

Л.М. КОРЫТНЫЙ, Л.Б. БАШАЛХАНОВА, Е.В. МАКСЮТОВА, А.А. СОРОКОВОЙ

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия,
kor@irigs.irk.ru; ldm@irigs.irk.ru; emaksyutova@irigs.irk.ru; geomer@irigs.irk.ru**ЭКОСИСТЕМНЫЕ ФУНКЦИИ АТМОСФЕРЫ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ
ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. УЛАН-УДЭ)**

Рассмотрены предпосылки устойчивого развития урбанизированных территорий, определяющиеся качеством атмосферного воздуха, обусловленным сочетанием микроклиматических различий и антропогенного воздействия. Исследован г. Улан-Удэ, расположенный в условиях долинно-котловинного рельефа. Для уточнения особенностей микроклимата города выполнены расчеты сумм прямой радиации на склоны окружающих его хребтов. Выявлены пространственные различия формирования эколого-климатического состояния воздушной среды на привершинных поверхностях, днищах долин рек Уды и Селенги, склонов с множеством долин разной ориентации и выровненных поверхностей. Установлено, что экосистемные функции атмосферы долинно-котловинных территорий, ограниченные природно-климатической способностью к самоочищению, предъявляют повышенные требования к объемам антропогенной нагрузки. Показано, что уменьшение объемов выбросов от стационарных источников с 2010 по 2018 г. способствует позитивной динамике удельных эколого-экономических показателей (кг/1000 руб.). При этом удельные суммарные выбросы (кг/чел.) растут, а индекс загрязнения атмосферы остается высоким и очень высоким из-за увеличения объема выбросов от передвижных источников и повышения концентрации агрессивных примесей. Для улучшения условий проживания населения и устойчивого развития г. Улан-Удэ важно снижение выбросов от стационарных и передвижных источников, что подразумевает улучшение качества топлива, технического состояния автотранспорта и инженерно-дорожной инфраструктуры, а также целесообразен перевод существующих зеленых зон в статус охраняемых.

Ключевые слова: условия рассеивания примесей, приход прямой радиации на склоны, микроклимат, объем выбросов загрязняющих веществ, рельеф, удельные эколого-экономические показатели.

L.M. KORYTNY, L.B. BASHALKHANOVA, E.V. MAKSYUTOVA, A.A. SOROKOVOI

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia,
kor@irigs.irk.ru; ldm@irigs.irk.ru; emaksyutova@irigs.irk.ru; geomer@irigs.irk.ru**ECOSYSTEM FUNCTIONS OF THE ATMOSPHERE IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF URBANIZED TERRITORIES (A CASE STUDY OF THE CITY OF ULAN-UDE)**

The prerequisites for sustainable development of urbanized territories are considered, which are determined by the atmospheric air quality governed by a combination of microclimatic differences and anthropogenic impact. The city of Ulan-Ude, located in the conditions of a valley-basin relief, was studied. To clarify the features in the microclimate of the city, calculations of the amounts of direct radiation on the slopes of the surrounding ridges were performed. Spatial differences in the formation of the ecological and climatic state of the air environment on the upper surfaces, bottoms of the valleys of the Uda and Selenga rivers, and slopes with many valleys of different orientations and planate surfaces are revealed. It is found that the ecosystem functions of the atmosphere of valley-basin territories, limited by the natural and climatic ability to self-purification, impose increased requirements on the volumes of anthropogenic load. It is shown that the decrease in emissions from stationary sources from 2010 to 2018 contributes to the positive dynamics of specific ecological and economic indicators (kg/1000 rubles). Furthermore, specific total emissions (kg/person) are growing, and the atmospheric pollution index remains high and very high due to an increase in emissions from mobile sources and an increase in the concentration of aggressive impurities. To improve the living conditions of the population and sustainable development of Ulan-Ude, it is important to reduce emissions from stationary and mobile sources, which implies improving the quality of fuel and the technical condition of vehicles and road infrastructure, and it is also advisable to transfer existing green zones to protected ones.

Keywords: impurity dispersion conditions, direct radiation income on slopes, microclimate, volume of pollutant emissions, relief, specific ecological and economic indicators.

