О РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ МЕР ПО АДАПТАЦИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ

А.А. Павловский

Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга,
pal@yandex.ru

Рассматриваются возможные последствия изменения климата Санкт-Петербурга и меры по адаптации к ним. Особое внимание уделено направлениям, указанным в Стратегии социально-экономического развития Санкт-Петербурга на долгосрочную перспективу: формированию кадастра выбросов парниковых газов, защите побережья от затопления и размыва. Показано, что последствия глобального потепления для Санкт-Петербурга могут затронуть практически все антропогенные и природные компоненты мегаполиса, а также быть существенно усилены локальным возмущением естественного климата, обусловленным урбанизацией в условиях мегаполиса.

Ключевые слова: изменения климата, мегаполис, последствия, городское планирование, меры по адаптации.

ON DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF PRIORITY MEASURES FOR ADAPTATION OF ST. PETERSBURG TO CLIMATE CHANGES

A.A. Pavlovskii

Saint-Petersburg Master Plan State Research and Design Center, Saint-Petersburg, Russia

The adverse effects of climate change are a critical threat to sustainable urban development in the twenty-first century. The article discusses the possible impacts of climate change on St. Petersburg and adaptation measures for them. Special attention is paid to the directions specified in the Strategy of Social and Economic Development of St. Petersburg for the long term: formation of an inventory of greenhouse gas emissions, protection of the coast from flooding and erosion.

Available estimates of greenhouse gas emissions in St. Petersburg are analyzed. Comparative estimates of changes in emissions of harmful substances from the main thermal power plants of St. Petersburg in the 1980s and in the 2020 are presented in the article, total emission from main energy plants having decreased more than 4 times. Achievements of St. Petersburg energy complex in transition to gas fuel are shown.

Global warming can affect almost all anthropogenic and natural components of the metropolis St. Petersburg. In addition, they can be significantly strengthened by the urban heat island, which has become a characteristic of St. Petersburg in the late 19th century. Trends of St. Petersburg population growth and density of urban development make it possible to say that the development of the island of heat will continue in the next decades.

The author proposes boundary delimitation of the maritime zone of St. Petersburg, determined on the basis of a comprehensive analysis of the various zones related to the protection of the eastern Gulf of Finland.

Practically all climatic normals of St. Petersburg presented in normative documents have changed at present. This circumstance requires updating of these documents. Extreme estimates of sea level rise pose a major threat to the security for the coast and population of St. Petersburg in the 21st century under global warming. Estimates of global warming impacts should be taken when planning urban development for the long-term.

Keywords: climate changes, megalopolis, consequences, urban planning, adaptation measures.

For citation: Pavlovskii A.A. On Development and Implementation of Priority Measures for Adaptation of St. Petersburg to Climate Changes. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*. Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 111—126. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-111-126

Введение

Экономическое развитие человеческой цивилизации в индустриальную эпоху, сопровождавшееся массовым сжиганием ископаемых видов топлива и вследствие этого беспрецедентным по скорости увеличением концентрации в атмосфере парниковых газов (углекислого газа, метана, закиси азота и др.), способствовало развитию глобального потепления, наблюдающегося в настоящее время [1].

Согласно Стратегии пространственного развития РФ, климатические изменения и их отрицательные последствия, проявляющиеся в том числе в увеличении повторяемости опасных гидрометеорологических явлений, относятся к основным экологическим проблемам пространственного развития России в XXI веке. Санкт-Петербург, крупнейшая агломерация и центр Северо-Западного макрорегиона России, уже в настоящее время испытывает на себе негативные последствия глобального потепления.

Поскольку современный мегаполис, каким является Санкт-Петербург, представляет собой сложную природно-антропогенную систему, компоненты которой в той или иной степени подвержены влиянию климатических изменений, получение обоснованных оценок последствий глобального потепления для его населения, экономики, инфраструктуры и окружающей среды следует производить в рамках междисциплинарного геоэкологического исследования с применением системного подхода.

Разработка и реализация мер по адаптации к климатическим изменениям относятся к числу важнейших задач для достижения цели по обеспечению экологического благополучия на территории Санкт-Петербурга, предусмотренной Стратегией социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 г. (Стратегия-2035).

В настоящей статье рассматриваются основные последствия глобального потепления, с которыми может столкнуться Санкт-Петербург в XXI веке, а также возможные меры по адаптации к ним.

Исходные данные и методы

Климатическая информация, использованная в исследовании, была получена в специализированных архивах Мировых центров данных гидрометеорологической информации (<http://meteo.ru/>; <https://www.ncdc.noaa.gov/>). Сведения об изменении уровня моря получены из базы данных PSMSL и электронного атласа «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана» (<https://www.psmsl.org/>; <http://esimo.aari.ru/portal/>).

