы, берегозащитные сооружения, защитные меры, уровни воды, плотины, нагонная волна

### Содержание

1.	Введение	37
2.	Обзор литературы	37
3.	Цель работы	37
4.	Наводнения в Санкт-Петербурге	37
5.	Факторы, приводящие к подъему уровня воды в финском заливе	38
6.	Анализ возможных зон затопления побережья при различных высотах нагонных волн	38
7.	Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений	39
8.	Модели, результаты которых используются при решении задач, связанных с предотвращением угрозы наводнения	40
9.	Заключение	41

Контактный автор:

1\*. +7(981)9735889, dashka.2014@bk.ru (Тихонова Дарья Сергеевна, студент)

2. +7(911)0975275, Anastasya\_1011@mail.ru (Шумихина Анастасия Алексеевна, студент)

## 1. Введение

Наводнения относят к экстремальным природным явлениям гидрометеорологического происхождения. Ежегодно они наносят серьезный ущерб нашей стране и несут за собой социально-экономические проблемы. Необходимы доподлинные знания о наводнениях и ущербе, который они могут нанести для организации оптимальной защиты. К сожалению, на данный момент даже специалисты не обладают объективной информацией о глобальных масштабах этого явления. Проблема особенно актуальна в Северо-западной части России, в городе Санкт-Петербурге, расположенном на берегу Финского залива, что приводит к поискам новых эффективных решений, обладающих инвестиционной привлекательностью.

На протяжении трех столетий подъёмы воды в дельте Невы и восточной части Невской губы находятся под непрерывным наблюдением исследователей и ученых. В попытках решения данной проблемы была проделана огромная работа – множество теоретических и прикладных научных работ. В современном понимании, невыеские наводнения возникают под действием сложного механизма: циклоны, продвигающиеся вдоль Балтийского моря, образуют «медленную» нагонную волну и тянут ее за собой в устье Невы. В пути волна набирает обороты и приобретает разрушающую силу, но войдя в Неву, встречается с естественным течением реки. Мелководье и пологость дна восточной части Финского залива еще больше усиливают подъем воды.

Все разработки и исследования в данной области были наукоемкими и продолжительными, но их инвестирование всегда проходило на должном уровне, так как они напрямую связаны с безопасностью города. Даже сейчас вопрос о защите Санкт-Петербурга от наводнений остается актуальным, так как многие аспекты еще не изучены до конца, ведь наводнения делятся на опасные (161–210 см), особо опасные (211–299 см) и катастрофические (300 см и выше), а современные защитные сооружения спроектированы с расчетом лишь на особо опасные.

## 2. Обзор литературы

Глубокое и всестороннее рассмотрение различных аспектов прогнозирования и расчет наводнений содержится в работах Авакяна А.Б. и Kim H.S., Boettle M., где указывается на необходимость разработки новых методов оценки прямого и косвенного ущерба от наводнений [1-3]. Также на работе по получению обоснованных оценок возможных последствий после данного катастрофического природного явления настаивают Павловский А.А., Куликов Е.А. и Менжулин Г.В. и предлагают свою концепцию адаптационных мер для устойчивого развития Санкт-Петербурга [4-5].

Малинина Ю.В., Малинин В.В. в своих статьях исследовали схемы возможного затопления территории города при среднем многолетнем подъеме уровня воды в Финском заливе и предложили ряд возможных решений, которые требуют дальнейшей разработки [6-7].

В статье Кураева С.Н. дана комплексная оценка эффективности завершения строительства проекта Санкт-Петербургского КЗС, что характеризуется высоким показателем внутренней нормы доходности [8]. Василевский А.Г. в своей работе сделал другое обобщение на счет КЗС: необходима автоматизированная система наблюдений для своевременности получения показателей состояния и проведения анализа результатов измерений [9]. Большов А.С. и Фролов С.А. в своей статье исследовали оригинальную конструкцию затворов Комплекса защитных сооружений от наводнений и проанализировали работу этой системы [10].

Однако, несмотря на большой объем исследований, посвященный данной теме, до настоящего времени не были изучены универсальные математические модели, позволяющие без ограничений избавиться от неопределенности в расчетах наводнений. Также стоит уделить больше внимания вопросу экологичности защитных сооружений.