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие сибирских городов тесно связано с их природно-климатическими особенностями. Местоположение большинства поселений в долинно-котловинном рельефе неизбежно ведет к замедлению процессов рассеивания примесей, поступающих в атмосферу, их накоплению и существенному повышению уровня загрязнения, особенно в периоды становления и развития антициклона [1]. По результатам стационарных исследований Института географии СО РАН в степных и предгорных ландшафтах выявлено, что температура воздуха в предутренние часы летом, а также зимой в пониженных местоположениях даже при небольшой разности высот (до 180 м) на 2–3 °С ниже, чем на склонах и возвышениях [2, 3]. Из-за подобных явлений в городской среде традиционные индикаторы устойчивого развития, например, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на единицу ВВП, выбросы твердых веществ от стационарных источников [4], не могут достоверно отражать сложившийся уровень качества воздуха. Это связано с особенностями экосистемных функций атмосферы, которые характеризуются, в том числе, ее способностью к самоочищению.

Из множества функций атмосферы в системе «климат–человек» важное место занимает ее способность поддерживать условия проживания человека. В рамках концепции экологической толерантности живых организмов по отношению к воздействию внешней среды способность атмосферы к самоочищению рассматривается как одна из защитных функций. Превышение допустимых уровней содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе сопровождается повышением заболеваемости и смертности населения — одним из основных критериев устойчивого развития территории.

Отличительная особенность климата г. Улан-Удэ — это небольшое количество осадков (264 мм в год), высокая повторяемость штилей (38 % в год) и низкая средняя годовая скорость ветра (2,6 м/с) [5]. При сочетании таких характеристик самоочищение атмосферы минимально [6]. Ограниченные возможности для рассеивания и вымывания примесей способствуют ее повышенному загрязнению. Почти двукратное снижение объема выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников за последнее десятилетие не оказало заметного влияния на улучшение условий проживания населения.

В 2006 г. по расчетам суммарного канцерогенного риска было выявлено, что 28 % населения города живет в не допустимых по качеству атмосферного воздуха условиях [7]. Количество жителей, имеющих новообразования, составляло тогда около 544,4 на 100 тыс. населения. Через десять лет их численность возросла в 1,9 раза с заметной корреляцией с изменениями концентрации бенз(а)пирена [8]. При оценке канцерогенного риска по многолетним (2005–2015 гг.) среднегодовым концентрациям загрязняющих веществ, связанным с потреблением продуктов питания, питьевой воды, с качеством атмосферного воздуха в Улан-Удэ, показан недопустимо высокий уровень его воздействия на население города [9]. Установлено, что основной путь поступления канцерогенных веществ в организм человека — ингаляционный (79 %) с наибольшим вкладом воздействия формальдегида, хрома и бенз(а)пирена.

Цель исследования — выявить пространственные различия условий формирования эколого-климатического состояния воздушной среды г. Улан-Удэ для их учета при улучшении качества жизни населения и устойчивом развитии территории.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования использованы современные наблюдения на метеорологической станции Улан-Удэ [10] и трех постах (ПНЗ № 1, ПНЗ № 2, ПНЗ № 5), где установлены автоматические станции контроля за качеством атмосферного воздуха (ФГБУ «Забайкальское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»). Анализировались данные по температуре воздуха в 14 ч местного времени в ясные безветренные дни в январе 2015 и 2016 гг.

Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников, уровень загрязнения атмосферного воздуха, валовой региональный продукт (ВРП) рассмотрены по официальным статистическим данным [11, 12].

Для выявления влияния рельефа на микроклиматические особенности проведен его морфометрический анализ в среде ГИС MapInfo Professional. Цифровая модель рельефа анализируемой территории была построена с использованием радарной топографической съемки SRTM-4. На ее основе получены модели экспозиции и крутизны склонов. В результате объективного совмещения полученных морфометрических характеристик выполнена количественная оценка прихода прямой солнечной радиации (в январе и июле) на склоны разной крутизны (5, 10 и 20°) и экспозиции (се-

верный, южный, восточный, западный). Расчеты сумм радиации, поступающей на склоны в ясные дни, проведены согласно методикам ГГО [13, 14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Местоположение г. Улан-Удэ в пределах Иволгино-Удинской впадины, вытянутой в субширотном направлении, окаймленной с северо-запада хр. Хамар-Дабан, с севера — хр. Улан-Бургасы, с юга — хребтами Ганзуринский и Цаган-Дабан, оказывает существенное влияние на формирование экосистемных функций атмосферы. Ее самоочищение ограничено природно-климатическими особенностями. Месячное количество осадков резко снижается в октябре (9 мм против 29 мм в сентябре) и в течение 7 мес. остается незначительным с минимумом до 3 мм в феврале–марте. Всего за этот период выпадает 52 мм осадков, что составляет 20 % годовой нормы [5]. В течение всего года высока повторяемость скоростей ветра <3 м/с. Ее наименьшие значения составляют 60 % в апреле, наибольшие — 89 % в январе. Повторяемость штилей изменяется от 24 % в июне до 44 % в январе. Среднее число дней со скоростью ветра более 8 м/с колеблется от 2,4 дня в январе–феврале до 9,8 в апреле–мае. Число дней с сильным ветром (>15 м/с) достигает 35, с максимумом (около 7 дней) в апреле–мае. Преобладающие направления ветра в течение года — западное (22 %), северо-западное (24 %) и восточное (20 %); с ноября по март — западное и восточное (28 %), летом — северо-западное (30 %).