Прогностические гидрометеорологические параметры и динамика уровня моря, рассчитанные с использованием климатических моделей, получены на

сайте центра распространения данных Межправительственной группы экспертов по изменению климата (<https://www.ipcc.ch/>; <https://www.ipcc-data.org/>).

Для получения информации об утвержденной природоохранной и санитарно-гигиенической документации использовался реестр санитарно-эпидемиологических заключений на проектную документацию Роспотребнадзора (<http://fr.crc.ru/>).

Сведения документов стратегического планирования города Санкт-Петербурга: Стратегия социально-экономического развития, Прогноз социально-экономического развития на среднесрочный и долгосрочный периоды, Генеральный план Санкт-Петербурга — получены на официальных сайтах Администрации города (<http://cedipt.spb.ru/>; <http://kgainfo.spb.ru/>).

Сведения об объектах недвижимости, объектах землеустройства, картографическая, информация и иные необходимые пространственные данные были получены в Региональной информационной системе «Геоинформационная система Санкт-Петербурга» и Публичной кадастровой карте Росреестра (<http://rgis.spb.ru/map/main.aspx>; <https://pkk5.rosreestr.ru/>).

Общие сведения о состоянии окружающей среды города приняты по данным Экологического портала Санкт-Петербурга (<http://www.infoeco.ru/>). Анализ динамики климатических параметров производился с помощью методов статистической обработки гидрометеорологической информации. Оценка степени развития «городского острова тепла» в Санкт-Петербурге была произведена на основе оригинальной методики, базирующейся на статистической обработке климатической информации и на приемах интерполяции метеопараметров по набору окружающих город станций [2].

Последствия изменений среднего уровня моря в восточной части Финского залива и зоны затопления от него анализировались с применением ландшафтного подхода, информационно-картографического метода и ГИС-технологий. Комплексная оценка влияния современных изменений климата и их последствий на устойчивое развитие Санкт-Петербурга в XXI веке осуществлялась с использованием системного подхода.

Результаты исследований

Стратегией-2035 признается, что изменения климата являются одной из важнейших проблем XXI века, угрожающих устойчивому развитию Санкт-Петербурга. В связи с этим одной из основных задач по обеспечению экологической безопасности города является обеспечение адаптации к климатическим изменениям, в том числе минимизация выбросов парниковых газов и создание системы берегозащиты Санкт-Петербурга.

В соответствии с общемировыми планами не позволить средней глобальной многолетней температуре приземного воздуха повыситься более чем на 2 °С, а по возможности на 1,5 °С по сравнению с показателями доиндустриальной эпохи, в Санкт-Петербурге предусмотрено формирование кадастра выбросов парниковых газов. В 2016 г. по заказу Комитета по природопользованию, охране окружающей

среды и обеспечению экологической безопасности силами НИИ «Атмосфера» была выполнена специализированная работа по инвентаризации выбросов в Санкт-Петербурге парниковых газов: двуокиси углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) (<http://www.infoeco.ru/index.php?id=3134>). В настоящем исследовании показано, что в период 2011—2015 гг. средний вклад Санкт-Петербурга в суммарный российский выброс парниковых газов составлял немногим более одного процента. В городском балансе доминировал сектор «Энергетика» (93 %), к которому относятся выбросы парниковых газов в результате сжигания углеродосодержащего топлива в энергетических целях; также существенная доля принадлежала категории «Отходы» (6,4 %). Выбросы парниковых газов от секторов «Промышленные процессы и использование продукции» и «Сельское хозяйство» составили по 0,3 % (<http://www.infoeco.ru/index.php?id=3134>).

К сожалению, в настоящее время отсутствуют продолжительные ряды данных наблюдений за выбросами парниковых газов в Санкт-Петербурге. Непрерывный ряд в целом для России представлен на сайте Росстата для периода с 2010 по 2017 г. (<https://gks.ru/>). Данные свидетельствуют о незначительной положительной тенденции, но ввиду короткого ряда не могут быть использованы для того, чтобы сделать какие-нибудь обоснованные выводы.

Создание реестра выбросов парниковых газов представляется важным в настоящее время, когда Россия приняла Парижское соглашение от 12 декабря 2015 г. и в продолжение своих существующих обязательств по Рамочной конвенции ООН об изменении климата от 9 мая 1992 г. планирует сокращение эмиссий к 2030 г. на 25—30 % от уровня 1990 г.