## 3. Цель работы

Целью работы является анализ защитных сооружений и методов предотвращения наводнений в Санкт-Петербурге, выявление наиболее эффективных, изучение их недостатков.

## 4. Наводнения в Санкт-Петербурге

За свою историю Санкт-Петербург пережил 323 наводнения, 3 из которых были катастрофическими (уровень подъема воды свыше 3-х метров). С начала своего основания город вел борьбу со стихией. По указу Петра Первого укрепляли берега рек, повышали высоту фундамента при строительстве. Были созданы каналы Грибоедова и Обводный, построены набережные. До 1920 года о приближающемся наводнении горожан оповещали пушечными выстрелами. Но, несмотря на все проводимые меры, защита была недостаточной и наводнения продолжали наносить экономический ущерб. Части города приходилось неоднократно восстанавливать после катастрофических наводнений, самым сильным из которых было наводнение 1824 г. (его пик достигал 421 см). Это наводнение разрушило 324 дома, половина остальных строений была повреждена, потопило 84 судна, унесло жизни

людей. Общий ущерб оставил около 20 млн рублей. Второе по силе наводнение случилось в 1924 году, 2/3 города оказалось под водой, сильно пострадала территория Ленинградской области. Экономике города был нанесен большой урон: частично разрушены дома и мосты, повреждена канализационная система, выброшены на берег более 100 судов. Наводнения в Петербурге случаются нерегулярно, но статистика позволяет сделать определенные выводы: 80% наводнений приходится на сентябрь-декабрь, 60% на ночное и вечернее время, раз в столетие происходит катастрофическое наводнение.

Санкт-Петербург обладает огромными культурными и материальными ценностями, для сохранности которых требуется серьезная защита от стихии. Первые попытки строительства защитного сооружения от наводнений в Санкт-Петербурге – каменной дамбы поперек Финского залива – были предприняты еще в начале XIX века, но технически реализовать замысел на тот момент было невозможно. Идею создания «водных ворот» возродили в 1979 году, однако с наступлением перестройки работы были приостановлены.

## 5. Факторы, приводящие к подъему уровня воды в финском заливе

Причина наводнений в Санкт-Петербурге была определена не сразу. Практически все крупные наводнения произошли осенью и зависели исключительно от силы и продолжительности ветра, преимущественно юго-западного или западного [11].

Принцип возникновения наводнения следующий: под действием циклона, который пересекает Балтийское море с запада на восток, рождается сильный ветер, сгоняющий воду к горлу Финского залива. В результате чего рождается нагонная волна, движущаяся со скоростью 40–60 километров в час. За 7-9 часов она переходит из западной части финского залива в восточную, но так как восточная часть залива значительно уже, то масса воды просто выкатывается в Невскую губу и дельту Невы. Такие показатели, как течение и падение воды у рукавов Невы невелики, по этой причине возникает обратный напор. Река выходит из берегов, вода распространяется с очень большой скоростью, в результате чего за пару часов ее уровень повышения может исчисляться метрами [12,13].

Выявление истинной причины наводнений в Санкт-Петербурге значительно облегчило наблюдения за возможным подъемом уровня воды. В настоящее время наблюдения за уровнем ведутся на 10 метеостанциях восточной части Финского залива. Это позволяет предупредить наводнение за 6-7 часов до его возникновения и принять необходимые защитные меры [14].

## 6. Анализ возможных зон затопления побережья при различных высотах нагонных волн

В настоящее время площадь затапливаемой территории Санкт-Петербурга составляет около 3 % от общей площади города, около 4050 га. Зоны затопления города определяются Научно-исследовательским и проектным центром Генерального плана Санкт-Петербурга по данным МЧС России, утвержденным схемам использования водных объектов Невы и анализу данных о предыдущих наводнениях [15].

В условиях защищенной акватории затоплению при нагонных наводнениях подвержены прибрежные низинные территории Приморского, Петроградского, Василеостровского, Адмиралтейского, Кировского, Красносельского, Петродворцового и Кронштадтского районов Санкт-Петербурга. В связи с природной опасностью большое внимание уделяется сооружениям, подверженных наводнению со стороны Невской губы [16]. Площадь, подверженная затоплению, будет зависеть от уровня подъема воды [17,18].

