

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГО-РЕКРЕАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ НА ФОНЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ*

В.А. Шкляев, *Пермский государственный национальный исследовательский университет*
Л.Н. Ермакова, *Пермский государственный национальный исследовательский университет*
С.В. Исаков, *Пермский государственный национальный исследовательский университет*
С.А. Кулакова, *Пермский государственный национальный исследовательский университет*
Л.С. Шкляева, *Пермский государственный национальный исследовательский университет*

Рассматриваются изменения различных характеристик инверсий в Перми за период с 1959 по 2012 г. Выявлено, что наибольшая частота приземных и приподнятых инверсий температуры наблюдалась с 1959 по 1968 г. В последующий период произошло существенное уменьшение частоты инверсий, которая в последние годы снова стала возрастать. Результаты наблюдений по температурному профилю свидетельствуют о наличии «острова тепла».

Использование цифровой модели рельефа с применением ArcGIS позволило оценить локальные особенности территории по поступающей коротковолновой радиации. Были созданы слои экспозиции и уклонов, которые затем средствами ArcGIS делились на три части: основание возвышенности, склон и верхнюю часть. На основе этого выделялись зоны изменения скорости ветра.

Рассмотрена временная изменчивость эквивалентно-эффективных температур (ЭЭТ) за 15-летний период. Выявлены основные тенденции в изменениях ЭЭТ для теплого и холодного периодов года. Установлено, что в холодный период года на территориях исследуемых объектов наблюдается понижение значений ЭЭТ к концу исследуемого периода, наиболее заметное в феврале и марте. Выполнено районирование территории Пермского края по комплексному показателю комфортности погодных условий.

Ключевые слова: инверсии, загрязнение атмосферы, микроклимат, геоинформационные системы, комфортность погодных условий.

Уровень загрязнения атмосферы в городах в значительной степени определяется метеорологическими условиями: температурной стратификацией, вертикальными изменениями скорости и направления ветра в пограничном слое атмосферы. Накопление вредных веществ в

приземном слое наблюдается при формировании приземных и приподнятых инверсий. Для их исследования использовались данные радиозондирования в Перми и результаты наблюдений по метеорологическому температурному профилю (МТП-5). Установлено, что в период с ок-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Пермского края (грант № 14-01-96002).

тября по февраль в городе формируется «остров тепла» в нижнем слое атмосферы (рис. 1).

Исследование продолжительности инверсий проводилось только по результатам наблюдений МТП. Значительная продолжительность инверсий приходится на зимний период и март. Например, в феврале суммарная продолжительность инверсий составила 626 ч (около 93% всего времени), а в течение 17 дней инверсии наблюдались все 24 часа [5].

Мощность и глубина приземных инверсий являются важными характеристиками условий рассеивания вредных веществ в атмосфере. Чем мощнее инверсионный слой, тем интенсивнее происходит накопление примесей в приземном слое воздуха не только от приземных, но и от высоких источников. Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха от крупных промышленных предприятий формируется, прежде всего, от приподнятых инверсий с нижней границей не более 300 метров.

Было установлено, что наибольшая мощность приземных инверсий наблюдается в ночной срок (00 ч.) и находится в пределах 0,3–0,5 км. Максимум мощности наблюдается зимой (0,3–0,8 км), а минимум – летом (0,1–0,3 км). За весь анализируемый период времени (с 1959 по 2012 г.) различий в годовом ходе не

отмечается. Существенные различия имеются лишь в декабре–январе, когда максимум мощности составил 0,9 км (1959–1968 гг.), а минимум в эти месяцы наблюдается в период с 1993 по 2002 г. и составляет 0,3 км (рис. 2).

Детализация условий рассеивания примесей основана на оценке микроклиматических исследований. Для этой цели густота существующей сети метеорологических станций недостаточна, поэтому рассматривалась возможность использования спутниковой информации. Возможные оценки микроклиматических особенностей температуры поверхности основывались на величине баланса коротковолновой радиации. Учитывался рельеф местности и типы урбанизированных территорий, влияющих на величину альbedo. Расчет выполнялся по следующей схеме [1, 2]:

1. Оценка особенностей рельефа – количество поступающей прямой солнечной радиации при безоблачном небе к земной поверхности в процентах от количества радиации на ровной поверхности. Таким образом, вводится преобразующий коэффициент на рельеф (слой L).

