

Природно-климатические факторы в экологическом зонировании г. Иркутска

© 2021. Е. В. Максютова, к. г. н., с. н. с.,
Л. Б. Башалханова, к. г. н., с. н. с.,
Л. М. Корытный, д. г. н., г. н. с., А. А. Сороковой, к. г. н., с. н. с.,
Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН,
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1,
e-mail: emaksyutova@irigs.irk.ru, ldm@irigs.irk.ru,
kor@irigs.irk.ru, geomer@irigs.irk.ru

Анализ природно-климатических особенностей формирования экологического состояния атмосферного воздуха в г. Иркутске выявил, что его хроническое загрязнение связано с многолетним ежегодным превышением предельно допустимых концентраций (ПДК) по 5–6 опасным загрязняющим веществам, со стабильным присутствием взвешенных веществ (до 2,4 ПДК) и бенз[а]пирена (до 7,8 ПДК). Основной объём выбросов загрязняющих веществ осуществляется в течение продолжительного отопительного сезона.

Проведено зонирование территории города по степени возможного воздействия рельефа и преобладающих типов подстилающей поверхности (водная, лесопарковая, застройка каменная, деревянная) на температуру воздуха в приземном слое атмосферы. Зона сильного влияния включает три типа микроклимата низин с отклонениями температуры воздуха в январе от 1,9 до -3,6 °С от базовой метеостанции «Иркутск, обсерватория». Застойные явления в этой зоне могут способствовать формированию интенсивного загрязнения атмосферы жилых и рекреационных территорий. Вершинные поверхности из-за большей активности воздухообмена находятся под слабым воздействием факторов среды. Зона умеренного воздействия на склонах и выровненных территориях отражает локальные особенности подстилающей поверхности и типов застройки.

Результаты полученного зонирования могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий и для улучшения условий проживания населения. Даны рекомендации по диверсификации топливного баланса предприятий в пользу газа.

Ключевые слова: состояние атмосферного воздуха, микроклимат города, температура воздуха, типы подстилающей поверхности, зонирование городской среды.

Natural-climatic factors in ecological zoning of the city of Irkutsk

© 2021. E. V. Maksyutova ORCID: 0000-0002-0373-2309
L. B. Bashalkhanova ORCID: 0000-0002-0627-9714
L. M. Korytny ORCID: 0000-0001-6022-1997 A. A. Sorokovi ORCID: 0000-0001-8987-7068
V. B. Sochava Institute of Geography of Siberian Branch RAS (IG SB RAS),
1, Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, Russia, 664033,
e-mail: emaksyutova@irigs.irk.ru, ldm@irigs.irk.ru,
kor@irigs.irk.ru, geomer@irigs.irk.ru

An analysis is made of the natural-climatic characteristics of the formation of the ecological status of the atmospheric air in the city of Irkutsk. It is found that its chronic pollution is associated with a long-term annual exceedance of MAC for 5 to 6 hazardous pollutants, and with a persistent presence of suspended substances (up to 2.4 MAC) and benzo[a]-pyrene (up to 7.8 MAC). The main volume of pollutants emissions corresponds to a long-lasting heating season (mid-September – mid-May).

A zoning of the city territory was carried out according to the degree of the possible effect of topography and prevailing type of underlying surface (water, forest-park, and stone and wooden buildings) on air temperature in the atmospheric ground layer.

The zone of strong influence includes three types of microclimate of lowlands, with the January temperature deviations 1.9 to -3.6 °C from the Irkutsk base weather station. Stagnant phenomena in this zone can promote formation of intense air pollution of residential and recreational territories. Because of a high activity of the air exchange, the summit surfaces experience a weak impact of the environmental factors. The zone of moderate impact on slopes and planate ter-

ritories reflects the local characteristics of the underlying surface. The dominant influence of stone buildings and roads on air temperature is most clearly pronounced in the center of the city on the right bank of the Angara River; on the left bank it is smoothed out by the influence of forested areas. With distance from the center of the city, similar air temperatures are typical for the slopes of different gentleness and aspect. This occurs as a result of significant differences in heat exchange in the dominant types of underlying surface.

Keywords: atmospheric air condition, microclimate of the city, air temperature, types of underlying surface, zoning of the urban environment.

