

УДК 551.583(470.23-25)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В XXI ВЕКЕ

А.А. Павловский¹, Г.В. Менжулин²

¹ СПб ГКУ «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», pa1@yandex.ru

² Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, menz2007@yandex.ru

Представлены сведения о природно-климатических условиях на территории Санкт-Петербурга в соответствии с классификацией климатов Кёппена в настоящее время и перспективах их изменения в XXI веке. Приводятся оценки смены природно-климатической зоны с влажной континентальной с теплым летом Dfb на океаническую (умеренно теплую с равномерным увлажнением) Cfb, характеризующуюся менее выраженным по сравнению с Dfb годовым и суточным ходом температуры приземного воздуха, повышенным количеством атмосферных осадков и облаков, высокой относительной влажностью. При реализации наиболее жестких прогнозов глобального потепления во второй половине XXI века природно-климатические условия в Санкт-Петербурге станут схожими с условиями в таких городах, как Бирмингем (Англия), Ванкувер (Канада), Гамбург (Германия), Глазго (Шотландия), Копенгаген (Дания).

Ключевые слова: классификация климата, агломерация, современные изменения климата.

PERSPECTIVE ESTIMATES OF CHANGE OF NATURAL CLIMATIC CONDITIONS OF THE TERRITORY OF ST. PETERSBURG IN THE XX CENTURY

A.A. Pavlovskii¹, G.V. Menzhulin²

¹ State Research and Design Center of Saint Petersburg Master Plan

² Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University

Data on the existing climatic conditions of the territory of St. Petersburg according to Köppen climate classification and the prospects of their change in the 21st century are provided in the article. Estimates of change of a climatic zone Dfb (humid continental climate) on the Cfb (oceanic), which is characterized less expressed in comparison with Dfb, the annual and daily course of air temperature, increased by quantity of a precipitation, clouds, high relative humidity. Under hard forecasts of global warming in the second half of the 21st century climatic conditions of St. Petersburg will become similar to the following cities: Birmingham (England), Vancouver (Canada), Hamburg (Germany), Glasgow (Scotland), Copenhagen (Denmark).

Keywords: climate classification, urban area, modern climate changes.

Введение

В настоящее время при разработке документов стратегического планирования Санкт-Петербурга, таких как стратегия социально-экономического развития и Генеральный план города, а также концепция совместного градостроительного развития Санкт-Петербурга и прилегающих территорий Ленинградской области,

агломерации, возникают вопросы об определении характерных параметров географического местоположения мегаполиса, как исключительных, так и однотипных по сравнению с иными урбанизированными территориями земного шара. В настоящее время, в период развития интеграционных связей между городами из различных регионов Земли, в том числе в части обмена опытом по их градостроительному развитию, по адаптации к глобальному потеплению, вопрос о природно-климатической идентификации Санкт-Петербургской агломерации представляется весьма актуальным [6, с. 142].

Отметим, что, согласно Концепции совместного градостроительного развития Санкт-Петербурга и территорий Ленинградской области (агломерации) на период до 2030 г. с перспективой до 2050 г., под агломерацией понимают зону взаимного влияния двух субъектов Российской Федерации: Санкт-Петербурга и части прилегающих муниципальных районов Ленинградской области: Всеволожского, Выборгского, Гатчинского, Кировского, Ломоносовского и Тосненского (<http://www.gugenplan.spb.ru/>).

Следует отметить, что очень часто при сравнении Санкт-Петербурга с другими городами используют наиболее простой параметр — его географические координаты — и оценивают его социально-экономические и градостроительные показатели в сопоставлении с показателями поселений, расположенных на границе параллели 60° с.ш. и в более высоких широтах.

Как правило, в результате таких сравнительных оценок делаются достаточно очевидные выводы об уникальности площади, численности населения и экономической значимости Санкт-Петербурга, так как все города, расположенные в данной широтной зоне, и даже скандинавские столицы — Стокгольм, Хельсинки и Осло — значительно уступают Санкт-Петербургу по всем показателям.

Целью настоящей работы является анализ существующих природно-климатических условий территории Санкт-Петербурга в соответствии с классификацией климатов Кёппена и перспективах их изменения в XXI веке при развитии глобального потепления.

Данные и методы исследования

В России на широте Санкт-Петербурга и севернее расположены города с численностью населения от нескольких тысяч до десятков тысяч человек (Анадырь, Воркута, Магадан, Мирный, Нарьян-Мар, Певек, Салехард, Ухта, Ханты-Мансийск) и до нескольких сотен тысяч человек (Архангельск, Вологда, Мурманск, Нижневартовск, Новый Уренгой, Норильск, Петрозаводск, Сургут, Сыктывкар, Якутск).

