Градоекологические предпосылки к застройке черноморских городов Краснодарского края с учетом тепло-ветровых процессов

О.Н. Сокольская¹, А.И. Гиясов²

¹ Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ); г. Краснодар, Россия;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Экология атмосферной среды прибрежных городов напрямую зависит от тепло-ветровых процессов, которые формируются при облучении деятельной городской поверхности и прилегающих к городу склоновых горных территорий, а также морской акватории.

Материалы и методы. В основу исследования положена комплексная методология изучения градоекологических процессов атмосферной среды на макро- и мезоэкологическом уровнях градостроительного проектирования. Использовались современные компьютерные модели, применяемые в прикладной метеорологии ICON, GFS и GEM, а также графоаналитический метод построения трансформации купола загрязнений в течение суток, основанный на теплофизических и аэродинамических законах атмосферной среды и облучении деятельной поверхности застройки и окружающего ландшафта.

Результаты. Представлена схема трансформации и перемещения купола атмосферных загрязнений, формируемого над городом в течение суток, в системе «горы – город – море». Доказано, что в теплое время года в первой половине дня зона максимального скопления негативных атмосферных примесей находится на территории предгорья склонов гор, обращенных на восток, к середине дня она сместится в центр города, а к вечеру максимальные загрязнения будут наблюдаться в прибрежной зоне. Представленная экологическая эффективность в градостроительстве на примере черноморских городов Новороссийск и Туапсе позволяет оценить степень влияния тепло-ветровых процессов в условиях сложного рельефа и морской акватории на трансформацию и перемещение купола атмосферных загрязнений с оценочной классификацией «удовлетворительно» в первую половину дня, «хорошо» в дневной и вечерний периоды.

Выводы. Исследования представляют особую актуальность в южных городах, расположенных на побережье и граничащих с горной территорией. Главным градоекологическим принципом планировочной организации при реконструкции, планировке и застройке городов и населенных пунктов, простирающихся на побережье, является механизм термодинамических и аэродинамических процессов атмосферной среды, выражающийся в виде бризовой и горно-долинной циркуляции, а также конвективных потоков, изучение которых позволило сформулировать практические рекомендации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: градостроительство, экология, загрязнение, тепло, ветер, инсоляция, бриз, рельеф, море

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сокольская О.Н., Гиясов А.И. Градоекологические предпосылки к застройке черноморских городов Краснодарского края с учетом тепло-ветровых процессов // Строительство: наука и образование. 2020. Т. 10. Вып. 3. Ст. 3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.3.3

Urban and ecological prerequisites for the development of the Black Sea cities in the Krasnodar region with consideration of thermal and wind processes

Oxana N. Sokolskaya¹, Adham I. Giyazov²

¹ Kuban State Technological University; Krasnodar, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Ecology of the atmospheric environment of coastal cities directly depends on the thermal and wind processes, which are formed by irradiation of the active city surface and slope mountain areas adjacent to the city, as well as the sea area.

Materials and methods. The study is based on a comprehensive methodology for studying urban and ecological processes of the atmospheric environment at the macro- and mesoecological level of urban planning. Modern computer models ICON, GFS and GEM utilized in applied meteorology were used, as well as the semi-graphical method of modeling daily pollution dome transformation based on thermophysical and aerodynamic laws of atmospheric environment and irradiation of the building's active surface and of the surrounding landscape.

Results. The transformation and movement chart of the air pollution dome formed over the city during the day in the “mountains – city – sea” system is presented. It is proved that in the warm season in the first half of the day, the maximum accumulation zone of negative atmospheric pollutants is located in the mountain foothills facing east, by mid-day it will be shifted to the center of the city, and in the evening the maximum pollution will be observed in the coastal zone. The presented ecological efficiency in urban planning on the example of the Black Sea cities of Novorossiysk and Tuapse allows for the assessment of the thermal and wind process impact on the transformation and movement of atmospheric pollution dome in complex terrain and sea area conditions using the assessment classification of “satisfactory” in the first half of the day, “good” in the day and evening.

Conclusions. The research is particularly relevant in southern cities located on the coast and bordering the mountainous territory. The main urban and ecological principle of planning organization in the reconstruction, planning and development of coastal cities and towns is the mechanism of thermodynamic and aerodynamic processes of the atmospheric environment, expressed in the form of sea breeze and mountain-valley circulation, as well as convective flows, the study of which allowed to formulate practical recommendations.

KEYWORDS: urban planning, ecology, pollution, heat, wind, solar irradiance, sea breeze, terrain, sea

FOR CITATION: Sokolskaya O.N., Giyazov A.I. Urban and ecological prerequisites for the development of the Black Sea cities in the Krasnodar region with consideration of thermal and wind processes. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2020; 10(3):3. URL: <http://ns-o-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.3.3 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире вопрос экологии атмосферной среды приземного слоя в градостроительстве является главенствующим. Особую актуальность он приобретает для городов черноморского побережья, обладающих исключительно благоприятными климатическими условиями для отдыха и проживания. В условиях черноморских городов Краснодарского края экологическое состояние приземного слоя атмосферной городской среды зависит от особенностей деятельности городской поверхности и прилегающих к городу территорий, формирующих тепло-ветровые процессы местного характера. В теплое время года, с марта по октябрь, направление ветра на побережье характеризуется ясно выраженным суточным ходом, обусловленным, с одной стороны, неодинаковым нагревом прибрежных городских территорий и поверхности моря (бризовые ветры); с другой стороны, орографическими особенностями (горно-долинные ветры, ветры склонов).

Черноморское побережье Краснодарского края включает в себя прибрежную полосу от Адлера до Таманского п-ова, защищенную с севера Кавказским хребтом, на котором расположились южные города и поселки. Самыми крупными являются Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе и Сочи.

Горная система Большого Кавказа надежно защищает города Черноморского побережья от холодных воздушных масс с севера, начинается с невысоких холмов в окрестностях Анапы и простирается в юго-восточном направлении вплоть до границы с Абхазией, постепенно набирая высоту. Высотные отметки гор увеличиваются постепенно с северо-запада на юго-восток.

При этом, несмотря на то, что черноморские города обладают исключительно благоприятными природно-климатическими условиями, согласно строительным нормам, территория Краснодарского края, включающая в себя города Новороссийск и Геленджик, характеризуется неблагоприятными

интенсивными местными ветрами в холодное время года и выделена в особый ветровой район.

В каждом из городов Черноморского побережья вопрос экологии атмосферы приземного слоя стоит по-разному.

К примеру, г. Сочи является крупным курортом федерального значения, Новороссийск — важный транспортный центр, морской порт, включающий пассажирский, грузовые порты и нефтеналивную гавань, а также узел шоссейных дорог и конечный пункт железнодорожной линии от Краснодара.

Если в курортных городах экологическое состояние воздушной среды можно считать благополучным, то города Новороссийск и Туапсе возглавляют список городов с неблагоприятной экологической ситуацией воздуха среди городов Краснодарского края. Ростехнадзор неоднократно включал Новороссийск и Туапсе в список экологически неблагоприятных городов региона с точки зрения атмосферных выбросов. По некоторым данным, основная доля загрязняющих веществ приходится на автомобильные выбросы, содержащие оксид углерода, окислы азота, углеводороды, сажу, диоксид серы, бензапирен и свинец.

Экология Краснодарского края, в частности прибрежных городов Черноморского побережья, подробно рассмотрена в методическом пособии И.С. Белюченко [1].