Наводнением в Санкт-Петербурге считается подъем воды выше 160 см над нулем Кронштадтского футштока. Опасным считается наводнение с уровнем подъема воды 161-210 см, зоны затопления представлены на рисунке 1.



Рис. 1

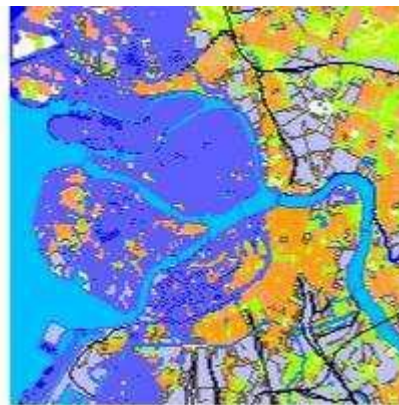


Рис. 2

Особо опасным считается наводнение с уровнем подъема воды 210-299 см, зоны затопления представлены на рисунке 2.

Катастрофическим считается наводнение с уровнем подъема воды 300 см и выше, зоны затопления при уровне подъема воды на 4 метра представлены на рисунке 3, при уровне подъема на 5 метров на рисунке 4.

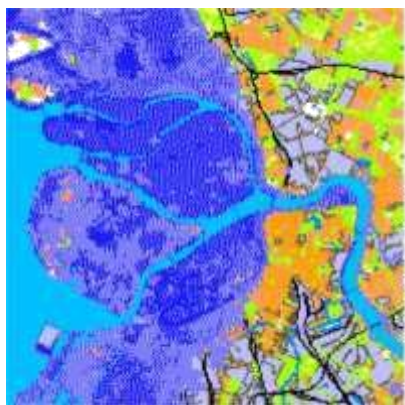


Рис. 3

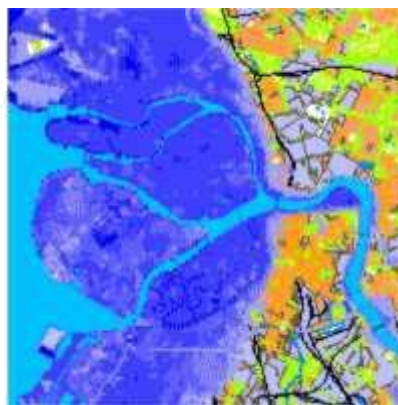


Рис. 4

Современное оборудование позволяет провести топографическую съемку города для получения электронной модели рельефа, по которой специалисты могут оценивать уровень безопасности районов города при возникновении чрезвычайной ситуации [19,20,21].

## 7. Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений

Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений при угрозе наводнения изолирует Невскую губу от Финского залива. Трасса сооружений имеет длину 25,4 км, из них 22,2 км проходит по акватории залива. Расположение комплекса в створе п. Горская – г. Кронштадт – г. Ломоносов выбрано в виду подходящих по расчетам инженерно-геологических, топографических и гидрологических условий. Помимо этого, данный проект способствует развитию Кронштадта и Ломоносова, не нарушая генеральный план развития Санкт-Петербурга. Как видно из рисунка 5, в состав комплекса защитных сооружений входят 11 дамб Д1—Д11, 6 водопропускных сооружений В-1-В-6, 2 судопропускных сооружения, два подходных канала к С-1 и С-2, а также шестиполосная автомагистраль с мостами, тоннелем и транспортными развязками, проходящая по гребню защитных дамб, объекты эксплуатационного и обслуживающего назначения.



Рис.5

При проектировании данного гидротехнического сооружения была проведена огромная работа по исследованию морских нагонных наводнений, волновых и гидравлических режимов. Был проделан ряд гидрологических, гидробиологических, микробиологических исследований, результаты которых подтвердили, что защитные сооружения при открытых водопропускных и судопропускных отверстиях не являются причиной ухудшения гидрологического режима Невской губы [22]. Они не повлияют на экологию данной среды, поэтому не вызовут отрицательного воздействия на санитарный режим губы. Путем проведения экологических экспертиз была подтверждена истинность указанных выводов по теме природоохранных разделов проекта. Гидрологические и экологические исследования проводятся и сейчас с целью регулярного отслеживания экологической обстановки восточной части Финского залива. Уровни наводнений, предусмотренные проектом, рассчитаны на основе статистических данных с помощью гидравлических и математических моделей. Максимальный уровень для комплекса защитных сооружений составляет 4,55 м над уровнем моря [23].