В других странах, расположенных в различных частях света, отмечаются примерно такие же показатели по числу жителей на урбанизированных территориях в приполярных и полярных регионах. В качестве примера можно привести следующие города в данной широтной зоне, численность населения в которых — даже самых крупных из них — не превышают 260—270 тыс. человек: в Европе — Эспо, Тампере (Финляндия); Уппсала, Эстерсунд (Швеция), Тронхейм, Тромсё

(Норвегия); Рейкьявик, Коупавогюр (Исландия); Нуук, Сисимиут (Гренландия); Уайтхорс, Йеллоунайф (Канада); Анкоридж, Фэрбанкс (США).

В сравнении с Санкт-Петербургом, в котором в настоящее время проживает около 5,3 млн человек, а в агломерации примерно 6,0 млн человек, не только перечисленные выше города, но и столица Швеции Стокгольм (примерно 917 тыс. человек), столица Финляндии Хельсинки (примерно 621 тыс. человек) и столица Норвегии Осло (примерно 634 тыс. человек) выглядят несопоставимыми по числу жителей.

Таким образом, на основе анализа численности населения городов, отобранных в зоне, ограниченной широтой расположения Санкт-Петербурга с одной стороны и побережьем Северного Ледовитого океана с другой, складывается представление, что город расположен в условиях, не вполне пригодных для проживания, тем более для формирования многомиллионного мегаполиса. По результатам такой оценки Санкт-Петербург представляется не совсем обоснованно и органично расположенным формированием, а, наоборот, в некотором роде гротескным северным городом.

В этой связи проведем небольшой экскурс в историю освоения рассматриваемой территории. Прежде всего упомянем об имеющихся археологических свидетельствах, полученных в результате исследования памятника «Охта-1», согласно которым, освоение района в устье реки Охты при ее впадении в Неву началось как минимум в эпоху неолита, практически сразу после освобождения его от вод Литоринового моря, и население на данной территории существует с тех пор практически непрерывно [3, с. 219].

Если говорить об историческом периоде, то можно утверждать, что невские берега и острова речной дельты последовательно осваивались русским, финским и шведским населением в течение сотен лет.

В настоящее время по данным археологических исследований и литературных источников известно, что Санкт-Петербург образовался не на пустом месте, а на территории, где оборонительные сооружения и поселения, как шведские, так и новгородские, существовали, по крайней мере, с 1300 г. — времени основания шведской крепости Ландскрона («венец земли»). В 1301 г., практически сразу же после возведения, эта крепость была разрушена в результате военного противостояния русских и скандинавских войск, что свидетельствует об активном соперничестве этих народов за право обладать данными землями.

В этой же связи необходимо вспомнить и о шведско-новгородских войнах, особенно о знаменитой битве 1240 г. между шведами и новгородцами, произошедшей в устье реки Ижоры, за победу в которой русский полководец князь Александр Ярославич получил почетное прозвище «Невский». Данное военно-историческое событие также свидетельствует о ценности рассматриваемой территории, расположенной на пересечении важнейших сухопутных и водных путей между скандинавскими, европейскими и русскими землями.

Имеются свидетельства о существовании в начале XVI века на левом берегу Невы крупного села Спасское, также именуемого Нюнела, расположенного в районе существующего здания Смольного института. Всего на территории

современного Санкт-Петербурга в Средние века и Новое время существовали десятки поселений.

В 1611 г. в месте слияния рек Охты и Невы Швецией был основан укрепленный оборонительный пункт Ниеншанц, вмещавший гарнизон из сотен человек. В 1632 г. на правом берегу Охты, напротив упомянутой крепости, по приказу короля Густава II Адольфа основали город Ниен, которому в скором времени королева Кристина пожаловала полные городские права [9, с. 22—24].

В общем виде местоположение Ниеншанца и Ниена, а также их планировочную структуру можно увидеть на карте «План местности занимаемой ныне Ст. Петербургом, снятый в 1698 году до завоевания ея Петром Великим, с показанием существовавших на ней шведских укреплений», составленной шведским бароном Авраамом Крониортом и исправленной в 1737 г. сотрудником Петербургской академии наук Х.Я. Шварцем. В 1872 г. она была подготовлена на русском языке архитектором Р.Е. Шварцем и издана картографическим заведением А. Ильина.

Приведенные краткие сведения из истории хозяйственного освоения невыхских берегов свидетельствуют о том, что природно-климатические условия рассматриваемой территории в целом были благоприятны для развития различных поселений.

Все вышесказанное позволяет утверждать, что столица российской империи была образована на давно освоенной территории, и в данном контексте сформировавшийся к началу XXI века в этом месте многомиллионный мегаполис Санкт-Петербург является естественным этапом многовековой истории ее градостроительного развития. Получается, что условия данной территории являются достаточно благоприятными для развития человеческих поселений.

Таким образом, отбросив необоснованные предположения о некоторой искусственности и даже неправильности расположения мегаполиса в существующих условиях, попробуем найти иной географический критерий, отличный от широты, который позволил бы соотнести Санкт-Петербург с иными агломерациями мира. В качестве такого показателя будем использовать природно-климатические показатели местности, так как именно они определяют основные параметры биогеоценоза конкретной территории.