Характер рельефа способствует формированию устойчивых зимних инверсий с ноября, а в отдельные годы — и с октября по март. В январе интенсивность инверсий наибольшая, и разность температур у земли и на 850 мб изобарической поверхности может достигать 10–11 °С [15]. По экспериментальным данным, высота пограничного слоя атмосферы над г. Улан-Удэ составила летом 600–900 м, зимой не более 600 м [16].

Объем выбросов загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, за период с 2010 по 2018 г. постепенно снижается (рис. 1). Однако индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) остается высоким и очень высоким [11], что обусловлено удвоением объема выбросов, поступающих от передвижных источников, и повышением концентрации агрессивных примесей в атмосферном воздухе города.

Основными загрязнителями, кроме автотранспорта, являются предприятия по выработке электрической и тепловой энергии (45 %), авиазавод (10 %), локомотивовогоноремонтный завод (2 %) и прочие. Существенный вклад в загрязнение воздуха вносят частные домовладения, количество которых за последние годы существенно увеличилось. В качестве основного топлива используются дрова и уголь, на предприятиях теплоэнергетики — в основном бурые угли.

Ежегодно отмечается превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по формальдегиду, взвешенным веществам, бенз(а)пирену (рис. 2), а до 2015 г. еще и по диоксиду азота. Наиболее резкий рост произошел для концентрации бенз(а)пирена — от 3 до 10,2 ПДК за девять лет. В сезонном ходе ситуация существенно различается. Продолжительный отопительный период (середина

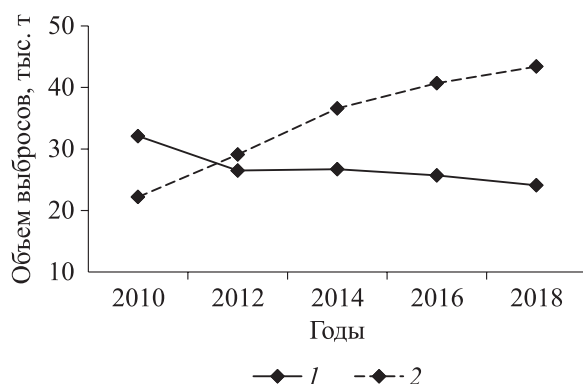


Рис. 1. Объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников г. Улан-Удэ в 2010–2018 гг., тыс. т.

Источники загрязнения: 1 — стационарные, 2 — передвижные.

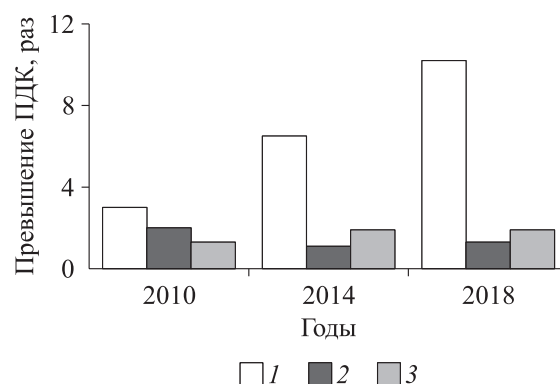


Рис. 2. Динамика превышений ПДК в атмосферном воздухе г. Улан-Удэ по отдельным веществам в 2010–2018 гг.

Загрязняющие вещества: 1 — бенз(а)пирен, 2 — формальдегид, 3 — взвешенные вещества.

сентября—середина мая) в условиях антициклона сопровождается значительным ухудшением качества атмосферного воздуха. Так, среднемесячная концентрация бенз(а)пирена в декабре 2013 г. составляла 15 ПДК, а максимальная из среднемесячных достигала 25 ПДК на ПНЗ № 2. Состояние воздуха улучшается весной с разрушением антициклона, завершением отопительного сезона и повышением количества осадков летом. Ночные инверсии носят кратковременный характер.