2. Оценка особенностей подстилающей поверхности – определения дифференциального альbedo застройки и естественных поверхностей (слой А).

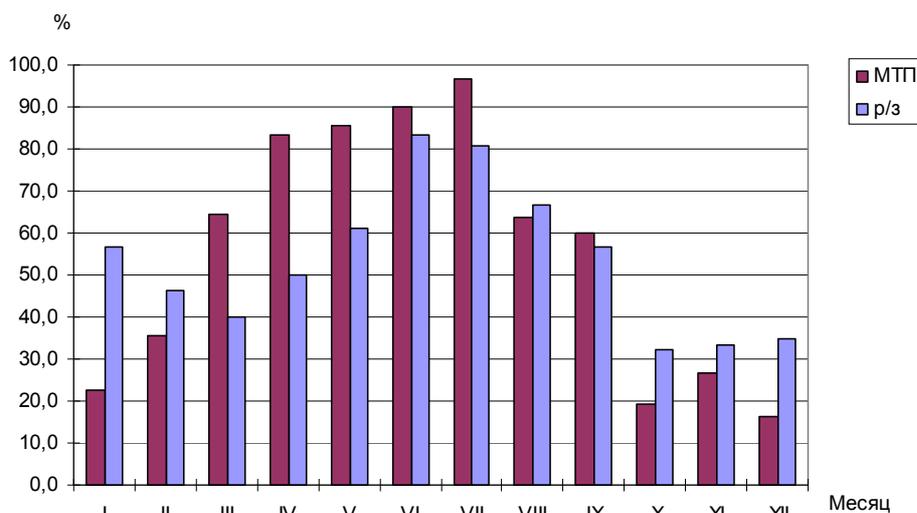


Рис. 1. Годовой ход приземных инверсий по данным МТП и радиозондирования, % от дней с наблюдениями

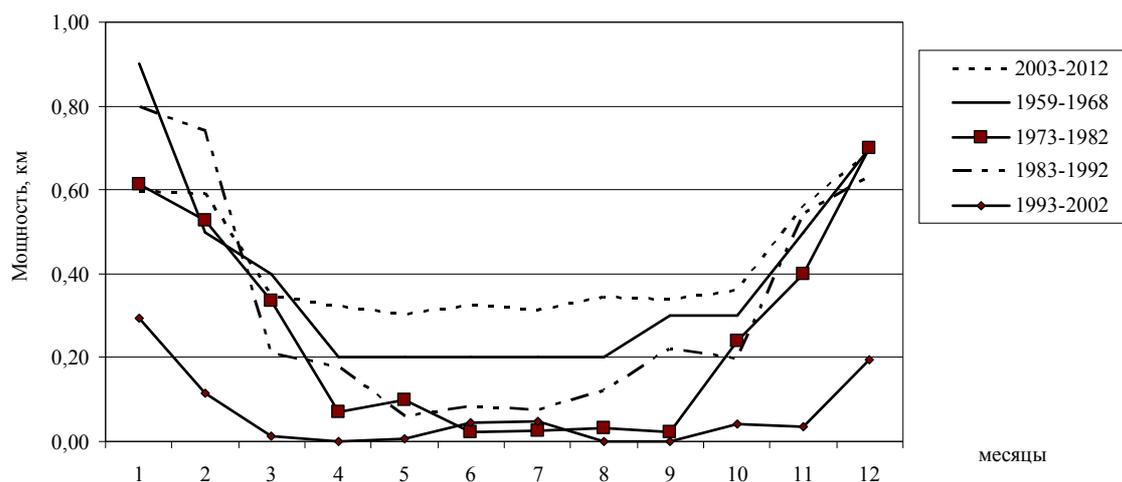


Рис. 2. Средняя мощность (ΔH , км) приземных инверсий за разные периоды наблюдений

3. Послойный расчет и анализ потоков коротковолновой радиации на разных границах в атмосфере.

Расчеты с использованием ArcGIS представлены на рис. 3.