При этом возникает вопрос, какой именно климатической классификацией воспользоваться при определении зоны, в которую попадает Санкт-Петербург и иные урбанизированные территории, расположенные в подобных же гидротермических условиях.

Поскольку одним из важнейших факторов, влияющих на образование человеческих поселений на том или ином месте, являются условия произрастания растительности, в качестве системы классификации типов климата выберем ботаническую классификацию Кёппена, в которой определены границы ландшафтно-географических зон. Отметим, что по степени метеорологической проработки и дифференциации типов климата эта классификация является одной из наиболее подробных [4, с. 419].

Согласно данной классификации, Санкт-Петербург расположен в зоне Dfb, что соответствует влажному континентальному климату с теплым летом, также

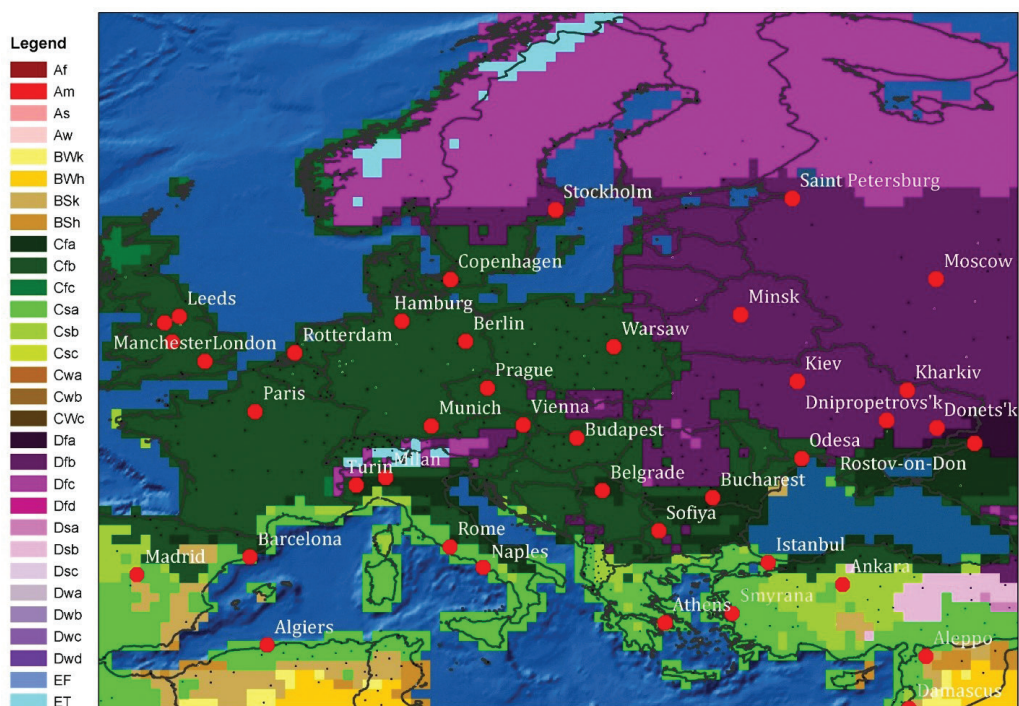


Рис. 1. Местоположение Санкт-Петербурга в климатической системе Кёппена (<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>).

именуемому бореальным с равномерным увлажнением (рис. 1). Это умеренно холодный климат, без сухого сезона; в зимний период наблюдается устойчивый снежный покров; имеются условия для произрастания лиственных лесов. Средняя температура воздуха самого холодного месяца не превышает $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T_{\min} \leq -3\text{ }^{\circ}\text{C}$), среднемесячная температура воздуха самого теплого месяца составляет менее $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T_{\max} < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$); при этом четыре месяца в году средняя температура воздуха превышает $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($4\text{ } T_{\text{mon}} \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) (табл. 1) (<http://hanschen.org/koppen/>).

Проанализируем число городов-миллионников, расположенных в различных климатических зонах, что позволит оценить, насколько климатические условия зоны Dfb благоприятны для развития крупных человеческих поселений.

Для этого воспользуемся электронной картой климатической системы Кёппена, полученной на специализированном сайте (<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>), где представлены материалы современных исследований по данной теме, а также имеющейся в нашем распоряжении базой данных городов геоинформационной системы ArcGIS [11, с. 260—262].

Согласно полученным результатам, климатические условия 24 городов-миллионников соответствуют зоне Dfb. Сразу следует отметить, что данная климатическая зона по числу расположенных в ней мегаполисов уступает только зоне

субтропического океанического климата Cfa, в которой расположены такие города, как Вашингтон, Нью-Йорк, Токио, Сан-Паулу, Филадельфия, Шанхай (рис. 2).