Города Сибири испытывают значительное антропогенное воздействие, которое обусловлено не только уровнем их промышленного развития, но и особенностями формирования климата. Мощность длительных сезонных и суточных инверсий способствует замедлению процессов перемешивания и рассеивания поступающих в атмосферу примесей [1]. Между тем, в приземной атмосфере их локализация может корректироваться микроклиматическими различиями.

Опыт исследования микроклимата на стационарах Института географии СО РАН показал общие тенденции и глубину температурных вариаций в различных ландшафтах Сибири. Так, в условиях степного засушливого климата и в ландшафтах предгорий Западного Саяна температура воздуха летом в предутренние часы, а также зимой в понижениях рельефа на 2–3 °С ниже, чем на склонах и вершинных поверхностях, что обусловлено наложением неодинаковой интенсивности радиационного выхолаживания и стоковых процессов [2]. Проявление такого эффекта обретает особую значимость в городской среде, где он может одновременно выступать причиной формирования локальных зон загрязнения атмосферы. Выявление территорий с различным качеством внутри городской среды является одним из важнейших элементов при разработке стратегии оздоровления населения [3].

Климатические характеристики городов (радиационные, термические, влажностные и аэродинамические) существенно выделяются на фоне окружающих незастроенных территорий [4, 5]. Их изменения обусловлены воздействием ряда городских особенностей: уменьшением прозрачности атмосферы, трансформацией характера подстилающей поверхности и связанных с ним процессов теплообмена. В атмосферный воздух города поступают различные примеси от промышленных предприятий, транспорта и других источников, что способствует его хроническому загрязнению.

С 70-х годов прошлого столетия г. Иркутск не менее 40 раз входил в список городов с

самым загрязнённым воздухом и ростом заболеваемости населения новообразованиями и болезнями органов дыхания [6]. При оценке рассеивания примесей от объектов теплоэнергетики показано, что изолинии абсолютных концентраций и частот превышения предельно допустимых среднесуточных концентраций загрязняющих веществ (диоксида азота, сажи, диоксида серы и пыли в декабре) преимущественно вытянуты с северо-западной части города к юго-восточной по направлению основного потока воздушных масс [7].

Однако низкая повторяемость ветров, способных активизировать самоочищение атмосферы, орографическая расчленённость рельефа, с превышением высот до 140 м, контрасты подстилающей поверхности могут внести коррективы на сосредоточение локальных зон загрязнения.

Цель работы – дифференциация территории города по влиянию факторов среды на состояние атмосферы для её использования в дальнейшем при разработке природоохранных мероприятий и улучшения условий проживания населения.

Объекты и методы исследований

Для учёта совокупности всех причин, способствующих формированию качества атмосферного воздуха, применён комплексный подход, основанный на картографо-геоинформационном анализе природных и антропогенных факторов. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников, уровень загрязнения атмосферы города рассмотрены по официальным статистическим данным [8, 9].

Проведён анализ рельефа, который позволил выделить геотопологические типы местоположений в пределах города: низины, вершины, склоны, определить высоты и крутизну склонов. На полученную основу нанесены отклонения температур воздуха микроклиматического исследования прошлых лет [10] и данные современных наблюдений на 4 метеопостах, где установлены автоматические станции контроля за качеством атмосфер-

ного воздуха (ФГБУ «Иркутское УГМС»). Систематизация этой информации с учётом микроклиматических закономерностей позволила выделить контуры с количественными значениями отклонений температуры воздуха (Δt , °C) от аналогичных данных наблюдений на метеостанции «Иркутск, обсерватория» [11]. Оценка влияния типов подстилающей поверхности (водные, застройка каменная, деревянная, лесопарковая) выполнена методом сравнительного анализа (в % от общей площади города).

Результаты и обсуждение

Рельеф города холмистый, наиболее пониженными местами (420–450 м над ур. м.) в городе являются его центр, долины рек Иркут, Ангары, Ушаковки, Каи. Склоны и выровненные поверхности имеют высоты 440–500 м, вершины – более 500 м. Наиболее возвышенными являются северо-восточные районы с превышением высот до 100 м и средней крутизной склонов 3–5,4°. Левобережье Ангары до впадения Иркут и юго-западные окраины города отличаются средней крутизной склонов 3,8–4,2° при умеренных колебаниях высот (440–480 м). Крутизна склонов плоских и округлых вершин (460–480 м), характерных для западных окраин города

и междуречья Ангары и Ушаковки, составляет в среднем около 2°.