Таким образом, комплекс защитных сооружений от наводнений позволяет решить огромное количество народно-хозяйственных задач: обеспечение безопасности города с многомиллионным населением, предотвращение материального, культурного ущерба, нанесенного городу в случае наводнения, трасса сооружений замыкает кольцевую автомагистраль, тем самым разгружая городские дороги от грузового транзитного транспорта, что положительно сказывается и на воздушной среде города [24].

## 8. Модели, результаты которых используются при решении задач, связанных с предотвращением угрозы наводнения

Прогнозирование и предотвращение угрозы наводнений в Санкт-Петербурге производится при помощи некоторого набора моделей. Причем есть модели, которые используются в оперативном режиме, например, BSM, SWAN, а есть те, которые постепенно разрабатываются и по возможности включаются в оперативный цикл работы или используются для изучения свойств и особенностей моделируемого процесса [25].

Для прогнозирования и расчетов угрозы наводнения существует ряд моделей, который можно классифицировать на следующие группы: атмосферные модели, модели морской динамики, модели морского волнения, модели выработки планов маневрирования и модели оценки рисков.

В Санкт-Петербурге из атмосферных моделей используют GFS (Global Forecast System), WRF (Weather Research and Forecasting Model), HIRLAM (High Resolution Limited Area Model), COSMO (Consortium for Small-scale Modeling) [26]. Наиболее интересные из них – это WRF и HIRLAM. WRF – это модель прогноза погоды, разработана как для оперативного прогнозирования, так и для исследования атмосферных процессов с научной точки зрения. Также данная модель позволяет получить подробные

прогнозы ветра и давления в нужном месте.HIRLAM отличается тем, что выдает только краткосрочные прогнозы над акваторией северной Атлантики и Европой. В этой модели прогнозы более точные и могут предоставляться заблаговременно (за 60 часов).

Среди моделей морской динамики используют только две: BSM (Baltic Sea Model) и BALT-P. BSM разработана специально для прогнозирования нагонных наводнений в Санкт-Петербурге, поэтому сразу может учитывать гидрометеорологические особенности района [27]. Модель основана на решении систем гидродинамических и математических уравнений. BALT-P – трехмерная бароклинная гидродинамическая модель Балтийского моря, которая позволяет рассчитывать трехмерные структуры течений.

В моделях морского волнения чаще всего используют SWAN (Simulating Waves Nearshore). Она создана для расчета синоптических прогнозов морского волнения в прибрежных акваториях и закрытых водоемах.

На данный момент для решения комплексной проблемы прогнозирования и предотвращения наводнений используется совокупность моделей, которые по отдельности решают связанные между собой задания, так как при решении исследовательских задач иногда требуется рассмотреть более частную задачу в рамках общей схемы.

## 9. Заключение

Наводнение всегда было одним из главных предметов внимания в Санкт-Петербурге в виду его географического положения. Отличительной особенностью морских нагонных наводнений в городе на Неве является их внезапность и сложность при прогнозировании.

На данный момент город успешно справляется со стихией благодаря построенному Комплексу защитных сооружений с самой современной системой управления на базе оборудования «Сименс». Внедрив резервированные многоуровневые распределительные системы по управлению комплексом, появилась гарантия защиты города, а также возросла эффективность эксплуатации КЗС.

Строительство данного гидротехнического сооружения потребовало огромных физических и материальных затрат, но позволило надежно защитить город, не принося существенного вреда экологии. Благодаря использованию моделей возможно точное прогнозирование время наводнения, высоты волны. Анализ полученной информации влияет на дальнейшее проведение защитных мер, а также принятие решения по закрытию и открытию дамбы. Исторический опыт показывает, что построенная дамба является единственным надежным сооружением для защиты города и его жителей от наводнений высотой порядка 3 метров. Однако вопрос совершенствования защитных мер и прогнозирования стихии остается открытым, так как дамба имеет свои пределы защиты, которых может не хватить при катастрофическом наводнении. Стоит принять во внимание, что последнее наводнение с высотой волны в 4, 21 метра было зафиксировано в 1824 г., но учитывая постоянный рост катастрофических явлений, связанных с глобальными изменениями климатических условий, угроза его повторения становится все ближе.