Таблица 1

Характеристики климатических зон Кёппена Dfb и Cfb (<http://hanschen.org/koppen/>)

Тип климата	Описание	Критерий
Dfb	Влажный континентальный климат с теплым летом (бореальный климат с равномерным увлажнением)	$T_{\min} \leq -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{\max} < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ $4\ T_{\text{mon}} \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
Cfb	Океанический (умеренно теплый с равномерным увлажнением)	$-3\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\min} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{\max} < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ $4\ T_{\text{mon}} \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Обратимся к непосредственному рассмотрению городов, расположенных в зоне Dfb. Прежде всего, обратим внимание на то, что самая крупная из российских агломераций, московская, расположена на территории с именно таким типом климата. Здесь проживает примерно 17,0 млн человек на площади 13,6 тыс. км². Ядром этой агломерации является город Москва с населением 12,4 млн человек и занимаемой площадью 2561,5 км². В этой же зоне сформировался единственный

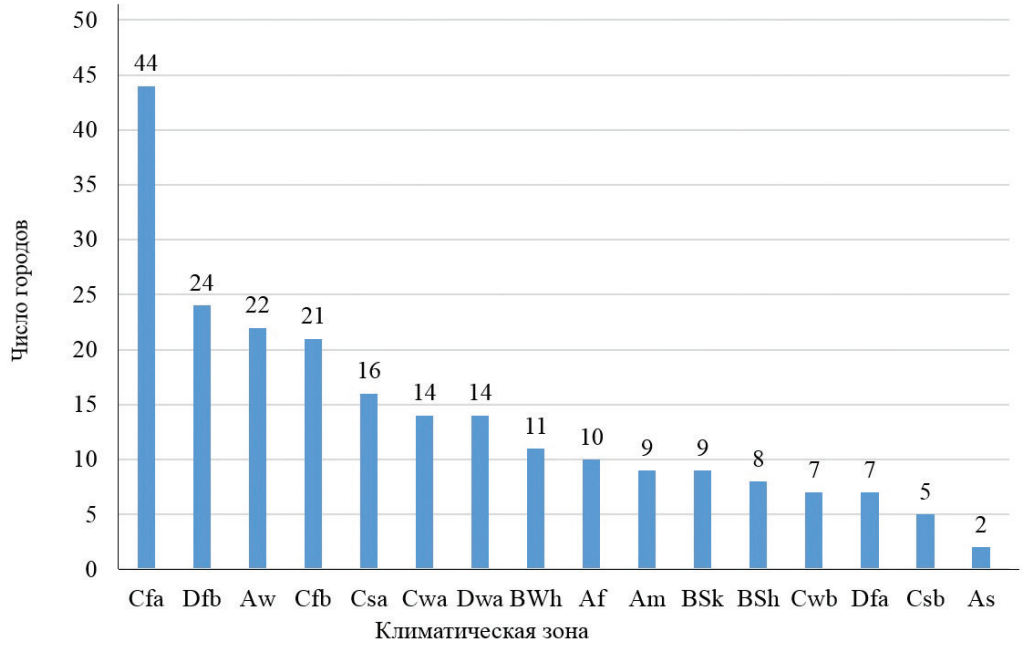


Рис. 2. Число городов-миллионников в различных климатических зонах.

в России Центральный мегалополис, включающий в себя территории — полностью или частично — Москвы, Московской, Тверской, Калужской, Рязанской, Смоленской, Тульской, Владимирской, Ярославской, Костромской, Ивановской и Нижегородской областей.

Санкт-Петербургская агломерация, на рассмотрении которой сосредоточено наше исследование, расположена на территории площадью примерно 8,8 км²; численность населения составляет около 6,0 млн человек: 5,23 млн человек в городе, 0,77 млн человек в Ленинградской области; плотность населения 682 чел./км². Характерно, что территория, на которой проживает 87 % населения агломерации, составляет 16 % ее площади. В соответствии с прогнозами градостроительного развития территории агломерации к 2030 г. численность населения в ее границах достигнет 7,3 млн человек, а к 2050 г. — 8,7 млн человек.

Кроме того, климатические условия зоны Dfb соответствуют следующим городам-миллионникам России: Воронеж, Екатеринбург, Казань, Новосибирск, Омск, Пермь, Самара, Уфа, Челябинск (<http://www.gks.ru>).

Рассматривая другие агломерации мира, расположенные в зоне влажного бореального климата, сразу отметим, что наиболее экономически значимый регион Канады, называемый по имени железнодорожного маршрута государственной корпорации VIA Rail коридором Квебек — Уинсор, большей своей частью расположен в зоне Dfb. Здесь проживает более 18 млн человек, что составляет примерно 50 % населения Канады. Наиболее крупные агломерации в данной области — Большой Торонто, Большой Монреаль, Оттава — Гатино, Квебек.