Ежегодно в атмосферу города поступают выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников – от 52 тыс. т в 2008 г. до 70,5 в 2018 г. [8]. Ведущими источниками являются предприятия теплоэнергетики и автотранспорт, которые обеспечивают соответственно около 40 и 50–60% [9] валовых общегородских выбросов. При этом в среднем за год концентрация в атмосфере города превышает гигиенические нормативы по 5–6 загрязняющим веществам (бенз[а]пирен, формальдегид, оксиды азота, серы, углерода, сажа и взвешенные вещества). Основной объём выбросов загрязняющих веществ осуществляется в течение продолжительного отопительного сезона одновременно с формированием и господствующим положением Сибирского антициклона (ноябрь – март), с которым связаны замедление процессов рассеяния примесей в атмосфере.

Стабильно высокие (рис. 1) концентрации взвешенных веществ (до 2,4 ПДК) и бенз[а]пирена (до 7,8 ПДК) обусловлены, прежде всего, низким качеством топлива передвижных и стационарных источников выбросов. Топливный баланс предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК) мало меняется и более чем на 84 % состоит из бурого

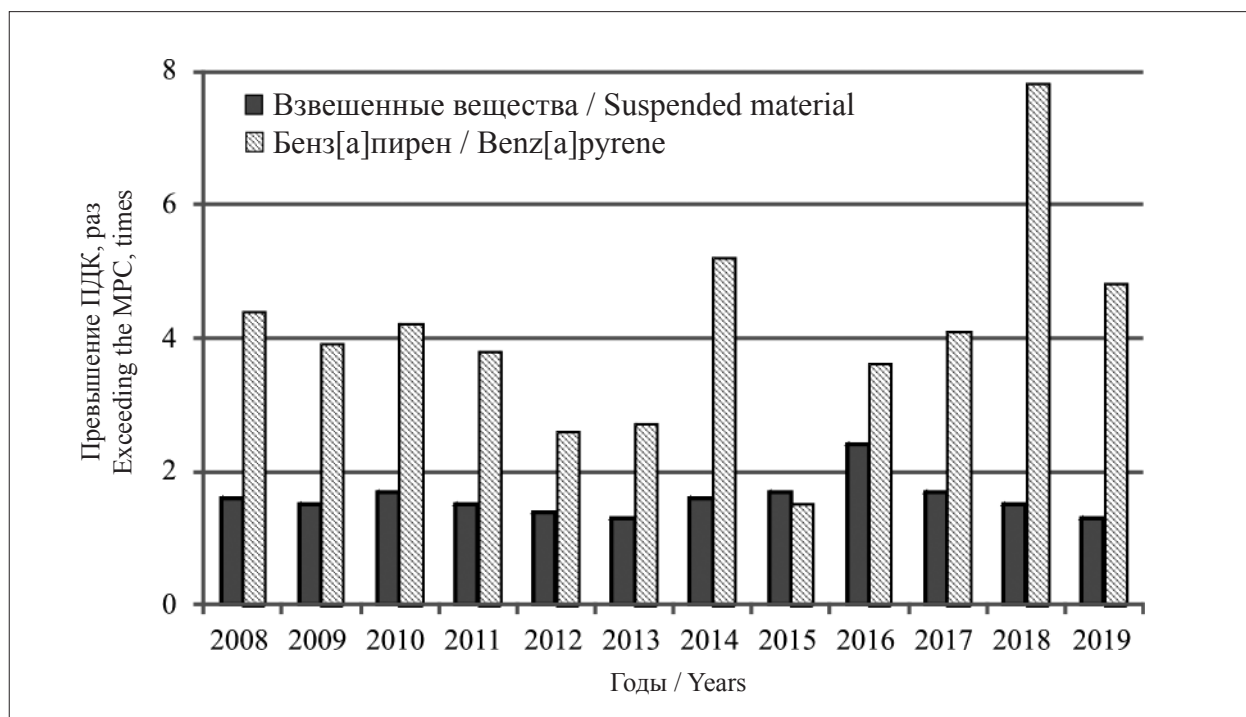


Рис. 1. Загрязнение атмосферы города по веществам, имеющим наибольшее превышение ПДК
 Fig. 1. Pollution of the city's atmosphere by substances that have the highest excess of MPC

угля, при сжигании которого выделяется множество загрязняющих веществ (бенз[а]-пирен, взвешенные вещества, оксиды серы, азота, углерода и пр.).