На примере индикаторов устойчивого развития, связанных с качеством атмосферного воздуха, проследим изменения условий жизни горожан по данным [11, 12, 17] (см. таблицу). В 2010 г. на каждую 1000 руб. ВРП города выбрасывалось 0,58 кг загрязняющих веществ от стационарных источников. Со снижением выбросов к 2018 г. этот показатель уменьшился почти в 2,4 раза. Но рост ИЗА от высокого к очень высокому к 2018 г. указывает на явное ухудшение качества жизни населения. С учетом выбросов от передвижных источников удельные показатели на 2010 г. выше в 1,7 раза, а на 2018 г. — в 2,8 раза. Столь резкое повышение удельных показателей с учетом объема выбросов от передвижных источников вскрывает ряд проблем (качество топлива, техническое состояние автотранспорта и дорог и пр.), решение которых позволит снизить выбросы загрязняющих веществ и нагрузку на воздушную среду города; тем более что объемы выбросов от передвижных источников за рассматриваемый период выросли в 2 раза, хотя численность населения — только в 1,1 раза.

В целом динамика удельных эколого-экономических показателей имеет стабильный и даже позитивный характер, но разнонаправленный с тенденцией изменения ИЗА. Рост числа жителей с болезнями органов дыхания, а также имеющих новообразования, связанные с очень высоким уровнем загрязнения атмосферы [7–9], обусловлен природно-климатическими особенностями территории с ее минимальной способностью к самоочищению.

Еще один индикатор с негативной динамикой — отсутствие в городе охраняемых природных территорий, поскольку ощутимым фактором улучшения качества атмосферы урбанизированных территорий являются зеленые насаждения. В мировой практике для улучшения условий проживания населения признана необходимость организации и расширения площадей охраняемых природных территорий [18, 19]. Хотя в г. Улан-Удэ площадь лесов составляла в 2007 г. 30 % площади города [20], но они расположены на окраинах по склонам гор, а также постоянно замещаются жилыми массивами и хозяйственными постройками. Так, площадь лесных массивов рекреационной зоны в долине Верхней Берёзовки и единственного в городе лесопарка им. Орешкова за последние годы постоянно уменьшается.

Пространственные различия содержания загрязняющих веществ в малоподвижном воздухе на территории города определяются взаимным размещением источников выбросов. Их концентрация в результате процессов рассеивания и оседания быстро убывает с удалением от источника. Но в городах происходит наложение загрязнения от множества источников. Такой эффект прослеживается в распределении изолиний превышения ПДК загрязняющих веществ и частот таких превышений, выполненных расчетными методами для г. Улан-Удэ [21]. Автором было показано, что пространственное распределение зон повышенного загрязнения охватывает значительную часть территории города даже в июле, в наиболее благоприятных для рассеивания примесей условиях.

Кроме того, долинно-котловинный рельеф может вносить свои коррективы. В границах города на северном макросклоне хр. Цаган-Дабан ориентация водоразделов направлена с северо-запада на юго-восток (с превышением высот до 847,7 м над ур. моря). На противоположном, южном макро-

Динамика индикаторов устойчивого развития

Показатель	Год					Оценка динамики
	2010	2012	2014	2016	2018	
Удельные суммарные выбросы, кг/чел.	134,3	159,4	150,2	154,0	155,2	Негативная
Удельные выбросы от стационарных источников / ВРП, кг/1000 руб.	0,58	0,38	0,33	0,29	0,24	Позитивная
Удельные выбросы от стационарных и передвижных источников / ВРП, кг/1000 руб.	0,98	0,80	0,79	0,76	0,67	Стабильная
Индекс загрязнения атмосферы	Высокий	Высокий	Очень высокий	Очень высокий	Очень высокий	Негативная
Охраняемые природные территории	Не значатся	Не значатся	Не значатся	Не значатся	Не значатся	Негативная

склоне хр. Улан-Бургасы (с превышением высот до 990,7 м над ур. моря) ориентация водоразделов более сложная. Вдоль р. Уды они ориентированы с юго-запада на северо-восток, вдоль р. Селенги — в основном с запада на восток, а также с юга на север и северо-восток.

Наиболее полно влияние рельефа на микроклиматические особенности города отражают пространственные различия прихода прямой радиации на склоны окружающих хребтов. В июле ее приход на горизонтальную поверхность составляет 352 МДж/м² [5]. Изменение ее расчетных величин на склоны разной крутизны и экспозиции колеблется от 292 до 373 МДж/м². Для склонов южной и восточной экспозиций крутизной до 10° возможно повышение до 105 % от прихода радиации на горизонтальную поверхность (рис. 3). На более крутых (до 20°) южных склонах заметен рост выше 106 % (373 МДж/м²), на северных, напротив, снижение (<90 %, 292 МДж/м²).