Ряд исследований ведущих научно-исследовательских институтов был посвящен изучению характеристики климата Черного моря и его побережья. Разработано подробное описание режима основных метеорологических элементов^{1,2}.

Существуют исследования, в которых рассматривались циркуляционные процессы, формирую-

¹ Справочник по климату Черного моря. М. : Гидрометеоиздат, 1974. 407 с.

² СНКК 20-303-2002 (ТСН 20-302-2002 Краснодарского края). Нагрузки и воздействия. Ветровая и снеговая нагрузки. Краснодар, 2003. 12 с.

шие климатические условия в пределах сложной орографии южных регионов, а также бризовые ветры в системе «суша-море» [2–6].

Интересны работы в области термических особенностей крупного города и их влияние на его аэрацию среди застройки. Исследованиям, связанным с этим вопросом, посвящены труды [7–9].

Некоторыми авторами рассмотрены экологические характеристики уровня загрязнения атмосферы в сочетании с учетом отдельных природно-климатических и метеорологических элементов [10–14].

Исследователями представлены градостроительные аспекты освоения сложного рельефа с учетом природно-климатических и экологических факторов атмосферной среды, разработаны методические рекомендации по архитектурно-планировочной организации городской застройки [15–18].

Изучение данных береговых гидрометеостанций, опубликованных в справочнике, показало, что средние месячные скорости для г. Новороссийска в летние месяцы июнь, июль и август, когда наиболее развиты бризовые ветры, составляют 3,5; 3,5 и 3,9 м/с; для г. Туапсе — 3,1; 3,0; 3,2 м/с при среднем ветре; в г. Новороссийске и г. Туапсе число дней в июле с максимальной температурой 20,1–25,0 — 4; 25,1–30,0 — 19; 30,1–35,0 — 7; 35,1–40,0 — 0,5 дней. Интенсивность солнечной радиации 760 Вт/м² и более предопределила направления масштабного изучения проблемы экологического состояния атмосферной среды для градостроительного освоения городов побережья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу исследования положена комплексная методология изучения метеорологических процессов на макро- и мезоэкологическом уровнях градостроительного проектирования для условий черноморского побережья, отличающегося благоприятными климатическими условиями, сложным горным рельефом, наличием моря и уникальными ветровыми особенностями в теплое время года.

Вопросы формирования тепло-ветровых процессов на макроэкологическом уровне градостроительного проектирования анализировались и сопоставлялись при помощи современных компьютерных моделей, используемых в прикладной метеорологии, основанных на известных математических моделях численного предсказания погоды, таких как ICON, GFS и GEM. Применение данных компьютерных моделей позволяет произвести реальную оценку суточного изменения направления ветра на макроэкологическом уровне территории Черноморского побережья Краснодарского края с учетом сложного рельефа Кавказских гор и акватории Черного моря.

В исследовании на уровне мезоэкологического масштаба, помимо циркуляции воздуха, на эко-

логию приземного слоя атмосферы существенно влияет рельеф земной поверхности. Кроме того, ее изменения в значительной мере обусловлены воздействием вертикальных движений воздуха за счет термических явлений — конвекцией. Образование морских бризов, кatabатические ветры (бора), горно-долинные циркуляции — это явления мезомасштаба, которые были учтены в исследованиях.

Для черноморских городов Новороссийск и Туапсе проведена морфометрическая оценка рельефа территории путем построения карты, с изображением орографических особенностей подстилающей поверхности с наложением тепло-ветровых процессов, построенных при помощи графоаналитического метода, основанного на теплофизических и аэродинамических законах атмосферной среды. Такая методика научного исследования позволила решить ряд градостроительных прикладных задач, в частности построить траекторию перемещения купола загрязнений над городом в течение суток путем оценки качественной картины аэродинамического процесса.

Помимо этого, изучены и обобщены многочисленные научные исследования по данным наблюдений, на основе которых был сделан вывод, что в городах наблюдается сравнительно равномерное распределение концентраций примесей или фоновое загрязнение городского воздуха, характеризующееся одновременными изменениями над значительной территорией. Результаты показали, что распределение концентраций вредных веществ в атмосфере зависит от вида примеси, ее химической активности, характера размещения источников выбросов, особенностей структуры городской застройки и т.д.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В вопросах градостроительства на макроэкологическом уровне проектирования застройки, особенно для городов черноморского побережья, отличающихся наличием промышленных предприятий и развитой транспортной системой инфраструктуры, включая морской порт, необходимо учитывать вопрос трансформации и перемещения купола атмосферных загрязнений, формирующегося над городами, в течение суток.

С точки зрения суточной загрязненности первая половина дня с 04.00 до 12.00 ч является относительно благоприятным временем суток. Хотя примерно с 7.00 ч утра антропогенные выбросы вырастают быстрыми темпами, так как значительно возрастает поток машин на дорогах города, а также производственные объекты приступают к работе.

В первую половину дня активному нагреву за счет инсоляции подвергаются обращенные на восток склоны, образуя активные конвективные потоки от них. При этом утренний бризовый ветер со стороны моря будет подтекать к этим вертикаль-

Рис. 1. Градоэкологическая схема трансформации зоны загрязнения над городом, расположенным на побережье с учетом тепло-ветровых процессов, в первую половину дня с 04.00 до 12.00 ч: $U_в$ — скорость горизонтального потока ветра; $U_к$ — скорость вертикального конвективного потока; $U_ср$ — средняя скорость ветра

ным тепловым потокам и переносить экологически негативные атмосферные примеси в предгорную часть города, образуя зону максимального загрязнения, тем самым экологически благоприятствуя городской территории (рис. 1).

В дневное время с 12.00 до 20.00 ч максимальному нагреву при инсоляции подвергается сам город.

При облучении городской застройки возникает конвективный поток от городского острова тепла (ГОТ). Максимальная скорость конвективного потока, находясь в оси струи, зависит от интенсивности нагрева городской деятельной поверхности, достигает 2 м/с в приземном микроклиматическом слое и до 10 м/с в мезоклиматическом слое. Максимально активный конвективный поток возникает в новостроящихся районах города с неразвитыми элементами озеленения и благоустройства придомовой территории, асфальтированных площадей, пешеходных магистралей и в районах с плотной многоэтажной застройкой, а также промышленных зон и крупных промышленных предприятий. Городская деятельная поверхность, нагреваясь до 55–60 °С при инсоляции, обладая способностью аккумулировать тепло, производит максимально развитые конвективные потоки, что, в свою очередь, способствует появлению притока воздуха с окраин к центру города за счет локальных ветров. При этом транс-

формация купола загрязнений будет иметь вытянутую вверх форму в сторону зоны максимально активных конвективных потоков от города. В большинстве случаев повышенные концентрации атмосферных экологически неблагоприятных примесей чаще всего регистрируются в центральной части города и приводят к образованию экологически неблагоприятной зоны. Формируемые конвективные потоки способны поднимать атмосферные неблагоприятные примеси из приземного слоя атмосферы городов в более верхние слои, что благоприятно сказывается на градоэкологическом состоянии атмосферной микроклиматической среды в зоне нахождения и перемещения человека на территории, а также мезоклиматической среды многоэтажных и высотных зданий (рис. 2).

В вечернее время с 20.00 до 04.00 ч после захода солнца с берега в сторону моря начинает дуть береговой бриз. Береговой бриз обычно бывает слабее морского, так как ночные контрасты температур между сушей и морем значительно меньше дневных. При этом в механизм аэрации прибрежной территории городов включаются кatabатические ветры, переходящие далее в береговой бриз, перемещающая купол загрязнения в сторону набережной зоны. В этом случае купол загрязнений будет вытянут в сторону моря, а зона максимального загрязнения сместится в сторону набережной (рис. 3).