Приведённые выше параметры качества атмосферного воздуха в г. Иркутске характеризуют его среднее состояние в целом за год. С учётом сезонных особенностей циркуляции атмосферы и характера подстилающей поверхности наибольшая продолжительность воздействия и интенсивность загрязняющих веществ будет отмечаться при всех прочих равных условиях в местоположениях с застойными явлениями.

Площадь современного города составляет 277,35 км². Она представлена разными типами подстилающей поверхности: водные (2870 га), застроенные (14255 га), луга и поймы рек (4260 га), леса и парки (6350 га). При этом большую часть занимают разные виды застройки (каменные, кирпичные, деревянные), асфальтобетонные дороги и площадки [12]. При возведении современных микрорайонов произошло существенное замещение лесопокрываемых площадей и деревянных застроек каменными. По влиянию на температурный режим города преобладающими типами подстилающей поверхности являются водные объекты, каменная застройка, деревянная застройка, лесопарковая зона (рис. 2, см. цветную вкладку). Поскольку луга и поймы в черте города часто заняты дачными участками, половина от их общей площади (2130 га) отнесена к застройкам. Другая половина учтена в незастроенной парковой зоне.

Сопряжённый анализ данных [10, 11] показал, что микроклиматические различия города, обусловленные совокупностью факторов среды, могут способствовать различному воздействию на состояние атмосферы (рис. 2, см. цветную вкладку). На карте показана качественная оценка степени влияния, в результате которой формируются пространственные различия экологического состояния атмосферы в г. Иркутске.

Наиболее сильное воздействие проявляется в обширной зоне застойных явлений, к которым относятся пониженные формы рельефа и где можно различить три типа микроклимата низин. Первый тип включает местоположения вокруг незамерзающей части Ангары, с отклонениями температур до 1,9 °С; второй тип присущ центральной части города, с отклонениями температур до -1,5 °С; третий тип, наибольший по площади, охватывает долины рек Иркут, Ангары, Ушаковки, Каи с прито-

ками. Здесь возможны отклонения температур до -3,6 °С. Большой разброс в отклонениях связан с обогревающим влиянием Ангары и инфраструктурными особенностями города, а также наименьшим вкладом лесопокрываемых территорий.

Наиболее сильное воздействие может поддерживать формирование интенсивного загрязнения атмосферы жилых и рекреационных территорий. В первом типе микроклимата это чаще всего связано с повышенной влажностью над незамерзающей поверхностью реки ниже плотины Иркутской ГЭС, что приводит к образованию смога. В третьем – сток и накопление холодного воздуха в днищах долин препятствует выносу загрязняющих веществ за его пределы. Второму типу присущи основные черты двух названных выше, которые усугубляются характером подстилающей поверхности с преимущественной многоэтажной каменной застройкой и положением относительно основного потока воздушных масс.

Поверхности вершин склонов из-за большей активности воздухообмена менее подвержены застойным явлениям. Температура воздуха здесь существенно выше, чем в днищах долин. Её отклонения составляют около -1 °С. В северо-восточной части города процесс формирования качества воздуха на вершинных поверхностях происходит под слабым воздействием факторов среды (рис. 2, см. цветную вкладку).

Совокупное умеренное воздействие факторов среды на состояние атмосферного воздуха склоновых и выровненных территорий зависит от локальных особенностей и типов застройки. Вклад характера подстилающей поверхности существенно различается и обусловлен условиями теплообмена. На склонах и приподнятых возвышенных участках в центре города отклонения температуры воздуха от базовой метеостанции «Иркутск, обсерватория» не превышают ±0,5 °С, на его окраинах – -2,0 °С.

Преимущественное влияние каменных застроек и дорог на температуру воздуха наиболее заметно сказывается в центре города на правом берегу Ангары, на левом – оно сглажено влиянием лесопокрываемых площадей. С удалением от центра города сходные температуры воздуха присущи склонам разной крутизны и экспозиции, что происходит в результате существенных расхождений теплообмена в преобладающих типах подстилающей поверхности.