Осенью с изменением высоты солнца резко снижается интенсивность приходящей радиации. В январе на горизонтальную поверхность поступает 58 МДж/м² прямой солнечной радиации. Различия в приходе радиации на склоны разной экспозиции и крутизны увеличиваются до 136 МДж/м².

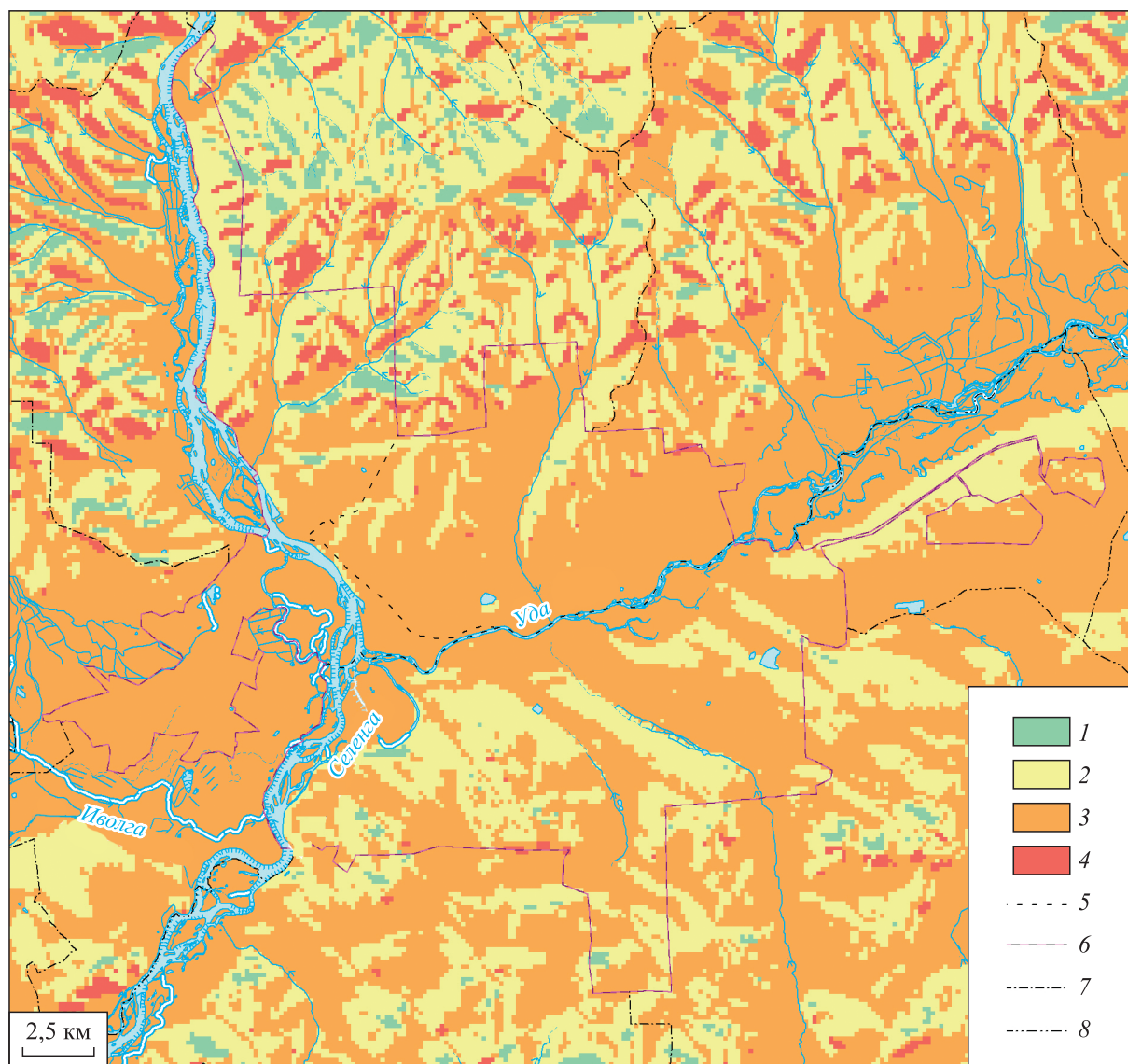


Рис. 3. Изменения прямой солнечной радиации в июле в г. Улан-Удэ.