В пределах коридора Квебек — Уинсор в границах зоны Dfb расположен самый густонаселенный регион Канады, именуемый благодаря своей форме Золотой Подковой. Ядром его является агломерация Большой Торонто, состоящая из муниципалитетов: Торонто, Холтон, Пил, Йорк, Дарем, Гамильтон. Население Золотой Подковы составляет примерно 9,2 млн человек (примерно 25 % населения Канады), площадь — около 33 500 км² (<http://www12.statcan.gc.ca/>).

В качестве еще одного примера крупнейших городов, климатические условия в которых соответствуют зоне Dfb, можно указать японскую агломерацию Саппоро — Отару с населением около 2 млн человек, расположенную на острове Хоккайдо.

Сравнение существующих природно-климатических условий Санкт-Петербурга с другими агломерациями мира показывает, что климат Dfb является благоприятным для формирования крупных человеческих поселений.

После рассмотрения существующих в настоящее время на территории Санкт-Петербурга климатических условий представляется интересным оценить, насколько они могут измениться в XXI веке — произойдет ли на рассматриваемой территории смена климатической зоны по Кёппену.

Отметим, что к настоящему времени как в целом для территории Северо-Запада России, так и для Санкт-Петербурга и прилегающих районов Ленинградской области имеются прогностические оценки изменения температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков в XXI веке. Эти оценки получены в результате специализированных климатических исследований, которые основаны

на использовании данных расчетов моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), рекомендованных для использования Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Например, с такими оценками в интерактивном режиме можно ознакомиться на сайте Климатического центра Росгидромета — Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (<http://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke>).

На данном Интернет-ресурсе можно получить информацию о результатах расчетов будущих изменений климата по отношению к базовому периоду 1981—2000 гг. на территории Северо-Западного федерального округа, полученных с помощью ансамбля моделей из пятого доклада МГЭИК СМIP5 при различных сценариях изменения содержания парниковых газов и аэрозолей в атмосфере (RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5) для следующих прогностических периодов XXI века: 2011—2030, 2041—2060 и 2080—2099 гг.

При реализации международного проекта CliPLivE, выполненного в 2007—2013 гг. в рамках европейской Программы приграничного сотрудничества юго-восточной Финляндии и России, авторами статьи была выполнена работа по получению для территории Санкт-Петербурга прогностических рядов среднегодовых и среднемесячных значений средней, максимальной, минимальной температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков (<http://cliplive.infoeco.ru/>).

В отличие от ансамблевого подхода в рамках исследования была произведена работа по выбору «наилучшего» климатического сценария, основанная на предположении о том, что модели, хорошо воспроизводящие климатические параметры за период инструментальных наблюдений, должны рассматриваться как главные претенденты и на достоверное прогнозирование изменений глобального климата в будущем. Данная гипотеза основывается на том, что как при воспроизведении климата в прошедшие периоды, так и при расчетах на будущее модели используют одни и те же алгоритмы и схемы параметризации.

На основании проведенного сравнительного анализа в качестве наиболее достоверной была выбрана немецкая МОЦАО ECHAM5_MPI-OM (Max-Planck-Institute for Meteorology). Кроме того, в работе также были использованы результаты российской климатической модели INM-CM3.0 (Institute for Numerical Mathematics). По результатам исследования для нескольких сценариев выбросов парниковых газов (B1, A1B и A2) для территории Санкт-Петербурга были получены перспективные оценки изменения среднегодовых и среднемесячных значений средней, максимальной, минимальной температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков.

Для учета «городского острова тепла», формируемого мегаполисом Санкт-Петербург, использовалась разработанная авторами комплексная методика расчета и оценки нарушений естественного климатического режима на урбанизированных территориях [6].

В соответствии с полученными результатами диапазон значений средней температуры приземного воздуха составит для трех рассмотренных периодов следующие значения: 6,2—6,3 °C для 2013—2040 гг., 7,8—8,0 °C для 2041—2070 гг., 8,2—9,4 °C для 2071—2100 гг. Таким образом, повышение средней температуры

приземного воздуха к концу XXI столетия по сравнению с периодом 1971—2000 гг. (5,4 °C) составит: 2,8 °C для сценария B1, 4,0 °C для сценариев A1B и A2. Увеличение количества осадков по сравнению с периодом 1981—2010 гг. составит: 228 мм для B1, 244 мм для A1B, 262 мм для A2 [1, с. 11—13].

Полученные перспективные оценки были использованы при расчете геологических и экологических рисков для территории Санкт-Петербурга, обусловленных, прежде всего, затоплением поверхностными и подземными водами, а также береговой абразией. С результатами проекта CliPLivE можно ознакомиться на официальном сайте Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга. Дополнительно следует отметить, что в развитие проекта CliPLivE продолжается работа по оценке последствий климатических изменений для территории Санкт-Петербурга, в том числе по адаптивному управлению водными ресурсами и системами водоотведения, а также по подготовке проекта регионального документа, определяющего основные меры по приспособлению к ним (<http://www.infoeco.ru/>).