Согласно имеющейся информации, России удалось достичь показателей по сокращению выбросов парниковых газов по отношению к 1990 г. на уровне более 40 %. При этом такое сокращение выбросов является результатом не только политического и экономического кризиса, с которым столкнулась наша страна в конце 1980-х — в 1990-е годы, но и деятельности по модернизации топливно-энергетического и других секторов народного хозяйства (<http://ipem.ru/>).

В связи с тем что для Санкт-Петербурга отсутствует надежная статистическая информация о динамике выбросов парниковых газов за несколько десятков лет, продемонстрируем это на примере сравнения эмиссий вредных веществ от основных теплоэлектроцентралей города по данным Комплексной схемы охраны окружающей среды Ленинграда на период до 2005 г. (КСООС-2005) и в соответствии с действующей природоохранной и санитарно-эпидемиологической документацией по этим объектам (проекты нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ, проекты санитарно-защитных зон) (<http://fp.crc.ru/>).

На рис. 1 представлены столбчатые диаграммы выбросов вредных веществ девятью теплоэлектроцентралями (ТЭЦ) города в конце 1980-х годов и в настоящее время. Отметим, что масса выбросов загрязняющих веществ данными ТЭЦ сократилась примерно в четыре раза, что наглядно свидетельствует о достижении показателей по охране окружающей атмосферного воздуха, предусмотренных КСООС-2005, в части совершенствования технологических процессов производства, оснащения газоочистными и пылеулавливающими установками,

тыс. т/год

Рис. 1. Диаграмма суммарных выбросов вредных веществ ТЭЦ Санкт-Петербурга в конце 1980-х годов (по данным КСООС-2005) и в 2020 г. (по данным утвержденной природоохранной документации объектов).

1 — выбросы вредных веществ в конце 1980-х годов, 2 — выбросы вредных веществ в 2020 г.

Fig. 1. Diagram of total emissions of harmful substances from St. Petersburg combined heat and power plants in the late 1980s (according to the Integrated environmental protection scheme – 2005) and 2020 (according to the approved environmental documentation of the facilities).

1 – emissions of harmful substances in the late 1980s; 2 – emissions of harmful substances in 2020.

совершенствования топливного баланса с увеличением доли природного газа (в настоящее время этот показатель достиг 98 %). За прошедшие тридцать с небольшим лет из городской энергетики практически полностью исключены твердые виды топлива (каменный уголь, торф), которые использовались ранее.

В последние годы в отношении выбросов парниковых газов, связанных с сектором «Отходы», также наметились положительные тенденции, особенно после закрытия на рекультивацию городского полигона твердых коммунальных отходов «Новоселки», выброс метана от которого составлял около 18 тыс. т/год. Дальнейшее накопление данных о выбросах парниковых газов, связанных с различными секторами экономики и конкретными объектами Санкт-Петербурга, представляется важным для определения мероприятий по их сокращению.

Как известно, в текущем столетии вне зависимости от сценариев развития мировой экономики и выбросов парниковых газов средняя глобальная температура приземного воздуха и уровень Мирового океана сохраняют тенденцию к повышению [1]. В связи с этим рассмотрим наиболее значимые последствия возможных изменений климата для Санкт-Петербурга и меры по адаптации к ним.

Согласно имеющимся оценкам, в зависимости от климатического сценария к концу XXI столетия по сравнению с аналогичным периодом в XX веке средняя температура приземного воздуха повысится на 3—4 °С, количество осадков увеличится более чем на 200 мм, а уровень моря в восточной части Финского залива возрастет до 90 см (<http://cliplive.infoeco.ru/>) [3, 4].

Отметим, что проблема глобального потепления в Санкт-Петербурге усугубляется локальным возмущением естественного климатического режима, обусловленным условиями урбанизированной территории города. Этот эффект является особенно актуальным в настоящее время, когда происходят увеличение численности населения и повышение плотности городской застройки как собственно города, так и его агломерации. Характерно, что по действующему Генеральному плану Санкт-Петербурга предполагалось, что к 2021 г. численность населения города стабилизируется на уровне 4,8—5,0 млн человек. Однако уже в настоящее время численность населения приблизилась к 5,4 млн человек и продолжает расти.

Согласно имеющимся прогнозам, представленным в Нормативах градостроительного проектирования Санкт-Петербурга, население Санкт-Петербурга к 2025 г. может составить 5,9 млн человек, а к 2030 г. — около 6,2 млн человек. Численность населения Санкт-Петербургской агломерации может увеличиться к 2030 году до более чем 7,2 млн человек, а к 2050 г. — до 8,7 млн человек (<http://arch.lenobl.ru>).