Таким образом, стоит предусмотреть угрозу катастрофических наводнений и принять меры по совершенствованию КЗС, с целью защиты города от волн высотой более 3 метров или же создать дополнительное сооружение для подобного случая.

## Благодарности

Авторы выражают признательность научному консультанту, доценту, кандидату технических наук, заведующему кафедрой «Водохозяйственное и гидротехническое строительство» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого И. Того за оказанную помощь при проведении данного исследования и написании статьи.

### Литература

- [1]. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения как глобальная проблема // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. №1. С. 180-193.
- [2]. Na H., Kim H.S., Lee H.J., Kim D.S., Know S. Preliminary feasibility study of post-flooding ex-vessel corium cooling strategy by CFD spreading simulations and concrete ablation analysis. Progress in Nuclear Energy. 2017. No. 97. Pp. 139-152.

### References

- [1]. Avakyan A.B., Istomina M.N. Navodneniya kak globalnaya problema [Floods as a global problem]. Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya. 2013. №1. Pp. 180-193. (rus)
- [2]. Na H., Kim H.S., Lee H.J., Kim D.S., Know S. Preliminary feasibility study of post-flooding ex-vessel corium cooling strategy by CFD spreading simulations and concrete ablation analysis. Progress in Nuclear Energy. 2017. No. 97. Pp. 139-152.
- [3]. Boettle M., Rybski D., Kropp J. P. Quantifying the effect of sea level rise and flood defence; a point process perspective on coastal flood damage. Natural Hazards