Изменения прямой солнечной радиации, % от радиации на горизонтальную поверхность: 1 — <90, 2 — 90–99, 3 — 100–105, 4 — >105. Границы: 5 — городских районов, 6 — городских округов, 7 — муниципальных образований, 8 — административных районов.

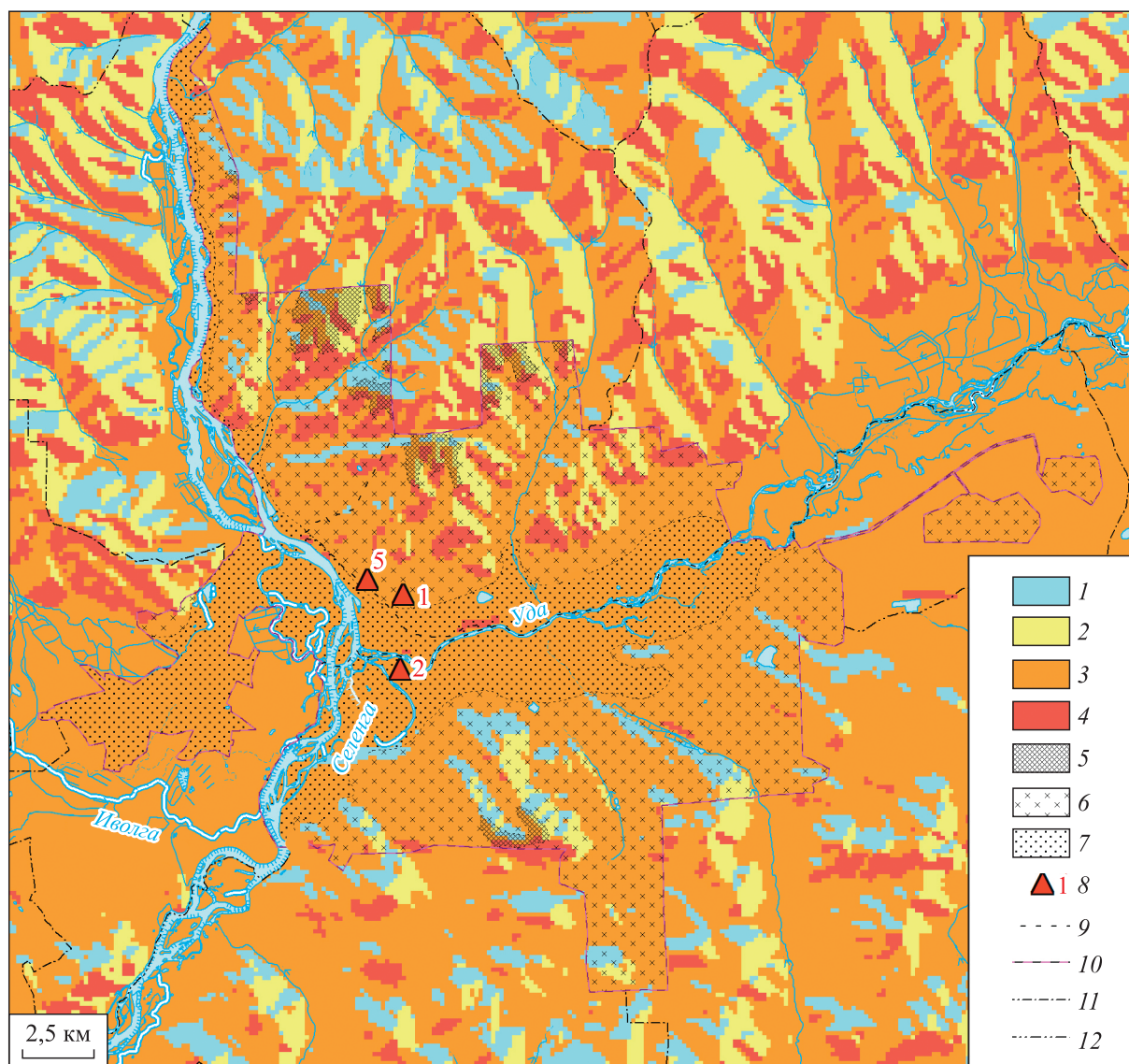


Рис. 4. Формирование эколого-климатического состояния воздушной среды г. Улан-Удэ в зимний период.