Антропогенные преобразования территории, энергетические, промышленные и транспортные тепловые выбросы, сопровождающие рост населения агломерации, приведут к дальнейшему развитию так называемого городского острова тепла, который, как было показано в работе [2], стал отличительной чертой Санкт-Петербурга в конце XIX века, когда число его жителей составило примерно миллион человек. За счет данного эффекта как повышение температуры приземного воздуха, так и увеличение количества атмосферных осадков на территории Санкт-Петербурга значительно превосходят соответствующие изменения в других репрезентативных пунктах Балтийского региона. Например, к настоящему времени по температурному режиму Санкт-Петербург практически приблизился к Стокгольму, а по количеству атмосферных осадков — к Хельсинки, значительно превзойдя финскую столицу по первому показателю, а шведский город по второму [2].

В связи с этим отметим, что существенная деформация естественного климата в мегаполисах должна рассматриваться совместно с изменениями климатических условий в каждом географическом регионе планеты, вызываемыми современным глобальным потеплением в целом.

В Стратегии-2035 особое внимание уделено вопросам защиты прибрежных территорий Санкт-Петербурга от размыва и затопления при изменении климата. При этом в настоящее время в действующих нормативно-правовых актах отсутствует однозначное определение границы приморской зоны Санкт-Петербурга, несмотря на довольно частое использование данного термина в специализированной научной и публицистической литературе. Очевидно, для ее определения

следует ориентироваться на действующие зоны с особыми условиями использования территории, организующиеся в целях охраны моря, его биологических и рекреационных ресурсов, исторических форм берегового рельефа, для защиты селитебной территории от затопления.

В приморском городе, каким является Санкт-Петербург, важнейшими зонами с особыми условиями использования территории, определяющими градостроительное развитие побережья, являются водоохранные зоны и выделяемые в их составе прибрежные защитные полосы, на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях защиты водных объектов и их экосистем от деградации. Согласно Водному кодексу РФ, ширина водоохранной зоны моря составляет 500 метров. Кроме того, в соответствии с требованиями Федерального закона от 20.12.2004 №166-ФЗ «*О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов*», в целях сохранения условий для воспроизводства водных биоресурсов, для акватории восточной части Финского залива установлена рыбоохранная зона размером 500 метров.

При рассмотрении вопроса сохранения водных биологических ресурсов Невской губы и Финского залива напомним, что на протяжении длительного времени обсуждался вопрос о создании на двух участках рассматриваемой акватории специализированного ихтиологического заказника «Питерская корюшка». К сожалению, на фоне существующих и прогнозируемых трендов температуры морской воды и приземного слоя воздуха, а также проведения гидромеханизированных работ по образованию новых территорий маловероятно, что в ближайшее время можно будет вернуться к идее организации ихтиологического заказника в акватории Невской губы.

Отдельно следует остановиться на активно прорабатываемом в настоящее время вопросе создания курорта регионального значения в границах территории северного побережья Финского залива — г. Сестрорецка, который имеет длительную историю.

Согласно распоряжению мэра Санкт-Петербурга от 31.10.1995 №1151-р «*О разработке концепции социально-экономического развития Курортного района*» и подготовке проекта федеральной программы «*Развитие эколого-курортного региона северного побережья Финского залива*», природными ресурсами Курортного района в целом является его приморский северобережный рельеф, покрытый зелеными насаждениями, имеющими лечебно-оздоровительные свойства и выполняющими санитарно-гигиенические функции, а также атмосферный воздух, насыщенный бромом и йодом.

Отдельно на его территории выделяются месторождения холодных слабо-минерализованных хлоридно-натриевых вод из гдовского водоносного горизонта верхнего протерозоя, применяющихся для оздоровительного питья и бальнеотерапии, а также лечебные грязи сестрорецкого месторождения гиттиевых глин.

Наиболее уязвимые к антропогенному воздействию компоненты курорта — акватория у северного побережья Финского залива, предназначенная для отдыха и лечебно-оздоровительных целей, пляжи прибрежной полосы от г. Сестрорецка до пос. Смолячково.

Участки территории курортного региона, занимаемые зданиями и сооружениями санаторно-курортных предприятий, а также предназначенные для санаторно-курортного строительства, тоже относятся к охраняемым объектам.

К сожалению, в настоящее время в результате все возрастающей социально-экономической нагрузки происходит истощение природных ресурсов, представляющих наибольший интерес, — пляжей и прибрежной акватории, которые уже на протяжении нескольких лет не признаются пригодными для купания по санитарно-гигиеническим показателям.