Данные исследования, посвященные адаптации городской среды к современным изменениям климата, представляются особенно актуальными в настоящее время, когда перед Санкт-Петербургом стоит масштабная градостроительная задача по подготовке основного стратегического документа города — нового Генерального плана на период до середины XXI века, для обоснования которого также разрабатывается Концепция совместного градостроительного развития Санкт-Петербурга и территорий Ленинградской области.

Устойчивое градостроительное планирование и развитие Санкт-Петербургской агломерации в XXI веке представляется возможным при условии учета факторов глобальных и региональных изменений окружающей среды.

При этом в существующей практике принятия градостроительных, архитектурно-строительных и инженерно-транспортных решений Санкт-Петербург часто сравнивают с другими агломерациями мира, производят сопоставление их социально-экономических показателей, стараются максимально использовать наиболее успешный опыт в этих областях, уже апробированный в других городах.

При проведении такого сравнительного анализа, обосновывающего целесообразность применения тех или иных решений в нашем регионе, необходимо учитывать аналогичность природно-климатических условий, в которых расположены рассматриваемые агломерации. В связи с тем, что скорость климатических изменений может существенно различаться для разных урбанизированных территорий Земли, сравнительный градостроительный анализ, обосновывающий долгосрочные планы развития Санкт-Петербургской агломерации, следует производить с учетом перспективного изменения природно-климатических условий в регионах исследования.

Кроме того, оценка изменения границ климатических зон по Кёппену является хорошим дополнением к полученным прогностическим рядам метеорологических элементов, так как наглядно иллюстрирует масштаб развития глобального потепления в XXI веке, показывает смену типа климата и соответственно условий

существования биогеоценозов, поскольку именно они определяют благоприятность проживания человека и существования живых организмов на территории.

В этой связи проанализируем смену границ климатических зон в интересующем нас регионе. Для этого воспользуемся результатами работы специализированного исследования, посвященного изменению границ климатических зон по Кёппену в XXI веке [10]. В данной работе для четырех сценариев выбросов парниковых газов (A1FI, A2, B1 и B2) для нескольких прогностических временных интервалов XXI века продолжительностью по 25 лет представлены карты изменения климатического зонирования по классификации Кёппена для территории земного шара, рассчитанные с применением ансамбля МОЦАО.

Согласно представленным в работе [12] результатам, развитие глобального потепления способно привести к принципиальному изменению природно-климатических условий территории, на которой расположен Санкт-Петербург (табл. 2). Тип климата может измениться с влажного континентального с теплым летом Dfb на океанический (умеренно теплый с равномерным увлажнением) Cfb. Для климатической зоны Cfb характерен умеренно теплый климат с равномерным увлажнением, средняя температура приземного воздуха наиболее холодного месяца в году находится в диапазоне $-3\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\min} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура наиболее теплого месяца $T_{\max} < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура приземного воздуха четырех месяцев в году $T_{\text{mon}} \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отличительным признаком данного типа климата является отсутствие устойчивого снежного покрова (<http://hanschen.org/koppen/#classification>).

В табл. 2 представлены прогностические оценки изменения природно-климатических условий Санкт-Петербурга в XXI веке. До 2050 г. ни при одном из сценариев развития глобального потепления тип климата в Санкт-Петербурге не изменится и останется Dfb. При сценарии выбросов B1 до конца XXI века на территории Санкт-Петербургской агломерации сохранятся текущие природно-климатические условия.

При сценариях развития A1FI и A2, предполагающих дальнейший рост мировой экономики, постоянное увеличение численности населения, значительное потребление ископаемых видов топлива, смена природно-климатических условий на территории Санкт-Петербурга произойдет во второй половине XXI века. Сюжетная линия и сценарное семейство B2 приводят к смене типа климата в последней четверти текущего столетия.

Таблица 2

Прогностические оценки изменения природно-климатических условий Санкт-Петербургской агломерации в XXI веке (<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/shifts.htm>)

Сценарий выбросов парниковых газов	Климатическая зона по Кёппену		
	2026—2050 гг.	2051—2075 гг.	2076—2100 гг.
A1FI	Dfb	Cfb	Cfb
A2	Dfb	Cfb	Cfb
B1	Dfb	Dfb	Dfb
B2	Dfb	Dfb	Cfb

В качестве примера динамики смещения границ природно-климатических зон Кёппена при развитии глобального потепления на рис. 3 представлены существующее их распределение и прогностические оценки изменения в регионе Европы при сценарии выбросов парниковых газов А2.

При реализации наиболее жестких сценариев развития глобального потепления тип климата Санкт-Петербурга начиная с 2050 года сменится на морской по классификации Кёппена, характеризующийся значительно менее выраженным по сравнению с Dfb годовым и суточным ходом температуры приземного воздуха, увеличением количества атмосферных осадков и облаков, высокой относительной влажностью. Это климат прохладного лета и мягкой зимы.

Наиболее принципиальное изменение, которое может ожидать Санкт-Петербург в условиях морского климата, — это отсутствие условий для формирования устойчивого снежного покрова.