Рис. 2. Градоэкологическая схема трансформации зоны загрязнения над городом, расположенным на побережье с учетом тепло-ветровых процессов, во вторую половину дня с 12.00 до 20.00 ч: $U_{\text{в}}$ — скорость горизонтального потока ветра; $U_{\text{к}}$ — скорость вертикального конвективного потока; $U_{\text{ср}}$ — средняя скорость ветра

Рис. 3. Градоэкологическая схема трансформации зоны загрязнения над городом, расположенным на побережье с учетом тепло-ветровых процессов, в вечерний и ночной периоды с 20.00 до 04.00 ч: $U_{\text{в}}$ — скорость горизонтального потока ветра; $U_{\text{к}}$ — скорость вертикального конвективного потока; $U_{\text{ср}}$ — средняя скорость ветра

На основе изучения влияния тепло-ветровых процессов на физико-климатические характеристики изменения «острова тепла» составлены векторные зависимости направления аэродинамических процессов, позволяющие далее разработать численные методы расчета трансформации купола загрязнений.

Отмечается, что появление бризовых ветров в сочетании с конвективным потоком наблюдается на черноморском побережье с марта по октябрь, при этом максимально активный конвективный поток наблюдается в летний период, постепенно уменьшаясь к холодному периоду года.

Доказано, что степень загрязнения атмосферы определяется количеством выбросов, перенос и рассеивание которых происходит по законам турбулентной диффузии, а время их сохранения в атмосфере зависит от множества факторов, доминирующее значение среди которых принадлежит метеорологическим условиям. Распределение концентраций вредных веществ в атмосфере зависит от вида примесей и их плотности, химической активности, характера размещения источников выбросов, розы ветров, особенностей городской застройки и т.д. Отмеченные пространственные изменения концентрации обнаруживаются во всех городах, различие в уровне загрязнений между областью наибольших и наименьших концентраций определяется условием аэрации. Согласно исследованиям Э.Ю. Безуглой, степень прогнозируемого уменьшения загрязнения воздуха к окраинам, расположенным с наветренной стороны, составляет примерно 25–30 %, в крупном промышленном центре может достигать до 50 %.

Сформированный конвективный поток способствует улучшению окружающей воздушной среды за счет вероятного уменьшения вредных выбросов в приземном слое нахождения человека на 25–30 %.

ОБСУЖДЕНИЕ

В городах Туапсе и Новороссийск доминирует горно-долинная циркуляция, возникающая в пойме р. Цемес в Новороссийске, а также рек Туапсе и Паук в г. Туапсе. Возникает она в речных долинах на отдельных участках побережья рассматриваемых городов там, где река впадает в море и горы подходят близко к берегу. Горно-долинные ветры, хорошо выраженные в долинах, прорезывающих склоны, в прибрежной зоне сочетаются с бризовой циркуляцией. В таких местах суточная периодичность в направлении ветра проявляется особенно резко. Так, например, в г. Новороссийске на месячной розе ветров хорошо видны два почти противоположных направления преобладающих ветров, соответствующих направлению поймы р. Цемес.

Экологическая ситуация атмосферной среды в рассматриваемых городах Новороссийск и Туапсе

напрямую зависит от воздействия антропогенных факторов. Оба города являются важными транспортными центрами, крупнейшими портово-промышленными городами Черноморского побережья Краснодарского края, включающими пассажирские, грузовые порты, а также нефтеналивную гавань. По разным оценкам уровень техногенного загрязнения атмосферной окружающей среды лежит в диапазоне от незначительного до критического. По официальной версии города Новороссийск и Туапсе считаются одними из самых загрязненных городов Краснодарского края.

В целях поиска естественных процессов улучшения оздоровления атмосферной среды были проанализированы градоэкологические схемы трансформации «городского острова загрязнений», в основу построения которых легли физико-климатические особенности формирования ГОТ в теплый период года.

В холодный период года в указанных городах скорость ветра значительно увеличивается, что способствует уменьшению количества примесей в атмосфере городской среды и улучшению градоэкологических показателей. В январе средняя скорость ветра в г. Новороссийске — 5,5 м/с, в Туапсе — 6,5 м/с. Аналогичные показатели для июля в г. Новороссийске — 3,5 м/с, Туапсе — 3,0 м/с. Помимо этого, в Новороссийске в январе, согласно данным гидрометеослужбы, повышенные скорости ветра 10 и более м/с составляют 20,91 %. Для Туапсе это значение — 28,67 %.

Кроме того, на участке побережья от Анапы до Туапсе при переваливании через горы холодного воздуха в зимнее время на подветренных склонах возникает порывистый штормовой холодный ветер — бора. Бора характеризуется очень большими скоростями ветра — свыше 14 м/с, в отдельных случаях до 40 м/с, низкими температурами воздуха (до 14–15 °С) и значительной продолжительностью. В г. Новороссийске в среднем бывает 46–48 дней в году с борой, из них — около половины с ветром со скоростью не менее 20 м/с [2].

На основе изучения влияния тепло-ветровых процессов на физико-климатические характеристики изменения «городского острова загрязнений» составлены векторные зависимости направления аэродинамических процессов, позволяющие далее разработать численные методы расчета трансформации купола загрязнений.

Схема трансформации зоны атмосферных загрязнений с марта по октябрь в течение суток с учетом особенностей деятельной поверхности городов и особенностей формирования тепло-ветровых процессов для городов Новороссийск и Туапсе представлена в табл. 1–3.

Табл. 1. Градоэкологическая схема зоны загрязнения над городом в первую половину дня с 04.00 до 12.00 ч

Новороссийск	Туапсе

Условия инсоляции и принцип аэрации	
<p>В первую половину дня при условии инсоляции обращенных на восток склонов Абрауского хребта, расположенного в юго-западной стороне Цемесской бухты (в пределах муниципального образования Новороссийска Абрауский хребет представлен Гудзово-Амазайским массивом), происходит развитие бризовой морской циркуляции, которая усиливается горно-долинными ветрами северо-западного направления вдоль поймы р. Цемес в г. Новороссийске.</p> <p>В июле, согласно данным гидрометеослужбы, преобладают морские бризы северо-западного (17,33 %), северо-восточного (17,3 %) направления. Менее развиты бризы в северном (10,2 %), а также западном (5,4 %) направлении. Из них скорости ветра 1–5 м/с составляют 33,5 %, 6–9 м/с (11,1 %), 10–15 м/с (5,23 %) от ветров всех направлений. Скорости ветра 16–20 м/с отмечены в июле только в северо-восточном направлении и составляют 0,4 % от всех бризовых ветров.</p> <p>В итоге, в утренний период морской бриз со стороны Черного моря в г. Новороссийске составляет 50,23 % всех ветров и штиля</p>	<p>В первую половину дня в г. Туапсе при условии инсоляции склонов, расположенных на западе от города и обращенных на восток, формируется морской бризовый ветер. Он усиливается горно-долинными ветрами северо-восточного направления вдоль пойм рек Туапсе и Паук, проходящих через территорию города и впадающих в Черное море.</p> <p>В июле, согласно данным гидрометеослужбы, преобладают бризы северо-восточного направления (29,8 %), северного (6,77 %), северо-западного (6,57 %) и западного (8,57 %) направлений.</p> <p>При этом отмечены скорости ветра 1–5 м/с (44,4 %), 6–9 м/с (4,7 %) от ветров всех направлений. Повышенные скорости ветра 10–15 м/с составляют 2,14 % и не отмечены в северном направлении, а ветра со скоростью 16–20 м/с присутствуют лишь в северном, северо-восточном направлениях и составляют 0,47 % от ветров всех направлений. Скорости ветра 16–20 м/с встречаются в июле только в северо-восточном и северном направлениях и составляют 0,4 % от всех бризовых ветров.</p> <p>В итоге, морской бриз в утренний период в г. Туапсе составляет 51,71 % всех ветров и штиля</p>