Результаты государственного мониторинга геологических процессов показывают негативную динамику изменения состояния береговой зоны восточной части Финского залива. В Курортном районе к зонам размыва (абразии) может быть отнесено около 50 % береговой зоны. Песчаные пляжи поселков Комарово и Репино подвержены интенсивному размыву, скорость которого в среднем составляет 0,5 м/год. Согласно имеющимся прогнозам, при развитии глобального потепления разрушение берега продолжится и ускорится [5] (<http://cliplive.infoeco.ru/>).

Устойчивое развитие планируемого к созданию курорта регионального значения в границах территории северного побережья Финского залива представляется затруднительным без учета прогностических оценок последствий глобального потепления для его приморской зоны, особенно в условиях наблюдающейся несистемной хозяйственной деятельности и деградации берега.

При определении границ приморской зоны нами будет использована ориентировочная первая зона округа горно-санитарной охраны курорта, устанавливаемая для оборудованных лечебных пляжей и прилегающих к ним акваторий. По суше граница данной зоны проходит на расстоянии не менее 100 метров от контура пляжа, по акватории — на расстоянии не менее 300 метров от уреза воды.

В продолжение темы рекреационных ресурсов побережья Финского залива обратимся к исторически ценным ландшафтным объектам, сформированным древними фазами Балтийского моря, к которым относятся литориновый уступ, перепады рельефа, дюны. Данные объекты были гармонично учтены в градостроительных и архитектурных решениях дворцово-парковых ансамблей, усадебной и дачной застройки, расположенных вдоль южного и северного побережья Невской губы, которые являются признанным историческим наследием мировой культуры. Следует также вспомнить, что в целом большая часть Невской губы является элементом исторической ландшафтно-композиционной структуры.

Прибрежные морские воды активно используются населением в различных целях. При этом они испытывают существенную антропогенную нагрузку, часто приводящую к их загрязнению и снижению оздоравливающего эффекта. Санкт-Петербург является крупнейшим морским водопользователем. Его прибрежные воды практически полностью относятся к акватории Большого порта Санкт-Петербург, используются в качестве источника частичного водоснабжения Кронштадского района, а также являются основным водоприемником канализационной системы города.

Действующими санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.1.5.2582-10 «*Санитарно-эпидемиологические требования к охране*

прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения» для обеспечения безопасности морского водопользования для населения в охраняемых районах выделяются акватории рекреационного, лечебно-оздоровительного, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового морского водопользования, также называемые районом водопользования, зона санитарной охраны района водопользования и прибрежная полоса суши.

В соответствии с целью исследования наибольший интерес представляет двухкилометровая полоса суши, прилегающая к урезу воды, на территории которой вводится специальный режим землепользования: запрет на размещение различных источников возможного загрязнения поверхностных и подземных вод (полигонов твердых коммунальных отходов, складов ядохимикатов и удобрений, животноводческих и птицеводческих комплексов и других объектов). Именно об этой границе будет идти речь при выделении приморской зоны Санкт-Петербурга.

Глобальное потепление, приводящее к повышению среднего и максимально-го уровня моря, повторяемости нагонных наводнений, способно повлиять на санитарно-эпидемиологическую обстановку на данной территории. Определенная в настоящее время зона затопления от восточной части Финского залива и Невской губы с учетом Лахтинского разлива составляет около 40 км². Уже в настоящее время в ее границах запрещено развитие городских территорий и размещение объектов капитального строительства без выполнения специальных мероприятий по инженерной подготовке в целях их защиты от затопления и подтопления. О прогнозируемых изменениях этой зоны будет сказано ниже.

В результате проведенного специализированного анализа зон с особыми условиями использования территории, связанных с защитой акватории и побережья восточной части Финского залива, определена ориентировочная граница приморской зоны Санкт-Петербурга (рис. 2).

К сожалению, в настоящее время фактор происходящих изменений климата и их возможных последствий не учитывается ни при развитии приморских территорий города, ни при разработке планов по освоению акватории Невской губы. Санкт-Петербург в силу своего низинного рельефа и подверженности наводнениям чувствителен к неблагоприятным последствиям климатических изменений.

При этом развитие глобального потепления сопровождается увеличением повторяемости опасных гидрометеорологических явлений (<http://meteo.ru/>). Для Санкт-Петербурга в текущий климатический период общее число нагонных наводнений было максимальным за весь период наблюдений. Например, с 1981 по 2011 г. произошло 60 наводнений, т.е. более чем на 30 % больше, чем в период 1950—1980 гг. С даты ввода в эксплуатацию Комплекса защитных сооружений в 2011 г. было остановлено 17 наводнений. В последний климатический период произошло смещение годового максимума повторяемости наводнений с осени на зиму [6, 7].