Созданная цифровая модель рельефа территории и рассчитанные по цифровой модели рельефа слои экспозиции и уклонов местности позволили учесть микроклиматические особенности ветрового режима. Для этой цели использовались слои геоинформационной системы с введенными поправками на естественный ландшафт, характеризующие искажение есте-

ственного ветрового потока в зависимости от характеристик ландшафта. Для создания слоев, показывающих коэффициенты изменения скорости ветра (K), слой экспозиции и слой уклонов совмещаются, полученный слой делится прикладными средствами ArcGIS на три равные части: основание возвышенности, склон и верхняя часть возвышенности.

Количественные оценки проведенных расчетов приведены в табл. 1. Вычисленная разница между фактическими и расчетными значениями не превышает 4% для среднегодовых значений скорости ветра.

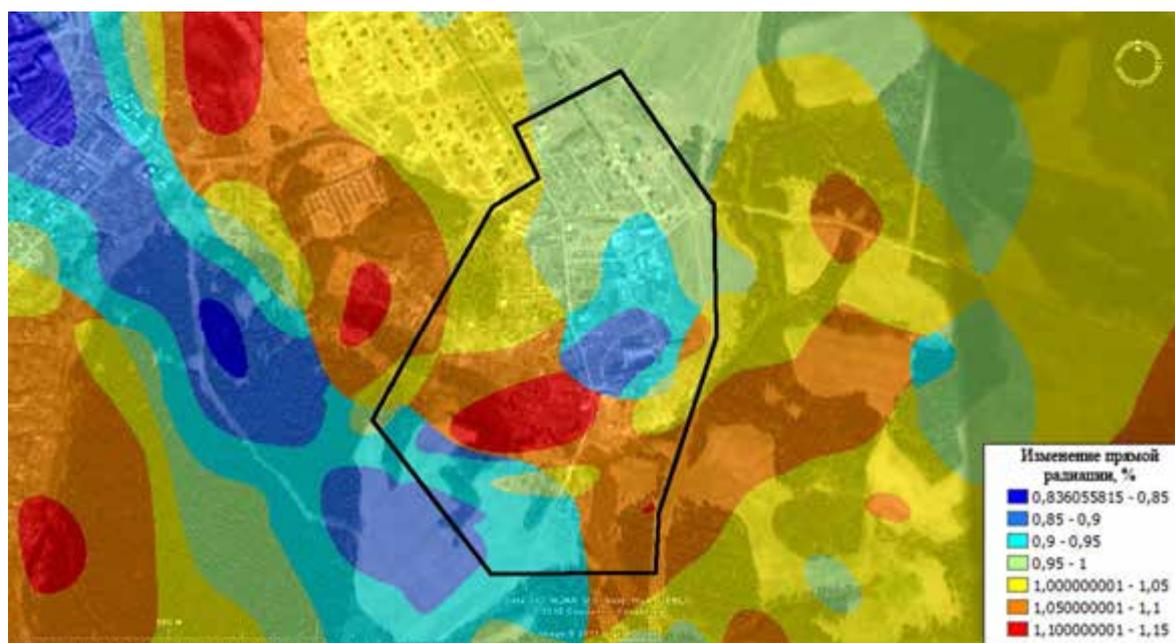


Рис. 3. Изменение прямой солнечной радиации на поверхности различного уклона. 21 июня, астрономический полдень. Доли единицы от радиации на ровном месте

Таблица 1

Оценка сходимости значений среднемесячной скорости ветра (м/с)

Характеристика	Месяц												Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
АМСГ «Б. Савино»	4,4	4,4	4,8	4,1	4,1	3,7	3,1	3,4	4	4,3	4,3	4,1	4,1
м/с «Опытная»	2,5	2,7	2,8	2,5	2,4	2,2	1,8	2	2,4	2,8	2,6	2,2	2,4
м/с «Опытная», расчетные значения	2,6	2,6	2,9	2,5	2,5	2,2	1,9	2	2,4	2,6	2,6	2,5	2,4
Разность скоростей ветра	-0,1	0,1	-0,1	0	-0,1	0	-0,1	0	0	0,2	0	-0,3	0

Для различных сезонов года степень дискомфорта территории оценивалась по эквивалентно-эффективной температуре (ЭЭТ). Этот комплексный биометеорологический показатель, отражающий совместное влияние на организм человека температуры, влажности воздуха и скорости ветра можно использовать для оценки степени дискомфорта погодных условий за год и по отдельным сезонам.