Оценка экологической эффективности:

Удовлетворительно. В первую половину дня степень прогнозируемого уменьшения загрязнения воздуха при удалении от прибрежных городских территорий, расположенных с наветренной стороны к склоновым, составляет 25–30 %. Зонай основного скопления негативных атмосферных примесей являются низины, предсклоновые территории, окружающие бухту Цемес и бухту Туапсе, с северо-восточного, северного, северо-западного и западного направлений. Прогнозируемая степень загрязнения может достигать 50 %

Табл. 2. Градозэкологическая схема зоны загрязнения над городом во вторую половину дня с 12.00 до 20.00 ч

Новороссийск	Туапсе

Условия инсоляции и принцип аэрации	
<p>При облучении территории г. Новороссийска максимально активный конвективный поток возникает в городе при облучении зоны морского порта, находящейся на побережье в самой глубине Цемесской бухты, а также территорий новых строящихся микрорайонов, в основном расположенных в юго-западной части города.</p> <p>Для Новороссийска — средняя температура в июне 20,2 °С, максимальная 35 °С, в июле и августе средняя 23,6 и 23,7 °С, максимальная 39 °С.</p> <p>Штилевой период в июле составляет 16,8 %, возникает во время смены морского бриза на береговой и наоборот</p>	<p>При облучении городской застройки г. Туапсе возникает конвективный поток. Максимальная скорость конвективного потока, находясь в оси струи, возникает в городе от территории морского порта и крупной промышленной зоны, которые расположены вдоль устья р. Туапсе, а также новостроек без благоустройства придомовой территории.</p> <p>Средняя температура в июле 20 °С, максимальная 36 °С, в июле и августе средняя 23 (максимальная 41 °С) и 23,4 °С (максимальная 39 °С).</p> <p>Штилевой период в июле составляет 11,3 %, возникает два раза в сутки, во время смены направления бризовых ветров</p>

Оценка экологической эффективности:

Хорошо. Сформированный конвективный поток способствует улучшению окружающей воздушной среды за счет вероятного уменьшения прогнозируемых вредных выбросов в приземном слое на 25–30 %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Своеобразное географическое положение черноморских крупных городов Краснодарского края обуславливает наличие исключительно благоприятных природно-климатических условий в теплое время года, что, в свою очередь, обязывает архитекторов и проектировщиков к индивидуальному подходу в градозэкологическом зонировании территорий, расположении и строительстве объектов с учетом тепло-ветровых процессов.

Главным градозэкологическим принципом планировочной организации территории Черноморского побережья Краснодарского края является планировка и застройка городов на основе учета направления перемещения и трансформации купола

загрязнений с учетом термодинамических и аэродинамических процессов, выражающихся в виде бризовой и горно-долинной циркуляции с марта по октябрь, а также конвективных потоков, возникающих при инсоляции застройки в теплое время года.

В городах Новороссийск и Туапсе, как и в других крупных черноморских городах Краснодарского края, таких как Анапа, Геленджик и Сочи, в теплое время года в первой половине дня зона максимального скопления негативных атмосферных примесей находится в предгорьях, к середине дня она сместится в центр города, а к вечеру максимальные загрязнения будут наблюдаться в прибрежной зоне.

Граздозэкологическая эффективность Новороссийска и Туапсе с учетом тепло-ветровых про-

Табл. 3. Градoэкологическая схема зоны загрязнения над городом в вечерний и ночной периоды с 20.00 до 04.00 ч

Новороссийск	Туапсе

Условия инсоляции и принцип аэрации	
<p>В вечерний период в г. Новороссийске максимальное количество инсоляции приходится на склоны Маркотхского хребта, обращенные на запад. Происходит развитие берегового бриза в сторону моря, которое, как и в утренний период, усиливается горно-долинными ветрами, только теперь обратного доминирующего юго-восточного направления, по направлению поймы р. Цемес.</p> <p>В июле преобладают бризы со стороны берега юго-восточного (15,3 %), южного (7,9 %), юго-западного (5,2 %), а также восточного (4,6 %) направлений. Также в июле преобладают скорости бризового ветра 1–5 м/с (28,3 %), 6–9 м/с (4 %), 10–15 м/с (4 %) от ветров всех направлений.</p> <p>В итоге, береговой бриз в вечерний период в г. Новороссийске составляет 33 % от всех ветров и штиля</p>	<p>В вечерний период в г. Туапсе максимальное количество инсоляции приходится на склоны, расположенные на востоке от города и обращенные на запад, расчлененные мелкой овражно-балочной сетью. Происходит развитие берегового бриза в сторону моря, которое, как и в утренний период, усиливается горно-долинными ветрами, только теперь обратного доминирующего юго-западного направления, по направлению поймы рек Туапсе и Паук.</p> <p>К примеру, в июле преобладают бризы со стороны берега юго-западного (14,6 %), южного (8,7 %), юго-восточного (8,5 %), а также восточного (5,17%) направлений. Также в июле преобладают скорости бризового ветра 1–5 м/с (32,2 %), 6–9 м/с (43 %), 10–15 м/с (1,57 %) от ветров всех направлений. Скорости 16–20 м/с (0,2 %) наблюдаются лишь в направлении юго-востока.</p> <p>В итоге, береговой бриз в вечерний период в г. Туапсе составляет 37 % всех ветров и штиля</p>

Оценка экологической эффективности:

Хорошо. Вечером и в ночной период береговым бризом в сторону прибрежных городских территорий и моря переносятся все негативные атмосферные примеси. Вероятно, прогнозируемая степень увеличения загрязнения воздуха над территорией вдоль моря составляет 25–30 %. Положительным фактором является рассеивание примесей над морской поверхностью и отсутствие зон скопления

цессов позволяет оценить первую половину дня удовлетворительно, так как зоной основного скопления негативных атмосферных примесей являются предсклоновые территории с прогнозируемой степенью загрязнения 50 %. Вторая половина дня, а также вечерний и ночной периоды характеризуются хорошо, вероятная степень уменьшения вредных выбросов в приземном слое на 25–30 %, так как активный конвективный поток и береговой бриз способствуют рассеиванию атмосферных

примесей в высоких слоях атмосферы и над морской поверхностью.