Статистика остановленных наводнений, ведущаяся дирекцией Комплекса защитных сооружений, свидетельствует, что с конца 2011 г. по настоящее время больше всего наводнений (одиннадцать) приходится также именно на зимний период — в 2011 г. (два), 2013 г. (одно), 2015 г. (семь) и 2018 г. (одно)

Рис. 2. Схема ориентировочных границ приморской зоны Санкт-Петербурга.

Fig. 2. Scheme of indicative boundaries of the maritime zone of St. Petersburg.

(<https://dambaspb.ru/>). Проблема возможного изменения повторяемости опасных гидрологических явлений и увеличения зоны затопления при глобальном потеплении является для Санкт-Петербурга особенно важной.

Основными факторами, способными повлиять на увеличение зоны затопления Санкт-Петербурга, являются: средний уровень моря, повторяемость и продолжительность нагонных наводнений, уровень Ладожского озера и расход Невы, игнорирование фактора климатических изменений при градостроительном планировании развития побережья и акватории.

Уже в настоящее время есть основания говорить о том, что при наблюдающихся расходах Невы, продолжительности закрытия Комплекса защитных сооружений максимальный уровень воды 1 %-ной обеспеченности в Невской губе при может достигнуть 240—260 см [8].

Согласно ранее полученным оценкам, при изменении климата площадь зоны затопления в XXI веке может существенно увеличиться — до 110 км². В этом случае соответственно возрастет численность населения, количество зданий и сооружений, подверженных наводнениям, особенно на участках, сформированных намывами [8, 9]. Данные результаты были получены при сценарии повышения уровня восточной части Финского залива на 90 см.

Рис. 3. Схема возможных границ зоны затопления (выделены красным цветом) при развитии глобального потепления к концу XXI века.

Fig. 3. Diagram of possible limits of the flooding zone (red fill) under global warming by the end of the XXI century.

Существующие границы зоны затопления Санкт-Петербурга и их изменения при различных прогнозируемых гидрометеорологических условиях схематически представлены на рис. 3.

Однако следует отметить, что в последние годы специалисты, занимающиеся прогнозами изменения параметров климатической системы при развитии глобального потепления, сходятся в оценках того, что к концу XXI столетия скорость роста уровня Мирового океана может существенно превысить даже экстремальные сценарные оценки (RCP8.5) и достигнуть 44 мм/год. В этом случае уровень Мирового океана может повыситься на 2,5 м по сравнению с концом XX века [10].

Несмотря на то что в настоящее время данные сценарии являются маловероятными, возрастающая интенсивность таяния ледникового щита Гренландии, частичное разрушение Западно-Антарктического щита Антарктиды при развитии глобального потепления могут привести в последние десятилетия текущего

столетия к смене типа существующего положительного тренда среднего уровня Мирового океана с линейного на экспоненциальный [10].

В этом случае значительная часть побережья как Невской губы, так и восточной части Финского залива окажется затопленной даже при среднем уровне моря, а малоопасные в настоящее время штормы и нагонные наводнения будут приводить к катастрофическим затоплениям территории города.

Наиболее действенным способом по защите исторической части города от затопления при повышении как среднего, так и максимального уровня моря является отказ от дальнейших планов по намыву искусственных земельных участков в Невской губе и освоения ее побережья под жилую и нормируемую общественно-деловую застройку.

Это относится и к побережью Финского залива. Кроме того, для защиты его берега даже в случае реализации оптимистических сценариев повышения уровня Мирового океана уже в настоящее время следует предпринять надлежащие меры.

Увеличение числа нагонных наводнений и смещение максимума их повторяемости на зимние месяцы способствуют размыву берега Санкт-Петербурга. Игнорирование данного процесса приведет к деградации и потере большей части пляжей в течение XXI века, и для того чтобы предотвратить это, требуется оперативная реализация мероприятий по берегозащите.

В целом имеющиеся в настоящее время оценки показывают, что развитие глобального потепления способно привести к смене природно-климатических условий на территории Санкт-Петербурга с бореальных на морские. Прогнозируемый тип климата характеризуется менее выраженным годовым и суточным ходом температуры приземного воздуха, повышенной влажностью и облачностью — это климат с прохладным летом и мягкой зимой. Наиболее принципиальным изменением, которое может ожидать Санкт-Петербург в условиях морского климата, является отсутствие условий для формирования устойчивого снежного покрова.

Проявление глобального потепления в Санкт-Петербурге уже в настоящее время нашло отражение в действующих строительных правилах СП 131.13330.2012 «*Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99**» в части нормативных климатических параметров. Например, в действующей редакции документа значение средней годовой температуры приземного воздуха возросло по сравнению с предыдущей редакцией на 1 °C — от 4,4 до 5,4 °C. Количество осадков, так же как сезонные и специфические климатические показатели, тоже сильно изменилось.