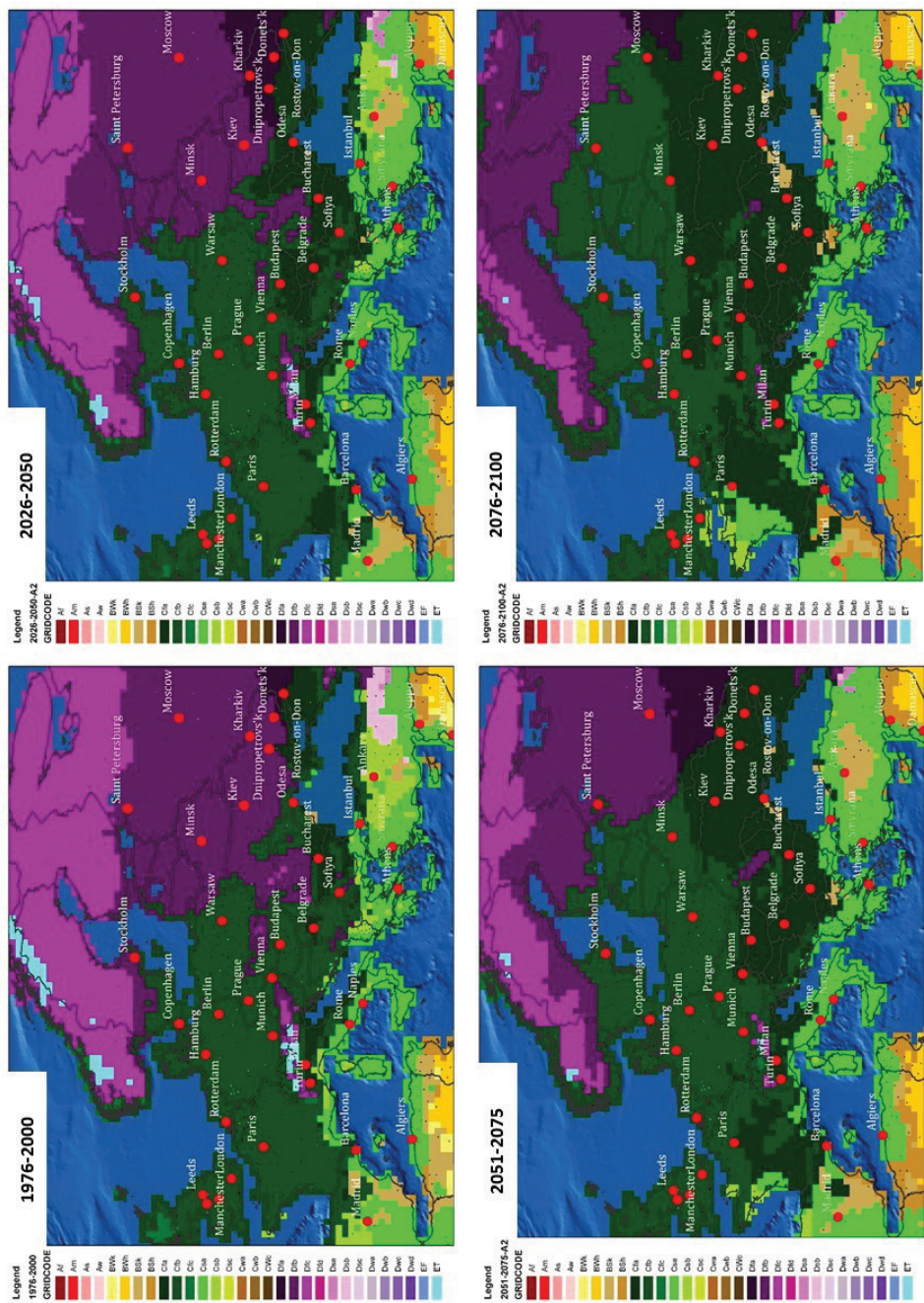
В этом случае во второй половине XXI века природно-климатические условия на территории Санкт-Петербурга станут аналогичными условиям в тех городах, территория которых в настоящее время и в прогностической перспективе текущего столетия расположена в зоне Cfb, — это Бирмингем (Англия), Ванкувер (Канада), Гамбург (Германия), Глазго (Шотландия), Копенгаген (Дания) и другие урбанизированные территории.

В контексте рассуждений о возможном изменении климатических условий для территории Санкт-Петербургской агломерации нельзя не остановиться на сценарных оценках подъема уровня моря.

Региональные исследования, посвященные Балтийскому морю, также показывают перспективу роста его уровня в течение XXI века, причем в районе Санкт-Петербурга это повышение может быть наиболее значительным, что способно привести к изменению функционально-планировочной структуры агломерации, в том числе повлиять на возможность освоения морской акватории и побережий, запланированного документами территориального планирования [6, 8].