В структуре типов подстилающей поверхности леса и парки занимают наименьшую

**Е. В. Максютова, Л. Б. Башалханова,
Л. М. Корытный, А. А. Сороковой
«Природно-климатические факторы
в экологическом зонировании г. Иркутска». С. 55.**

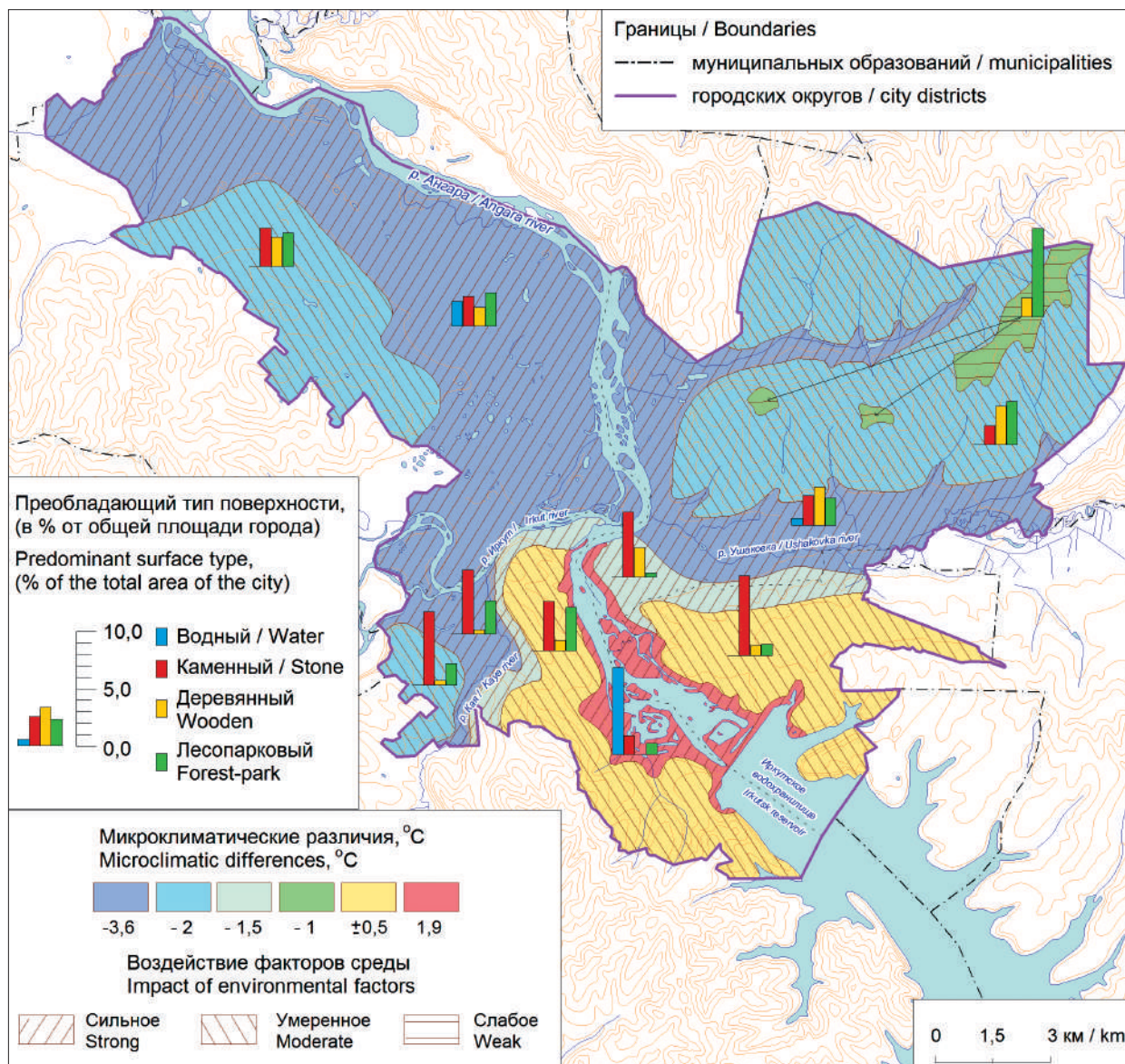


Рис. 2. Экологическое зонирование городской среды Иркутска по природно-климатическим факторам
Fig. 2. Ecological zoning of the urban environment of Irkutsk by natural and climatic factors

площадь, особенно в зоне сильного воздействия. В мировой практике признана необходимость увеличения площади лесопарковых зон для улучшения качества жизни населения урбанизированных территорий [13, 14]. В некоторых городах России доля особо охраняемых природных территорий достигает 13,6% (г. Пермь) и даже 17% (г. Екатеринбург) от их общей площади [15]. В г. Иркутске площадь таких территорий составляет 1,8% от площади города и 7,8% от площади городских лесов, которые находятся под постоянной угрозой замещения. Их важно переводить в категорию охраняемых природных территорий.