Внесения оперативных корректировок требует свод правил СП 32.13330.2012 «*Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85*» в части карты значений интенсивности дождя, рисунка «Классификация районов РФ в зависимости от климатических условий» и значения среднего числа дождей за год.

То же касается и различных ведомственных документов, определяющих специфику эксплуатации городской инфраструктуры, в части представленных в них неактуальных значений климатических параметров.

Выводы

В настоящее время в рядах гидрометеорологических параметров в Санкт-Петербурге наблюдаются значимые положительные тренды, вызванные как глобальным потеплением, так и влиянием локальных эффектов урбанизированной территории.

Показатели трендов температуры атмосферного воздуха и количества атмосферных осадков в Санкт-Петербурге значительно превосходят аналогичные тенденции в других репрезентативных пунктах Балтики — Стокгольме и Хельсинки, что свидетельствует о развитии на его территории масштабного городского острова тепла.

Локальное возмущение климатических условий на территории Санкт-Петербурга стало его характерной особенностью в конце XIX века, когда население города достигло одного миллиона человек. Согласно имеющимся прогнозам, численность населения Санкт-Петербургской агломерации к середине текущего столетия может возрасти до девяти миллионов человек. В связи с этим имеющиеся сценарии глобального потепления для территории Санкт-Петербурга в XXI веке могут быть усилены за счет дальнейшего развития городского острова тепла.

Глобальное потепление будет оказывать все возрастающее влияние на город и его население вне зависимости от сценария социально-экономического развития Санкт-Петербурга.

Показано, что наиболее значимые негативные последствия климатических изменений для Санкт-Петербурга будут связаны с повышением среднего и максимального уровня моря, а также разрушением его побережья.

Площадь существующей зоны затопления города даже при реализации относительно оптимистических климатических сценариев может к концу XXI века возрасти до 110 км².

При этом все чаще появляются экстремальные прогнозы, согласно которым ускорение таяния покровных ледников Гренландии и западной Антарктиды может привести к значительному увеличению скорости повышения уровня Мирового океана, который к концу XXI столетия может возрасти на 2—2,5 м.

Подобное повышение уровня моря способно катастрофическим образом повлиять на приморскую зону Санкт-Петербурга. При реализации таких экстремальных климатических сценариев будет затоплено несколько тысяч гектаров побережья, а катастрофические наводнения будут происходить практически ежегодно.

Полученные в последнее время прогностические оценки изменения уровня моря в восточной части Финского залива при развитии глобального потепления вызывают дополнительную обеспокоенность за безопасность густонаселенного побережья Санкт-Петербурга в XXI столетии.

Полученные оценки последствий современных изменений климата для градостроительного развития Санкт-Петербурга в XXI веке позволяют принять обоснованные проектные решения при подготовке стратегического документа города, его нового Генерального плана, реализация которого будет происходить в условиях глобального потепления.

В связи с тем что негативные последствия глобального потепления приводят к ухудшению ситуации с экологической безопасностью в Санкт-Петербурге и в целом влияют на его развитие, фактор современных изменений климата должен комплексно учитываться при подготовке проектов различных строительных правил, отраслевых схем, документов стратегического планирования, прогнозов социально-экономического развития, схем инженерной инфраструктуры.

Список литературы

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
2. Менжулин Г.В., Павловский А.А. Комплексная методика расчета и оценки нарушений естественного климатического режима в мегаполисе Санкт-Петербург // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 43. С. 154—173.
3. Павловский А.А., Малинина Ю.В. Повышение уровня Финского залива в XXI веке: сценарии и последствия. К вопросу о затоплении береговой зоны в пределах Курортного района Санкт-Петербурга // TerraHumana, 2010, Вып. 4. С. 219—226.
4. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В., Павловский А.А. Негативные последствия штормовых нагонов и «векового» роста уровня в Невской губе // Вода и экология: проблемы и решения. Выпуск № 1(73), 2018. С. 48—58. DOI: 10.23968/2305—3488.2018.23.1.48-58.
5. Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Ковалева О.А., Леонтьев И.О., Жамойда В.А., Колесов А.М. Проблемы абразии берегов восточной части Финского залива: состояние, прогноз, рекомендации по берегозащите // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 44. С. 187—203.
6. Павловский А.А., Менжулин Г.В. О динамике Санкт-Петербургских наводнений в различные климатические периоды и оценки изменений уровня Финского залива при ожидаемом глобальном потеплении // Вестник СПбГУ, Серия 7, Геология, география, № 2. 2010. С. 71—83.
7. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В. Изменчивость невских наводнений и уровня Финского залива в современных климатических условиях // Водные ресурсы. 2015. № 5. С. 544—557.
8. Павловский А.А., Менжулин Г.В. Изменения климата и оценка перспективы использования в петербургском градостроительстве искусственных намывных территорий // Труды ГГО. 2019. Вып. 593. С. 70—84.
9. Павловский А.А. Об определении зон затопления на территории Санкт-Петербурга // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 43. С. 39—50.
10. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Шевчук О.И. Изменения уровня Мирового океана в текущем столетии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 9—22. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-9-22.