- [3]. Boettle M., Rybski D., Kropp J. P. Quantifying the effect of sea level rise and flood defence; a point process perspective on coastal flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2016. No. 16(2). Pp. 559-576.
- [4]. Павловский А.А., Менжулин Г.В. О динамике Санкт-Петербургских наводнений в различные климатические периоды и оценке изменений уровня Финского залива при ожидаемом глобальном потеплении // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2010. №2. С. 71-83.
- [5]. Куликов Е.А., Медведев И.П. Изменчивость уровня Балтийского моря и наводнения в Финском заливе // Океанология. 2013. №2. С. 167.
- [6]. Павловский А.А., Малинина Ю.В. Повышение уровня Финского залива в XXI веке: сценарий и последствия. К вопросу о затоплении береговой зоны в пределах курортного района Санкт-Петербурга // Общество. Среда. Развитие. 2010. №4. С. 219-226.
- [7]. Малинин В.Н., Митина Ю.В., Шевчук О.И. К оценке затопления побережья курортного района Санкт-Петербурга при прохождении экстремальных наводненческих циклонов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 29. С. 138-145.
- [8]. Кураев С.Н. Комплекс сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений // Гидротехника. 2009. №1. С. 28-31.
- [9]. Василевский А.Г. Из истории строительства комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений вклад ВНИИГ им. Б.Е. Веднеева в создание КЗС // Гидротехника. 2009. № 1. С. 32-33.
- [10]. Большев А.С., Фролов С.А., Чернецов В.А., Фдиповская Т.В. Система мягкой посадки плавучего затвора судопропускного сооружения С-1 комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений // Инженерно-строительный журнал. 2012. №9(35). С. 103-112.
- [11]. Дьяконова Т.А., Писарев А.В., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Математическая модель динамики поверхностных вод // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: математика. Физика. 2014. №1. С. 35-44.
- [12]. Самолубов Б.И., Иванова И.Н. Влияние волновых процессов на структуру стратифицированных течений в заливе // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2010. Т. 74. №12. С. 1760-1764.
- [13]. Martins K., Blenkinsopp C. E., Almar R., Zang J. The influence of swash-based reflection on surf zone hydrodynamics: a wave-by-wave approach. *Coastal Engineering*. 2017. No. 122. Pp. 27-43.
- [4]. Pavlovskiy A.A., Menzhulin G.V. O dinamike Sankt-Peterburgskikh navodneniy v razlichnyye klimaticheskiye periody i otsenke izmeneniy urovnya Finskogo zaliva pri ozhidayemom globalnom poteplenii [On the dynamics of St. Petersburg floods in different climatic periods and the assessment of changes in the level of the Gulf of Finland with the expected global warming]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya*. 2010. №2. Pp. 71-83. (rus)
- [5]. Kulikov Ye.A., Medvedev I.P. Izmenchivost urovnya Baltiyskogo morya i navodneniya v Finskom zalive [Variability of the Baltic Sea level and flooding in the Gulf of Finland] *Okeanologiya*. 2013. №2. Pp. 167. (rus)
- [6]. Pavlovskiy A.A., Malinina Yu.V. Povysheniye urovnya Finskogo zaliva v XXI veke: stseneriy i posledstviya. K voprosu o zatopenii beregovoy zony v predelakh kurortnogo rayona Sankt-Peterburga [The increase in the level of the Gulf of Finland in the 21st century: the scenario and consequences. On the issue of inundation of the coastal zone within the resort area of St. Petersburg]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitiye*. 2010. №4. Pp. 219-226. (rus)
- [7]. Malinin V.N., Mitina Yu.V., Shevchuk O.I. K otsenke zatopeniya poberezhya kurortnogo rayona Sankt-Peterburga pri prokhozhenii ekstremalnykh navodnencheskikh tsiklonov [Assessment of the flooding of the coast of the resort area of St. Petersburg during the passage of extreme floodwater cyclones]. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2013. № 29. Pp. 138-145. (rus)
- [8]. Kurayev S.N. Kompleks sooruzheniy zashchity Sankt-Peterburga ot navodneniy [Complex of St Petersburg Flood Protection Structures]. *Gidrotekhnika*. 2009. №1. Pp. 28-31. (rus)
- [9]. Vasilevskiy A.G. Iz istorii stroitelstva kompleksa zashchitnykh sooruzheniy Sankt-Peterburga ot navodneniy vklad VNIIG im. B.Ye. Vedneyeva v sozdaniye KZS [The history of the construction of a complex of protective structures of St. Petersburg from floods] *Gidrotekhnika*. 2009. № 1. Pp. 32-33. (rus)
- [10]. Bolshev A.S., Frolov S.A., Chernetsov V.A., Fdipovskaya T.V. Sistema myagkoy posadki plavuchego zatvora sudopropusknoy sooruzheniya S-1 kompleksa zashchitnykh sooruzheniy Sankt-Peterburga ot navodneniy [System of soft landing of the floating shutter of the S-1 navigational passage through the complex of St. Petersburg's defenses against floods] *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2012. №9(35). Pp. 103-112. (rus)
- [11]. Dyakonova T.A., Pisarev A.V., Khoperskov A.V., Khrapov S.S. Matematicheskaya model dinamiki poverkhnostnykh vod [Mathematical model of surface water dynamics]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1: matematika. Fizika*. 2014. №1. Pp. 35-44. (rus)
- [12]. Samolyubov B.I., Ivanova I.N. Vliyaniye volnovykh protsessov na strukturu stratifitsirovannykh techeniy v zalive [The influence of wave processes on the structure of stratified currents in the Gulf] *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya fizicheskaya*. 2010. T. 74. №12. Pp. 1760-1764. (rus)
- [13]. Martins K., Blenkinsopp C. E., Almar R., Zang J. The influence of swash-based reflection on surf zone