Данные исследования представляют особую актуальность в городах, расположенных на побережье, формирующих особые климатические условия в аспекте градoэкологической системы «горы – город – море», что, в свою очередь, обязывает архитекторов и градостроителей к индивидуальному подходу в градостроительстве, при реконструкции, планировке и застройке городов и населенных пунктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белюченко И.С. Экология Краснодарского края (Региональная экология) : учебное пособие. Краснодар, 2010. 356 с.
2. Epifanio C.C., Rotunno R. The dynamics of orographic wake formation in flows with upstream blocking // *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2005. No. 9. Pp. 3127–3150. DOI: 10.1175/jas3523.1
3. Simpson J.E. Diurnal changes in sea-breeze direction // *Journal of Applied Meteorology*. 1996. Vol. 35. Issue 7. Pp. 1166–1169. DOI: 10.1175/1520-0450(1996)035<1166:dcisbd>2.0.co;2
4. Wichink Kruit R.J., Holtslag A.A., Tijm A.B.C. Scaling of the sea-breeze strength with observations in the Netherlands // *Boundary-Layer Meteorology*. 2004. Vol. 112. Issue 2. Pp. 369–380. DOI: 10.1023/b:boun.0000027904.18874.75
5. Steyn D.G. Scaling the vertical structure of sea breezes revisited // *Boundary-Layer Meteorology*. 2003. Vol. 107. Issue 1. Pp. 177–188. DOI: 10.1023/a:1021568117280
6. Porson A., Steyn D.G., Schayes G. Formulation of an index for sea breezes in opposing winds // *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2007. Vol. 46. Issue 8. Pp. 1257–1263. DOI: 10.1175/jam2525.1
7. Сокольская О.Н. Учет тепло-ветровых процессов атмосферной среды при формировании градозоологической структуры застройки в жарких штилевых и ветровых городах // *Функция, конструкция, среда в архитектуре зданий : сб. тезисов докладов Всеросс. науч.-практ. конф. Москва, 2019. С. 141–142.*
8. Мель И.В. Формирование тепло-ветрового режима жилой застройки городов // *Актуальные проблемы природообустройства: геодезия, землеустройство, кадастр и мониторинг земель : мат. Междунар. науч.-практ. конф: сборник статей. Ижевск, 2017. С. 96–99.*
9. Hardin A.W., Liu Y., Cao G., Vanos J.K. Urban heat island intensity and spatial variability by synoptic weather type in the northeast U.S. // *Urban Climate*. 2018. Vol. 24. Pp. 747–762. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.09.001
10. Гиясов А.И., Тускаева З.Р., Гиясова И.В. Использование особенностей сложного рельефа для устойчивого развития горных территорий // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2018. Т. 10. № 4 (38). С. 558–565. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-4-558-565
11. Сокольская О.Н., Гиясов А.И. Градостроительное освоение сложного рельефа и морского побережья // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 7. С. 42–49. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.07.42-49
12. Большаков В.В. Принципы градостроительной экологии в планировании территории // *Архитектура, градостроительство и дизайн*. 2019. № 2 (20). С. 10–16.
13. Гиясов А.И., Сокольская О.Н. Формирование городской застройки с учетом экологических факторов атмосферной среды в жарких маловетренных и штилевых климатических условиях : монография. Краснодар : ПринтТерра, 2016. 140 с.
14. Безуглая Э.Ю. Учет метеорологических условий и фоновой концентрации примесей для обеспечения чистоты воздуха в жилых районах города // *Градостроительство и вопросы охраны окружающей среды*. 1975. С. 76–81.
15. Самойлова Н.В. Методы по созданию природно-рекреационного каркаса поселений черноморского побережья // *Научный вестник Крыма*. 2018. № 4 (15). С. 13.
16. Оленьков В.Д. Учет ветрового режима городской застройки при градостроительном планировании с использованием технологий компьютерного моделирования // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2017. Т. 17. № 4. С. 21–27. DOI: 10.14529/build170403
17. Бакаева Н.В., Черняева И.В., Алгоритм оценки градостроительной деятельности на основе принципов биосферной совместимости // *Градостроительство и архитектура*. 2019. Т. 9. № 2 (35). С. 5–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.1
18. Куролан С.А., Попова И.В., Сарычев Д.В., Клепиков О.В., Виноградов П.М. Оценка техногенного загрязнения воздушного бассейна и микроклиматической комфортности городской среды // *Экологическая ситуация и риски для здоровья населения города Воронежа*. 2018. С. 34–56.

Поступила в редакцию 13 июля 2020 г.

Принята в доработанном виде 5 августа 2020 г.

Одобрена для публикации 31 августа 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: Оксана Николаевна Сокольская — кандидат технических наук, доцент; Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ); 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2; РИНЦ ID: 781835; ons33@mail.ru;

Адхам Иминжанович Гиясов — доктор технических наук, профессор; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; adham52@mail.ru.

INTRODUCTION

In the contemporary world, the issue of the atmospheric environment ecology of the surface layer in urban planning is the dominant one. It becomes especially important for the cities on the Black Sea coast, which have exceptionally favorable climatic conditions for recreation and residence. In the conditions of the Black Sea cities of Krasnodar region, the ecological state of the surface layer of the atmospheric urban environment depends on the specific traits of the active urban surface and adjacent areas forming the local thermal and wind processes. During the warm seasons of the year, from March to October, the coastal wind direction is defined by a distinct diurnal variation resulting from, on the one hand, the uneven heating of coastal urban areas and sea surface (breeze winds); on the other hand, the orographic traits (mountain-valley winds, slope winds).

Krasnodar region's Black Sea coast includes a coastal strip from Adler to the Taman Peninsula, protected from the north by the Caucasus range, on which southern cities and towns are located. The largest of the cities are Anapa, Novorossiysk, Gelendzhik, Tuapse and Sochi.

The Greater Caucasus range protects the cities on the Black Sea coast from the cold air masses from the north, begins with low hills in the vicinity of Anapa and stretches southeastward up to the Abkhazia border, gradually gaining height. The mountains' topographic elevation increases gradually from northwest to southeast.

At the same time, despite the fact that the Black Sea cities have exceptionally favorable natural and climatic conditions, in accordance with the construction regulations, the territory of Krasnodar Region, which includes the cities of Novorossiysk and Gelendzhik, is defined by unfavorable intense local winds during the cold season and is separated into its own special wind region.

The issue of surface layer atmosphere ecology is presented differently in each of the Black Sea coast cities.

For example, Sochi is a major resort of federal importance, Novorossiysk is an important transport center, a seaport that includes passenger ports, cargo ports and oil-loading harbor, as well as a highway junction and the terminal point of the Krasnodar railway line.

While the ecological state of the atmospheric environment in resort cities can be considered favorable, the cities of Novorossiysk and Tuapse lead the list of cities with unfavorable ecological state of atmospheric environment among the cities of Krasnodar region. The Federal Service for the Supervision of Environment, Technology and Nuclear Management has repeatedly included Novorossiysk and Tuapse in the list of environmentally unfavorable cities in the region in terms of air emissions. According to some sources, the bulk of pollutants comes from car emissions containing carbon oxide, nitrogen oxides, hydrocarbons, soot, sulfur dioxide, benzopyrene, and lead.

The ecology of the Krasnodar region, in particular the coastal cities of the Black Sea coast, is considered in depth in the guidance manual by I.S. Belyuchenko [1].

A number of studies by leading research institutes have been devoted to studying the characteristics of the Black Sea climate and its coast. A detailed description of the relations of the main meteorological elements has been developed^{1,2}.

There have been studies examining circulation processes that form climatic conditions within the complex orography of southern regions, as well as breeze winds in the land-sea system [2–6].

Studies of thermal characteristics of a large city and their influence on its aeration among buildings have proven to be interesting. There are works [7–9] devoted to studies related to this issue.

Some authors have considered environmental characteristics of the air pollution level in combination with individual natural-climatic and meteorological elements [10–14].

The researchers presented urban planning aspects of complex topography development taking into account natural, climatic and environmental factors of the atmospheric environment, developed guidelines for architectural and planning organization of urban development [15–18].