По данным результатов специализированных расчетов по оценке возможного повышения уровня Финского залива, представленных в работе [5], наиболее вероятно, что повышение уровня моря в Санкт-Петербурге к концу XXI века по сравнению с существующим может составить от 20—35 до 34—59 см. Однако по некоторым оценкам повышение уровня моря может достигнуть 80—90 см [2, 13].

Можно говорить, что в XXI веке последствия современных изменений климата, обусловленные развитием и интенсификацией процессов, связанных с негативным воздействием вод (повышение уровня моря, увеличение количества и интенсивности атмосферных осадков, перераспределение доли жидкой и твердой формы осадков), будут оказывать наибольшее воздействие на развитие территории Санкт-Петербурга.



Заключение

В результате выполненного анализа можно сделать следующие выводы.

Сравнение существующих природно-климатических условий Санкт-Петербурга и других агломераций мира показывает, что климат Dfb является благоприятным для формирования крупных урбанизированных территорий и что формирование на берегах Невы и островах ее дельты многомиллионного мегаполиса логично отражает вековые тенденции развития человеческих поселений в данном месте.

Большинство прогностических оценок развития глобального потепления сходятся на том, что начиная с середины XXI века произойдет существенное изменение климатических условий для территории расположения Санкт-Петербурга: тип климата в соответствии с классификацией Кёппена сменится с бореального Dfb на океанический Cfb.

Глобальное потепление способно привести к существенным последствиям для развития градостроительного комплекса Санкт-Петербургской агломерации, в том числе повлиять на ее функционально-планировочную структуру, изменить климатические строительные нормы и условия проектирования и эксплуатации городских объектов и инфраструктуры, увеличить повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, воздействовать на биогеоценозы территории, включая фитоценозы, зооценозы, микробоценозы, эдафотопы.

Полученные результаты целесообразно использовать при долгосрочном стратегическом планировании развития Санкт-Петербургской агломерации в XXI веке, особенно в его второй половине. Поиск существующих и будущих пространственных аналогий Санкт-Петербурга следует определять с учетом климатического районирования.

Анализ смещения границ климатических зон при развитии глобального потепления в дополнение к прогностическим рядам метеорологических элементов, получаемым по результатам расчетов МОЦАО, позволяет в обобщенном виде оценивать масштаб происходящих климатических изменений.

Список литературы

1. Геологические и экологические риски Санкт-Петербурга. Практические рекомендации по адаптации к климатическим изменениям / О. Томилина, Ю. Меньшова, Г. Савенкова, И. Богатырев, Д. Рябчук, Д. Франк-Каменецкий, А. Павловский. Южная Финляндия — Россия ЕИСП ПГС 2007—2013. Адаптация городской окружающей среды к негативным последствиям климатических изменений (CliPLivE). Санкт-Петербург, 2014.
2. Гордеева С.М., Малинин В.Н., Малинина Ю.В. Современные колебания морского уровня в Кронштадте и их возможные изменения к концу столетия // Общество. Среда. Развитие. 2010. № 3. С. 251—256.
3. Гусенцова Т.М., Холкина М.А. Анализ технологии керамики эпохи неолита — раннего металла в регионе Санкт-Петербурга и Южном приладожье // Древние культуры Восточной Европы: эталонные памятники и опорные комплексы в контексте современных археологических исследований. Замятнинский сборник. Вып. 4 / Отв. ред. Г.А. Хлопачев. СПб: МАЭ РАН, 2015. С. 218—226.
4. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. Учебник. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.

5. *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.* 2018. Вып. 1. DOI: 10.23968/2305—3488.2018.23.1.48—58.
6. *Малинин В.Н., Менжулин Г.В., Павловский А.А.* Градостроительное планирование Санкт-Петербурга в условиях современных изменений климата // *Ученые записки РГГМУ.* 2016. № 43. С. 140—147.
7. *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.
8. *Павловский А.А.* Об определении зон затопления на территории Санкт-Петербурга // *Ученые записки РГГМУ.* 2016. № 43. С. 39—50.
9. *Сорокин П.Е.* Археологические памятники Охтинского мыса // *Наука в России.* 2011. № 3. С. 19—25.
10. *Chen, D., Chen, H.W.* Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901—2010 // *Environmental Development.* V. 6. 2013. P. 69—79. doi:10.1016/j.envdev.2013.03.007.
11. *Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // *Meteorol. Z.* 2006. V. 15. P. 259—263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
12. *Rubel, F., and M. Kottek.* Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification // *Meteorol. Z.* 2010. V. 19. P. 135—141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430.
13. Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. 2015. The BACC II Autor Team. Series editors Hans-Jürgen Bolle, München, Germany. Massimo Menenti, S. Sebastiano al Vesuvio, Italy. S. Ichtiague Rasool, Bethesda, USA. Springer International Publishing AG Switzerland is part of Springer Science+Business Media. DOI 10.1007/978-3-319-16006-1.