- [14]. Русецкий А.П. Расчет скоростей на гребнях водосливов-прорезей дамб затапливаемых польдеров // Мелиорация. №2(62). С. 30-41.
- [15]. Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Виноградова Т.А. Математические модели для прогнозирования процесса распространения волн и катастрофических паводков в системах открытых русел и водотоков // Вестник Санкт-петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2009. №3. С. 139-144..
- [16]. Сметанин В.И., Насонов А.Н., Жогин И.М., Цветков И.В. Определение территориальных зон возведения защитных противопаводковых дамб с использованием фрактального анализа речной системы // Природообустройство. 2013. №5. С. 54-59.
- [17]. Vu T.T., Ranzi R. Flood risk assessment and coping capacity of floods in central Vietnam. Journal of Hydro-Environment Research. 2017. No. 14. Pp. 44-60.
- [18]. Powers N. Practical risk based approach to determine flood impact. Maintenance, Monitoring, Safety, Risk and Resilience of Bridges and Bridge Networks – Proceedings of the 8th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS. 2016. Pp. 451-458.
- [19]. Попов С.К., Лобов А.Л., Елисов В.В. Расчет наводнений в Санкт-Петербурге по трехмерной бароклинной модели BALT-P // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2015. №354. С. 96-111.
- [20]. Yuan X., Xue W., Feng G., Li C. A coupled one-and two-dimensional hydrodynamic model for analysis of levee-breach flood and its application. Advances in Science and Technology of Water Resources. 2016. No. 36(4). Pp. 53-58.
- [21]. Estupina-Borrell V., Dartus D., Ababou R. Flash flood modeling with the MARINE hydrological distributed model. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 2006. No. 3(6). Pp. 3397-3438.
- [22]. Курбанов С.О. Совершенствование конструкций и технологий строительства дренажных устройств земляных плотин и дамб // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10-2. С. 203-207.
- [23]. Кашарин Д.В., Тхай Т.Т.К. Повышение устойчивости оснований мобильных дамб для инженерной защиты зданий от затопления // Инженерно-строительный журнал. 2013. №4(39). С. 51-59.
- [24]. Zakwan M. Application of optimization technique to estimate IDF parameters. Water and Energy International. 2016. No. 59RNI(5). Pp. 69-71.
- [25]. Леонтьев И.О., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Куренной Д.Н. Береговой профиль восточной части Финского залива: результаты наблюдений и реконструкция развития в hydrodynamics: a wave-by-wave approach. Coastal Engineering. 2017. No. 122. Pp. 27-43.
- [14]. Rusetskiy A.P. Raschet skorostey na grebnyakh vodoslivov-prorezey damb zataplivayemykh polderov [Calculation of velocities on ridges of weirs-slits of dams of flooded polders]. Melioratsiya. №2(62). Pp. 30-41. (rus)
- [15]. Voyevodin A.F., Nikiforovskaya V.S., Vinogradova T.A. Matematicheskiye modeli dlya prognozirovaniya protsessa rasprostraneniya voln i katastroficheskikh pavodkov v sistemakh otkrytykh rusel i vodotokov [Mathematical models for forecasting the process of wave propagation and catastrophic floods in systems of open channels and streams]. Vestnik Sankt-peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya. 2009. №3. Pp. 139-144. (rus)
- [16]. Smetanin V.I., Nasonov A.N., Zhogin I.M., Tsvetkov I.V. Opredeleniye territorialnykh zon vozvedeniya zashchitnykh protivopavodkovykh damb s ispolzovaniyem fraktalnogo analiza rechnoy sistemy [Determination of territorial zones for erecting protective flood control dams using fractal analysis of the river system]. Prirodoobustroystvo. 2013. №5. Pp. 54-59. (rus)
- [17]. Vu T.T., Ranzi R. Flood risk assessment and coping capacity of floods in central Vietnam. Journal of Hydro-Environment Research. 2017. No. 14. Pp. 44-60.
- [18]. Powers N. Practical risk based approach to determine flood impact. Maintenance, Monitoring, Safety, Risk and Resilience of Bridges and Bridge Networks - Proceedings of the 8th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS. 2016. Pp. 451-458.
- [19]. Popov S.K., Lobov A.L., Elisov V.V. Raschet navodneniy v Sankt-Peterburge po trekhmernoy baroklinnoy modeli BALT-P [Calculation of floods in St.-Petersburg on a three-dimensional baroclinic model BALT-P]. Proceedings of the Hydrometcentre of Russia. 2015. No. 354. Pp. 96-111. (rus)
- [20]. Yuan X., Xue W., Feng G., Li C. A coupled one-and two-dimensional hydrodynamic model for the analysis of levee-breach flood and its application. Advances in Science and Technology of Water Resources. 2016. No. 36 (4). Pp. 53-58.
- [21]. Estupina-Borrell V., Dartus D., Ababou R. Flash flood modeling with the MARINE hydrological distributed model. Hydrology and Earth System Sciences. 2006. No. 3(6). Pp. 3397-3438.
- [22]. Kurbanov S.O. Sovershenstvovanie konstruksiy i tekhnologiy stroitel'stva drenaznykh ustroystv zemlyanykh plotin i damb [Improving the design and technology construction of drainage devices earth dikes and dams] International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015. No. 10-2. Pp. 203-207 (rus)
- [23]. Kasharin D.V., Tkhai T.T.K. Povysheniye ustoychivosti osnovaniy mobil'nykh damb dlya inzhenernoy zashchity zdaniy ot zatopleniya [Improving the sustainability of grounds mobile dams for engineering protection of buildings from flooding]. Magazine of Civil Engineering. 2013. No. 4 (39). Pp. 51-59. (rus)
- [24]. Zakwan M. Application of optimization technique to estimate IDF parameters. Water and Energy International. 2016. No. 59RNI (5). Pp. 69-71.
- [25]. Leont'yev I.O., Ryabchuk D.V., Spiridonov M.A., Kurennoy D.N. Beregovoy profil' vostochnoy chasti Finskogo zaliva: rezul'taty nablyudeniya i rekonstruksiya razvitiya v pozdnem golotsene [Coastal