A study of data from coastal weather stations published in the guidebook showed that the average monthly wind velocities for Novorossiysk during the summer months of June, July and August, when the breeze winds are most developed, are 3.5, 3.5 and 3.9 m/s; for Tuapse they are 3.1; 3.0; 3.2 m/s at average winds; in Novorossiysk and Tuapse, the number of days in July with maximum temperatures of 20.1–25.0 is 4; 25.1–30.0 is 19; 30.1–35.0 is 7; 35.1–40.0 is 0.5 days. The solar intensity of 760 W/m² and more predetermined the directions of a large-scale study of the ecological state of the atmospheric environment for urban development of coastal cities.

MATERIALS AND METHODS

The study is based on a comprehensive methodology for studying meteorological processes at the macro- and mesoecological levels of urban planning for the Black Sea coast conditions, characterized by favorable climatic conditions, complex mountainous terrain, the presence of a sea and unique wind characteristic during the warm seasons.

The formation of thermal and wind processes at the macroecological level of urban planning was analyzed and compared using the modern computer models utilized in applied meteorology based on well-known

¹ Black Sea climate guidebook. Moscow, Gidrometeoizdat, 1974; 407 (rus.).

² SNKK 20-303-2002 (TSN 20-302-2002 of the Krasnodar region). Loads and effects. Wind and snow loading. Krasnodar, 2003; 12 (rus.).

mathematical models of numerical weather prediction, such as ICON, GFS and GEM. The use of these computer models makes it possible to make a real assessment of the daily wind direction change at the macroecological level for the Black Sea coast of the Krasnodar region, taking into account the complex topography of the Caucasus Mountains and the Black Sea water area.

On the study's mesoecological scale, in addition to air circulation, the ecology of the surface layer of the atmosphere is significantly affected by the topographic relief. In addition, its changes are largely due to the effect of vertical air movements on account of thermal phenomena – due to convection. The formation of sea breezes, katabatic winds (bora), and mountain-valley circulation are mesoscale phenomena that have been taken into account in the research.

For the Black Sea cities of Novorossiysk and Tuapse, a morphometric assessment of the territory terrain was carried out by drawing a map showing orographic features of the underlying surface with an overlay of thermal and wind processes built using a semi-graphical method based on thermophysical and aerodynamic laws of the atmospheric environment. This method of scientific research allowed to solve a number of applied problems of urban planning, in particular, to build the daily trajectory of pollution dome movement over the city by estimating the qualitative picture of the aerodynamic process.

In addition, numerous scientific studies were investigated and summarized on the basis of observation data, which led to the conclusion that in cities there is a relatively uniform distribution of impurity concentrations or background contamination of urban air, defined by simultaneous changes over a large area.

The results showed that the distribution of harmful substance concentrations in the atmosphere depends on the type of the impurity, its chemical activity, the nature of the emission source location, the peculiarities of the urban development structure, etc.

RESEARCH FINDINGS

In the issues of urban planning at the macroecological level of housing development design, especially for the cities of the Black Sea coast, characterized by the presence of industrial enterprises and a developed transport infrastructure system, including a seaport, it is necessary to take into account the daily transformation and movement of the atmospheric pollution dome forming over the cities.

In terms of daily pollution, the first half of the day from 4 a.m. to 12 p.m. is a relatively favorable time of day. However, from about 7 a.m., anthropogenic emissions grow rapidly as the traffic on the city roads increases significantly, and production facilities start working.

In the first half of the day, the mountain slopes facing east are actively heated by solar irradiance, forming active convective flows from them. At the same time, the morning sea breeze will flow to these vertical heat currents and transfer ecologically negative atmospheric impurities to the city's piedmont part, forming a zone of maximum pollution, thus making the city's territory ecologically favorable (Fig. 1).

During the daytime from 12 p.m. to 8 p.m. the city itself is exposed to maximum heating during the solar irradiance.

Fig. 1. Urban ecological chart of pollution zone transformation over a coastal city, taking into account thermal and wind processes, in the first half of the day from 4 a.m. to 12 p.m.: U_v — horizontal wind current velocity; U_k — vertical convective flow velocity; U_{avg} — average wind velocity

In case of urban building irradiation, a convective flow forms from the urban heat island (UHI). The maximum convective flow velocity in the jet axis depends on the intensity of heating of the urban active surface and reaches 2 m/s in the surface microclimatic layer and up to 10 m/s in the mesoclimatic layer. The maximum active convective flow occurs in newly built city districts with undeveloped elements of planting and improvement of the buildings' adjacent territory, paved areas, pedestrian walkways and in districts with densely built multi-storey buildings, as well as industrial areas and large industrial plants. Active city surface heating up to 55–60 °C produces the most developed convective flows during solar irradiance due to its ability to accumulate heat, which, in turn, contributes to the air influx from the outskirts to the city center due to local winds. In this case, the shape of the pollution dome transformation will be elongated upward towards the zone of maximum active convective flows from the city. In most cases, elevated concentrations of ecologically harmful atmospheric impurities are most often registered in the central part of the city and lead to the formation of an ecologically harmful zone. The formed convective flows are able to raise harmful atmospheric impurities from the surface layer of the city atmosphere to the upper layers, which has a beneficial effect on the urban ecological state of the atmospheric microclimatic environment in the area of presence and movement of people on the territory, as well as mesoclimatic environment of multi-storey and high-rise buildings (Fig. 2).

In the evening from 8 p.m. to 4 a.m. after sunset the coastal breeze starts to blow from the shore towards the sea. Coastal breeze is usually weaker than the sea breeze, as night temperature contrasts between land and sea are much lower than daytime ones. At the same time, katabatic winds are included in the aeration mechanism of the coastal city territories, transitioning into the coastal breeze, moving the pollution dome towards the coastal zone. In this case, the pollution dome will be elongated in the direction of the sea and the maximum pollution zone will be shifted towards the coast (Fig. 3).

Vector dependences of the direction of aerodynamic processes are made on the basis of study of the thermal and wind process effects on physical and climatic characteristics of the "heat island" change, allowing further development of numerical pollution dome transformation calculation methods.

It is noted that the appearance of breeze winds in combination with a convective flow is observed on the Black Sea coast from March to October, with the maximum active convective flow observed in the summer period, gradually decreasing towards the cold seasons.

It has been proved that the degree of air pollution is determined by the amount of emissions, the transport and dispersion of which occurs in accordance with the laws of turbulent diffusion, and the time of their preservation in the atmosphere depends on many factors, the dominant one being meteorological conditions. The distribution of harmful substance concentrations in the atmosphere depends on the type of impurities and their density, chemical activity, the nature of emis-

Fig. 2. Urban ecological chart of pollution zone transformation over a coastal city, taking into account thermal and wind processes, in the second half of the day from 12 p.m. to 8 p.m.: U_v — horizontal wind current velocity; U_k — vertical convective flow velocity; U_{avg} — average wind velocity

Fig. 3. Urban ecological chart of pollution zone transformation over a coastal city, taking into account thermal and wind processes, in the evening and night periods from 8 p.m. to 4 a.m.: U_v — horizontal wind current velocity; U_k — vertical convective flow velocity; U_{avg} — average wind velocity

sion source locations, wind rose, urban development features, etc. Noted spatial concentration changes are found in all cities, the difference in pollution levels between the highest and the lowest concentration regions is determined by the condition of aeration. According to E.Yu. Bezuglaya's research, the degree of predicted reduction of air pollution to the outskirts located on the windward side is approximately 25–30 %, and can reach up to 50 % in a large industrial center.

The formed convective flow contributes to the improvement of the air environment due to the probable reduction of harmful emissions in the surface layer of human presence by 25–30 %.