Изменения прямой солнечной радиации в январе, % от радиации на горизонтальную поверхность: 1 — <90, 2 — 90–99, 3 — 100–105, 4 — >105. Условия рассеивания примесей: 5 — умеренно благоприятные, 6 — неблагоприятные, 7 — крайне неблагоприятные. 8 — посты наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы. Границы: 9 — городских районов, 10 — городских округов, 11 — муниципальных образований, 12 — административных районов.

Склоны западной экспозиции крутизной до 20° получают 103–105 % от радиации на горизонтальную поверхность. Для южных склонов крутизной 10 и 20° характерно ее повышение более 106 % (рис. 4). Уменьшение к северным склонам притока прямой радиации относительно горизонтальной поверхности составляет от 70 % при крутизне 10°, вплоть до ее отсутствия при крутизне 20°. Столь резкие различия в суммах прямой радиации под влиянием морфометрических характеристик рельефа, особенно зимой, будут сказываться на теплоэнергетических ресурсах на склонах разной экспозиции и крутизны [14] и, соответственно, на микроклиматических различиях и процессах формирования эколого-климатического состояния атмосферы.

Кроме того, ориентация водоразделов, частично совпадающая с наиболее частой повторяемостью западных (22 %) и восточных (20 %) ветров, безусловно, усиливает влияние радиационных и геомор-

фологических факторов на интенсивность температурных различий днища долины и склонов хр. Улан-Бургасы. Так, отклонения минимальной температуры воздуха в декабре достигали 5 °С между открытой поверхностью днища долины (–35,1 °С, ГМС Улан-Удэ, город) и нижней части склона (–30,1...–33,3 °С) при разности высот местоположения пунктов наблюдения до 70 м [22]. В дневные часы (январь 2015, 2016 гг.) инверсионное распределение температуры воздуха сохраняется, и ее разность между ПНЗ № 2 и ПНЗ № 5, ПНЗ № 1 составила 1,8–2,2 °С соответственно.

На северном макросклоне хр. Цаган-Дабан, имеющем выраженное северо-западное направление водоразделов, напротив, преобладающие западные (22 %) и северо-западные (24 %) потоки способствуют замедлению стоковых процессов. Здесь температурные контрасты днища долины и склонов менее выражены. Отклонения минимальной температуры до –4 °С отмечены при разности высот около 100 м.

Пространственные особенности перераспределения потоков прямой радиации под влиянием морфометрических характеристик рельефа, ориентация водоразделов относительно основного потока воздушных масс и абсолютной высоты местоположения над уровнем моря создают предпосылки для формирования микроклиматических различий и экологического состояния воздушной среды.

На территории города выделяются привершинные поверхности водоразделов (уклон 10° и более, перепады высот 250 м и более) с наибольшими отклонениями сумм прямой радиации на примыкающих склонах, которые поддерживают усиление стоковых процессов и отличаются умеренно благоприятными условиями для рассеивания примесей (см. рис. 4, зона 5).

Самые низкие температуры воздуха в днищах долин Уды и Селенги, обусловленные крайним замедлением стоковых процессов и интенсивным радиационным выхолаживанием, способствуют формированию застойных явлений и характеризуются как очень неблагоприятные условия для рассеивания примесей (см. рис. 4, зона 7).

Состояние атмосферы средних и нижних частей склонов (см. рис. 4, зона 6) со множеством долин разной ориентации и выровненных поверхностей (уклон 2–10°, разность высот от 70 до 300 м), заметными колебаниями микроклиматических параметров в целом характеризуется неблагоприятными условиями для рассеивания примесей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Улан-Удэ, особенно в зимний период, обусловлен сочетанием долинно-котловинного рельефа, микроклиматических особенностей и антропогенного воздействия. Цифровая модель рельефа позволила выявить пространственные различия формирования эколого-климатического состояния воздушной среды, которые отражают микроклиматические закономерности и характеризуются умеренно благоприятными, неблагоприятными и очень неблагоприятными условиями для рассеивания примесей.

В целом экосистемные функции атмосферы долинно-котловинных территорий предъявляют повышенные требования к объемам антропогенной нагрузки. Несмотря на уменьшение объемов выбросов от стационарных источников, индекс загрязнения атмосферы остается высоким и очень высоким из-за увеличения объема выбросов от передвижных источников и повышения концентрации агрессивных примесей.