- позднем голоцене // Океанология. 2010. Т. 50. №6. С. 1034-1044.
- [26]. Еналдиева М.А., Ламердонов З.Г. Способ повышения устойчивости откосных креплений дамб // Природообустройство. 2011. №1. С. 60-62.
- [27]. Wang Y.H., Zou Y., Xu L., Zheng L. Analysis of Water Flow Pressure on Bridge Piers considering the Impact Effect. Mathematical Problems in Engineering. 2015. No. 123X. Pp. 1563-1589.
- profile of the Eastern part of the Gulf of Finland: observations and reconstruction of the development in the late Holocene]. Oceanology. 2010. T. 50. No. 6. Pp. 1034-1044. (rus)
- [26]. Enaldieva M.A., Lamerdonov Z.G. Sposob povysheniya ustoychivosti otkosnykh kreplenyi damb [A method of increasing the stability of the wing mounts dams]. Prirodoobustroystvo. 2011. No.1. Pp. 60-62. (rus)
- [27]. Wang Y.H., Zou Y., Xu L., Zheng L. Analysis of Water Flow Pressure on the Bridge Piers considering the Impact Effect. Mathematical Problems in Engineering. 2015. No. 123X. Pp. 1563-1589.

*Тихонова Д.С., Шумихина А.А., Морские нагонные наводнения в Санкт-Петербурге // Alfabuild. 2017. №1 (1). С. 36-45*

*Tikhonova D.S., Shumikhina A.A. Sea surge floods in Saint-Petersburg. Alfabuild, 2017, 1 (1), Pp. 36-45(rus)*

---

## Sea surge floods in Saint-Petersburg

D.S. Tikhonova <sup>1\*</sup> A.A. Shumikhina <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

---

Article info

review article

### Abstract

*The complex nature of the wave structure of the oscillations is the reason for the variability of Baltic sea level. It was determined by the method of statistical data analysis. Surge wave and wind influence the local shape of the wave field which is a superposition of standing oscillations with random phases. Overlaying and mutual strengthening of these factors leads to the occurrence of such extreme events as flooding in the Eastern part of the Gulf of Finland. The article discusses the solutions to this problem – the complex of protective structures, bypass channels, and a different mathematical model for the dynamics of surface water, to detect the occurrence of surge. Considered are the main protective structures of St. Petersburg from floods and proposed new solutions to the problem.*

Keywords:

gulf of Finland, floods, cyclonic activities, hydraulic structures, dams, coast protection, protective action, water levels

---

---

Corresponding author:

1\*. +7(981)9735889, dashka.2014@bk.ru (Tikhonova Darya, Student)

2. +7(911)0975275, Anastasya\_1011@mail.ru (Shumikhina Anastasya, Student)