DISCUSSION

The cities of Tuapse and Novorossiysk are dominated by mountain-valley circulation originating in the floodplain of the Tsemes River in Novorossiysk, as well as in the Tuapse and Spider Rivers in Tuapse. It occurs in river valleys in some parts of the shore where the river runs into the sea and the mountains come close to the riverfront. Well-defined mountain-valley winds in the valleys that cut through the slopes are combined with breeze circulation in the coastal zone. The daily periodicity in the wind direction is especially pronounced in such places. For example, in Novorossiysk, two almost opposite directions of prevailing winds, corresponding to the direction of the Tsemes River floodplain, can be clearly seen on the monthly wind rose.

The ecological condition of the atmospheric environment in the examined cities of Novorossiysk and Tuapse directly depends on the effects of anthropogenic factors. Both cities are important transport centers,

the largest port and industrial cities on the Black Sea coast of the Krasnodar region, including passenger, cargo ports, as well as an oil-loading harbor. According to various estimates, the level of technogenic pollution of the atmospheric environment ranges from insignificant to critical. According to the official sources, Novorossiysk and Tuapse are among the most polluted cities in the Krasnodar region.

In order to search for natural processes to improve the atmospheric environment, we analyzed the urban and ecological transformation charts of the “urban pollution island”, which were based on the physical and climatic features of the UHI formation during the warm season.

During the cold season, the wind velocity in the specified cities increases significantly, which contributes to the reduction of impurities in the urban environment atmosphere and the improvement of urban environmental indicators. In January, the average wind velocity in Novorossiysk is 5.5 m/s, while in Tuapse — 6.5 m/s. Similar indicators for July: 3.5 m/s in Novorossiysk and 3.0 m/s in Tuapse. In addition, according to the data of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, in Novorossiysk in January the increased wind velocities of 10 m/s and more are 20.91 %. For Tuapse this value is 28.67 %.

In addition, on the stretch of coast from Anapa to Tuapse, when cold air passes through the mountains in winter, bora, a gusty cold storm wind, appears on the leeward slopes. Bora is defined by very high wind velocities, over 14 m/s, up to 40 m/s in certain cases, as well as low air temperatures (up to 14–15 °C) and significant duration. In Novorossiysk, bora ap-

pears for 46 to 48 days per year on average, for approximately half of them the wind velocity is at least 20 m/s [2].

Vector dependences of the direction of aerodynamic processes are made on the basis of study of the thermal and wind process effects on physical and climatic characteristics of the “urban pollution island” change,

allowing further development of numerical pollution dome transformation calculation methods.

The daily atmospheric pollution zone transformation chart from March to October, taking into account the features of the cities’ active surface and the formation of thermal and wind processes for Novorossiysk and Tuapse is presented in Tables 1–3.

Table 1. Urban ecological chart of pollution zone over the city in the first half of the day from 4 a.m. to 12 p.m.

Novorossiysk	Tuapse

Solar irradiance conditions and the aeration principle	
<p>In the first half of the day, provided that the east-facing slopes of the Abrau Range, located in the southwestern side of Tsemes Bay (within Novorossiysk’s municipality, the Abrau Range is represented by the Gudzovo-Amazai massif), are subject to solar irradiance, a sea breeze circulation develops, which is amplified by northwest mountain-valley winds heading along the Tsemes River floodplain in Novorossiysk.</p> <p>In July, according to the data of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, northwest (17.33 %) and northeast (17.3 %) sea breezes are prevalent. North (10.2 %) and west (5.4 %) breezes are less developed. Of these, wind velocities of 1–5 m/s are 33.5 %, 6–9 m/s are 11.1 % and 10–15 m/s are 5.23 % out of winds of any direction. Wind velocities of 16–20 m/s were reported in July only in the northeast direction and are 0.4 % of all breeze winds.</p> <p>Overall, the Black Sea breeze accounts for 50.23 % of all morning winds and still in Novorossiysk.</p>	<p>In Tuapse, a sea breeze wind forms in the first half of the day, provided that the slopes located to the west of the city and facing east are subject to solar irradiance. It is amplified by northeast mountain-valley winds along the floodplains of the Tuapse and Pauk rivers, which pass through the city and run into the Black Sea.</p> <p>In July, according to the data of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, northeast (29.8 %), north (6.77 %), northwest (6.57 %) and west (8.57 %) breezes are prevalent. Winds of all directions with wind velocities of 1–5 m/s (44.4 %), 6–9 m/s (4.7 %) were also reported. Increased wind velocities of 10–15 m/s are 2.14 % and were not reported in the north direction, while winds with velocities with 16–20 m/s are only north and northeast and are 0.47 % of winds of all directions. Wind velocities of 16–20 m/s appear in July only in the northeast and north directions and are 0.4 % of all breeze winds.</p> <p>Overall, the sea breeze in the morning period accounts for 51.71 % of all winds and still in Tuapse.</p>

Ecological efficiency score:

Satisfactory. In the first half of the day, the degree of predicted reduction of air pollution at a distance from coastal urban areas located from the windward side to the slope areas is 25–30 %. The main accumulation zone of negative atmospheric impurities is lowlands, pre-slope territories surrounding the Tsemes Bay and Tuapse Bay from the northeast, north, northwest and west directions. The predicted degree of pollution can be as high as 50 %.

Table 2. Urban ecological chart of pollution zone over the city in the second half of the day from 12 p.m. to 8 p.m.

Novorossiysk	Tuapse

Solar irradiance conditions and the aeration principle	
<p>During the irradiation of the territory of Novorossiysk, the maximum active convective flow occurs in the city during the irradiation of the seaport area, located on the coast at the very depth of the Tsemesskaya Bay, as well as the territories of newly built neighborhoods, mainly located in the south-western part of the city.</p> <p>For Novorossiysk, the average temperature in June is 20.2 °C, the maximum is 35 °C, in July and August the average is 23.6 °C and 23.7 °C, the maximum is 39 °C.</p> <p>The still period in July is 16.8 % and occurs during the transition between sea breeze to coastal breeze and vice versa.</p>	<p>A convective flow occurs in Tuapse during the irradiation of the city buildings. The maximum convective flow velocity in the jet axis occurs in the city from the territory of the sea port and a large industrial zone, which are located along the mouth of the Tuapse River, as well as newly-built buildings without the adjacent territory improvement.</p> <p>The average temperature in June is 20.0 °C, the maximum is 36 °C, in July and August the average is 23.0 °C (maximum 41 °C) and 23.4 °C (maximum 39 °C).</p> <p>The still period in July is 11.3 % and occurs twice a day during the change of breeze wind direction.</p>

Ecological efficiency score:

Good. The formed convective flow contributes to the improvement of the air environment due to the probable reduction of predicted harmful emissions in the surface layer by 25–30 %.

CONCLUSION

The unique geographical location of the major cities of the Black Sea in the Krasnodar region determines the presence of extremely favorable natural and climatic conditions in the warm season, which, in turn, requires architects and designers to utilize a case-by-case approach to the urban ecological zoning of the territory, location and construction of objects with consideration of thermal and wind processes.

The main urban and ecological principle of the planning organization of the territory of the Black Sea coast of the Krasnodar region is the planning and development of cities based on accounting for the pollution dome movement and transformation direction, thermodynamic and aerodynamic processes manifesting in the form of breeze and mountain-valley circulation from March to

October, as well as convective flows arising from the solar irradiance of buildings in the warm season.