Электронные ресурсы

11. National Centers for Environmental Information [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ncdc.noaa.gov/>.
12. Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.psmsl.org/>.
13. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteo.ru/>.
14. Дирекция комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dambaspb.ru/>.
15. Институт проблем естественных монополий (ИПЕМ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ipem.ru/>.
16. Комитет градостроительной политики Ленинградской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arch.lenobl.ru/>.

17. Комитет по градостроительству и архитектуре Правительства Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kgainfo.spb.ru/>.
18. Комитет по экономической политике и стратегическому планированию Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cedipt.spb.ru/>.
19. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/>; <https://www.ipcc-data.org/>.
20. Проект CliPLivE выполненный в рамках европейской Программы приграничного сотрудничества юго-восточной Финляндии и России 2007—2013 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cliplive.infoeco.ru/>.
21. Публичная кадастровая карта Росреестра [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pkk5.rosreestr.ru/>.
22. Региональной информационной системе «Геоинформационная система Санкт-Петербурга» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rgis.spb.ru/map/main.aspx/>.
23. Реестр санитарно-эпидемиологических заключений на проектную документацию Роспотребнадзора [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fp.crc.ru/>.
24. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.infoeco.ru/>.
25. Электронный атлас «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://esimo.aari.ru/portal/>.

References

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 2014:151.
2. Menzhulin G.V., Pavlovskij A.A. A comprehensive methodology for calculating and estimating violations of the natural climate regime in the metropolis St.Petersburg. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2016. 43:154—173. [in Russian].
3. Pavlovskij A.A., Malinina YU.V. Rising Gulf of Finland levels in the 21st century: scenarios and consequences. To the issue of flooding of the coastal zone within the Resort District of St. Petersburg. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie*. TerraHumana, 2010. 4:219—226 [in Russian].
4. Malinin V.N., Gordeeva S.M., Mitina YU.V., Pavlovskij A.A. The negative consequences of storm surges and the “age-old” level rise in the Neva bay. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. Water and Ecology: problems and decisions, 2018, 1: 48—58. DOI: 10.23968/2305—3488.2018.23.1.48-58.
5. Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Kovaleva O.A., Leont'ev I.O., Zhamoida V.A., Kolesov A.M. Problems of coastal erosion in the eastern Gulf of Finland: state, prognosis of development, recommendations of coast protection. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2016. 44:187—203. [in Russian].
6. Pavlovskij A.A., Menzhulin G.V. On the dynamics of St. Petersburg floods during different climatic periods and estimates of changes in the level of the Gulf of Finland under the expected global warming. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya 7, Geologiya, geografiya*. Vestnik of St. Petersburg State University. Series 7, Geology, Geography. 2010. 2: Pp.71-83 [in Russian].
7. Malinin V.N., Gordeeva S.M., Mitina Yu.V. Variability of Neva floods and the level of the Gulf of Finland in modern climatic conditions. *Vodnyye resursy*. Water Resources. 2015. 5: 544—557. [In Russian].
8. Pavlovskij A.A., Menzhulin G.V. Climate Changes and Estimates of Perspective Using the Artificial Wash Territories in St.Petersburg City-Planning. *Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*. Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory. 2019. 593:70-84 [in Russian].
9. Pavlovskij A.A. On the definition of flooding zones on the territory of St.Petersburg. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2016. 43: 39—50 [in Russian].

10. *Malinin V.N., Gordeeva S.M., Shevchuk O.I.* Changes in the global sea level in the current century. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2019. 16(5): 9—22. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-9-22 [in Russian].

Статья поступила 22.01.2020

Принята в печать 16.02.2020

Сведения об авторах

Павловский Артем Александрович, канд. физ.-мат. наук, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», начальник отдела градозэкологического обоснования развития территорий Санкт-Петербурга, Pal@yandex.ru

Information about authors

Pavlovskii Artem Aleksandrovich, Ph. D. in Physical and Mathematical Sciences; Scientific, Research and Project Center of Saint-Petersburg's Master Plan; Head of Department