Заключение

Формирование экологического состояния атмосферного воздуха в г. Иркутске связано с превышением содержания опасных загрязняющих веществ и тенденцией роста концентрации по взвешенным веществам и бенз[а]пирену. Микроклиматические различия города, обусловленные совокупностью факторов среды (характером рельефа и подстилающей поверхности – водная, застройка каменная, деревянная, лесопарковая), могут способствовать различному воздействию на состояние атмосферы. Застойные явления в зоне сильного влияния могут поддерживать формирование интенсивного загрязнения атмосферного воздуха жилых и рекреационных территорий.

Результаты полученного зонирования могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий и для улучшения условий проживания населения. Представляется необходимым региону, добывающему и транспортирующему природный газ за свои пределы, диверсифицировать топливный баланс предприятий ТЭЖ в пользу газа.

Исследование выполнено за счёт средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190055-7, АААА-А21-121012190059-5, АААА-А21-121012190018-2) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-44020 Монг_т.

References

1. Bezuglaya E.Y. Air quality in the Russian Federation // WMO Bulletin. 1996. V. 45. No. 2. P. 132–135.

2. Geosystems of the Western Sayan foothills. Novosibirsk: Nauka, 1979. 319 p. (in Russian).

3. Kochurov B.I., Ivashkina I.V., Fomina N.V., Ermakova Yu.I. Urban health approach to the study and development of large cities // Geography and Natural Resources. 2020. V. 41. No. 3. P. 203–210. doi: 10.1134/S1875372841030014

4. Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A. Urban climates. Cambridge University Press, 2017. 582 p.

5. Taha H. Urban climates and heat island: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat // Energy and Buildings. 1997. No. 26. P. 99–103.

6. Korytnyi L.M., Bashalkhanova L.B., Veselova V.N. Atmospheric pollution as a factor of environmental hazard in the Baikal Region Cites // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. V. 44. No. 10. P. 704–711. doi: 10.3103/S1068373919100091

7. Arguchintseva A.V., Godvinskaya I.G., Akhtimankina A.V. Atmospheric air pollution by heat power companies in Irkutsk // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Nauki o Zemle”. 2011. No. 4 (1). P. 33–47 (in Russian).

8. State report “On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2018”. Moskva: Minprirody Rossii; NPP “Kadastr”, 2019. 847 p. (in Russian).

9. State report “On the state and environmental protection of the Irkutsk region in 2019”. Irkutsk: Minprirody i Ekologii Irkutskoy Oblasti, 2020. 314 p.; 2019. 307 p.; 2018. 249 p.; 2017. 274 p.; 2016. 160 p.; 2015. 175 p.; 2014. 400 p.; 2013. 337 p.; 2012. 227 p.; 2011. 400 p.; 2010. 585 p.; 2009. 488 p. (in Russian).

10. Climate of the city of Irkutsk / Eds. Ts.A. Shver, N.P. Formanchuk. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 245 p. (in Russian).

11. All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (VNIIGMI-WDC) [Internet resource] <http://www.meteo.ru/data/> (Accessed: 19.02.2020) (in Russian).

12. Atlas of the development of Irkutsk. Irkutsk: Izdvo Instituta Geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2011. 131 p. (in Russian).

13. Forman R.T.T. Urban regions: ecology and planning beyond the city. New York: Cambridge Univ. Press, 2008. 408 p.

14. Trzyna T. Urban protected areas: profiles and best practice guidelines. Best practice protected area guidelines Series No. 22. Gland, Switzerland: IUCN, 2014. 110 p.

15. Debelaya I.D., Morozova G.Yu. Urban specially protected natural territories in the green infrastructure of the city of Khabarovsk // Theoretical and Applied Ecology. 2020. No. 3. P. 203–209 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-203-209