In Novorossiysk and Tuapse, as well as in other major Black Sea cities of the Krasnodar region, such as Anapa, Gelendzhik and Sochi, the maximum accumulation zone of negative atmospheric impurities in the warm season mornings is in the foothills, by mid-day it shifts to the center of the city, and in the evening the maximum pollution can be observed in the coastal zone.

Urban and ecological efficiency of Novorossiysk and Tuapse with consideration of thermal and wind processes allows to evaluate the first half of the day as satisfactory, as the main accumulation zone of negative atmospheric impurities is pre-slope territories with the predicted degree of pollution of 50 %. The second half of the day, as well as the evening

Table 3. Urban ecological chart of pollution zone over the city in the evening and night periods from 8 p.m. to 4 a.m.

Novorossiysk	Tuapse

Solar irradiance conditions and the aeration principle	
<p>In the evening period in Novorossiysk, the maximum solar irradiance amount falls on the slopes of the Markotkh Range, facing west. The coastal breeze develops towards the sea, which, as in the morning, is amplified by mountain-valley winds, only now in the opposite dominant southeast direction, towards the floodplain of the Tsemes River.</p> <p>In July, the breezes from the southeast (15.3 %), south (7.9 %), southwest (5.2 %) and also east (4.6 %) direction shores are prevalent. Also, the breeze wind velocities of 1–5 m/s (28.3 %), 6–9 m/s (4 %), 10–15 m/s (4 %) out of winds of any direction are prevalent.</p> <p>Overall, the coastal breeze in the evening period accounts for 33 % of all winds and still in Novorossiysk.</p>	<p>In the evening period in Tuapse, the slopes located east of the city and facing west, separated by minor ravine and gully terrain, are subject to the most solar irradiance. The coastal breeze develops towards the sea, which, as in the morning, is amplified by mountain-valley winds, only now in the opposite dominant southwest direction, towards the floodplains of the Tuapse and Pauk rivers.</p> <p>For example, In July, the breezes from the southwest (14.6 %), south (8.7 %), southeast (8.5 %) and also east (5.17 %) direction shores are prevalent. Also, the breeze wind velocities of 1–5 m/s (32.2 %), 6–9 m/s (43 %), 10–15 m/s (1.57 %) out of winds of any direction are prevalent. Velocities of 16–20 m/s (0.2 %) are only observed in the southeast direction.</p> <p>Overall, the coastal breeze in the evening period accounts for 37 % of all winds and still in Tuapse.</p>

Ecological efficiency score:

Good. In the evening and night periods, all negative atmospheric impurities are carried by the coastal breeze towards coastal urban areas and the sea. It is probable that the predicted increase in air pollution over the territory along the sea is 25–30 %. The dispersion of impurities over the sea surface and the absence of accumulation zones are positive factors.

and night periods are defined by a good, probable degree of harmful emission reduction in the surface layer by 25–30 %, as the active convective flow and the coastal breeze contribute to the dispersion of atmospheric impurities in the upper atmosphere and above the sea surface.

The research data are particularly relevant in coastal cities that form special climatic conditions in the aspect of the “mountains-city-sea” urban ecological system, which, in turn, requires architects and urban planners to utilize a case-by-case approach in urban planning, reconstruction, planning and development of cities and towns.

REFERENCES

1. Belyuchenko I.S. *Ecology of the Krasnodar territory (Regional ecology)*. Krasnodar, 2010; 356. (rus.).
2. Epifanio C.C., Rotunno R. The dynamics of orographic wake formation in flows with upstream

- blocking. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2005; 9:3127-3150. DOI: 10.1175/jas3523.1
3. Simpson J.E. Diurnal changes in sea-breeze direction. *Journal of Applied Meteorology*. 1996; 35(7):1166-1169. DOI: 10.1175/1520-0450(1996)035<1166:dcisbd>2.0.co;2
4. Wichink Kruit R.J., Holtslag A.A., Tijn A.B.C. Scaling of the sea-breeze strength with observations in the Netherlands. *Boundary-Layer Meteorology*. 2004; 112(2):369-380. DOI: 10.1023/b:bo un.0000027904.18874.75
5. Steyn D.G. Scaling the vertical structure of sea breezes revisited. *Boundary-Layer Meteorology*. 2003; 107(1):177-188. DOI: 10.1023/a:1021568117280
6. Porson A., Steyn D.G., Schayes G. Formulation of an index for sea breezes in opposing winds. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2007; 46(8):1257-1263. DOI: 10.1175/jam2525.1
7. Sokolskaya O.N. Accounting for heat and wind processes of the atmospheric environment in the formation of the urban-ecological structure of buildings in hot calm and wind cities. *Function, design, environment in the architecture of buildings: collection of abstracts of reports of the all-Russian scientific and practical conference*. Moscow, 2019; 141-142. (rus.).
8. Mel I.V. Formation of the heat-wind regime of residential development of cities. *Actual problems of environmental management: geodesy, land management, cadastre and land monitoring : materials of the International scientific and practical conference: collection of articles*. Izhevsk, 2017; 96-99. (rus.).
9. Hardin A.W., Liu Y., Cao G., Vanos J.K. Urban heat island intensity and spatial variability by synoptic weather type in the northeast U.S. *Urban Climate*. 2018; 24:747-762. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.09.001
10. Giyasov A.I., Tuskayeva Z.R., Giyasova I.V. Complex landscapes peculiarities use for sustainable development of mountain territories. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018; 10(4)(38):558-565. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-4-558-565 (rus.).
11. Sokolskaya O.N., Giyasov A.I. Urban development of the complex terrain and sea coast. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 7:42-49. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.07.42-49 (rus.).
12. Bolshakov V.V. Principles of urban planning ecology in territory planning. *Architecture, Urbanism & Design*. 2019; 2(20):10-16. (rus.).
13. Giyasov A.I., Sokolskaya O.N. *Formation of urban development taking into account environmental factors of the atmospheric environment in hot, low-wind and calm climatic conditions: monograph*. Krasnodar, KubSTU, 2016; 140. (rus.).
14. Bezuglaya E.Yu. Accounting for meteorological conditions and background concentrations of impurities to ensure air cleanliness in residential areas of the city. *Urban Planning and Environmental Protection Issues*. 1975; 76-81. (rus.).
15. Samoylova N.V. Methods for the creation of a natural and recreational framework for the settlements of the black sea coast. *Scientific Bulletin of the Crimea*. 2018; 4(15):13. (rus.).
16. Olenkov V.D. Accounting for wind regime of an urban development in town planning with the use of computer simulation technologies. *Bulletin of the South Ural state University. Series: Construction and Architecture*. 2017; 17(4):21-27. DOI: 10.14529/build170403 (rus.).
17. Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. The algorithm of assessment of urban development based on the principles of biospheric compatibility. *Urban Construction and Architecture*. 2019; 9:2(35):5-14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.1 (rus.).
18. Kurolap S.A., Popova I.V., Sarychev D.V., Klepikov O.V., Vinogradov P.M. Assessment of technogenic pollution of the air basin and microclimatic comfort of the urban environment. *Environmental and health risks of the population of the city of Voronezh*. 2018; 34-56. (rus.).

Received July 13, 2020.

Adopted in revised form on August 5, 2020.

Approved for publication on August 31, 2020.

BIONOTES: **Oxana N. Sokolskaya** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **Kuban State Technological University**; 2 Moskovskaya st., Krasnodar, 350072, Russian Federation; ID RISC: 781835; ons33@mail.ru;

Adham I. Giyazov — Doctor of Technical Sciences, Professor; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; adham52@mail.ru.