Для улучшения условий проживания населения и устойчивого развития г. Улан-Удэ важно снижение выбросов от стационарных и передвижных источников, что подразумевает улучшение качества топлива, технического состояния автотранспорта и инженерно-дорожной инфраструктуры, а также целесообразен перевод существующих зеленых зон на территории города в статус охраняемых.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке внутригородских природоохранных мероприятий. Поскольку выявленная высокая зависимость условий формирования качества атмосферного воздуха от природно-климатических факторов предопределяет возникновение и обострение экологических проблем существующих и новых городов Сибири, учет и дальнейшее развитие изложенного подхода позволят наметить пути снижения уровня антропогенной нагрузки и улучшения качества жизни населения.

Работа выполнена за счет средств государственного задания (AAAA–A21–121012190055–7, AAAA–A21–121012190059–5, AAAA–A21–121012190018–2) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (19–55–44020 Монг_т).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. — СПб.: Астерион, 2008. — 253 с.
2. Природные режимы степей Минусинской котловины (на примере Койбальской степи) / Отв. ред. И.А. Хлебович, В.В. Буфал. — Новосибирск: Наука, 1976. — 237 с.
3. Геосистемы предгорий Западного Саяна / Под ред. В.В. Буфала, И.А. Хлебовича. — Новосибирск: Наука, 1979. — 319 с.
4. Бобылёв С.Н., Кудрявцева О.В., Соловьёва С.В. Индикаторы устойчивого развития для городов // Экономика региона. — 2014. — № 3. — С. 101–110.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — Ч. 1–6, вып. 23. — 550 с.
6. Крюков В.В. Север: природа и человек — М.: Наука, 1979. — 127 с.
7. Чудинова О.Н. Влияние техногенного загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения Забайкалья (на примере г. Улан-Удэ). — Улан-Удэ: Изд-во Вост.-Сиб. ун-та технологий и управления, 2010. — 225 с.
8. Korytnyi L.M., Bashalkhanova L.B., Veselova V.N. Atmospheric pollution as a factor of environmental hazard in the Baikal Region cities // Russian Meteorology and Hydrology. — 2019. — Vol. 44, N 10. — P. 704–711.
9. Ефимова Н.В., Ханхарева С.С., Моторов В.Р., Мадеева Е.В. Оценка канцерогенного риска для населения города Улан-Удэ // Гигиена и санитария. — 2019. — № 98 (1). — С. 90–93.
10. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) [Электронный ресурс]. — <http://meteo.ru/data> (дата обращения 09.02.2021).
11. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Республики Бурятия в 2018 году». — Улан-Удэ: Минприроды Республики Бурятия, 2019. — 242 с.; 2017. — 232 с.; 2015. — 175 с.; 2013. — 208 с.; 2011. — 308 с.
12. Регионы России. Социально-экономические показатели. Стат. сб. — М.: Росстат, 2018. — 1162 с.
13. Микроклимат СССР / Под ред. И.А. Гольцберг. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 286 с.
14. Романова Е.Н., Гобарова Е.О., Жильцова Е.Л. Методы мезо- и микроклиматического районирования для целей оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с применением технологии автоматизированного расчета. — СПб.: Гидрометеиздат, 2003. — 104 с.
15. Экологический атлас бассейна озера Байкал / Отв. ред. А.Р. Батуев, Л.М. Корытный, Ж. Оюунгэрэл, Д. Энхтайван. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2015. — 145 с.
16. Заяханов А.С., Жамсуева Г.С., Цыдыпов В.В., Бальжанов Т.С. Результаты мониторинга приземного озона в атмосфере // Метеорология и гидрология. — 2013. — № 12. — С. 76–84.
17. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Бурятия [Электронный ресурс]. — <https://burstat.gks.ru> (дата обращения 18.02.2021).
18. Forman R.T.T. Urban Regions: Ecology and Planning beyond the City. — New York: Cambridge Univ. Press, 2008. — 408 p.
19. Trzupa T. Urban protected areas: profiles and best practice guidelines. Best practice protected area guidelines. Series No. 22. — Gland: International Union for Conservation of Nature, 2014. — 110 p.
20. Стратегия социально-экономического развития г. Улан-Удэ до 2027 г. [Электронный ресурс]. — <http://strategiya.pdf> (дата обращения 16.03.2021).
21. Вологжина С.Ж. Оценка загрязнения воздушного бассейна г. Улан-Удэ // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2011. — Т. 4, № 1. — С. 48–59.
22. Климат Улан-Удэ / Под ред. Н.И. Сницаренко, Ц.А. Швер. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 240 с.

Поступила в редакцию 28.07.2021

После доработки 15.11.2021

Принята к публикации 29.12.2021