Расчеты проводились как для отдельных районов Пермского края, так и для отдельных курортов. Так, в холодный период для курорта «Усть-Качка» была выявлена тенденция уменьшения значений ЭЭТ (коэффициент линейного тренда -0,18) к концу исследуемого 15-тилетнего периода (рис. 4). С наибольшей скоростью уменьшаются значения ЭЭТ в марте (коэффициент линейного тренда -0,36).

Следует отметить, что на курорте «Ключи» отмечается явная тенденция повышения степени комфортности погодных условий в холодный период года, так как значения из градации «не комфортно» постепенно переходят в градацию «менее комфортно».

но» постепенно переходят в градацию «менее комфортно».

В теплый период года для курорта «Ключи» заметно выражена тенденция увеличения значений ЭЭТ к концу исследуемого периода, а для курорта «Усть-Качка» значения ЭЭТ практически не изменяются, лишь в мае и июне заметно незначительное увеличение значения ЭЭТ.

В процессе работы нами был разработан комплексный показатель комфортности погодных условий (КПКПУ), сочетающий в себе два фактора – климатический потенциал самоочищения атмосферы (КПА) и радиационно-эффективно-эквивалентную температуру. Данный показатель характеризует влияние комплекса сложившихся климатопогодных условий атмосферы на жизнедеятельность и здоровье человека. Территория Пермского края была дифференцирована на биоклиматические районы с учетом КПКПУ согласно разработанной классификации (табл. 2).

Учет значений климатического потенциала самоочищения атмосферы позволил выделить на территории Пермского

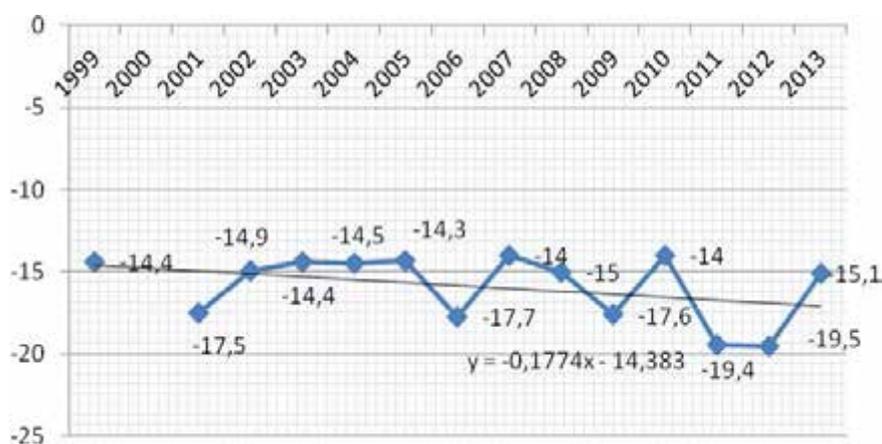


Рис. 4. Динамика ЭЭТ холодного периода года, курорт «Усть-Качка»

Таблица 2

Классификация КПКПУ для теплого периода года

Сумма баллов	Комбинация	Характеристика
2	1+1	Благоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне теплового комфорта
3	1+2	Благоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне теплового субкомфорта
	1+2	Благоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне прохладного субкомфорта
	2+1	Неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне теплового комфорта
4	1+3	Благоприятные условия для самоочищения атмосферы на гипертермическом фоне
	1+3	Благоприятные условия для самоочищения атмосферы на гипотермическом фоне
	3+1	Крайне неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне комфортных термических условий
	2+2	Неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне теплового субкомфорта
	2+2	Неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне прохладного субкомфорта
5	2+3	Неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на гипертермическом фоне
	2+3	Неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на гипотермическом фоне
	3+2	Крайне неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне теплового субкомфорта
5	3+2	Крайне неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на фоне прохладного субкомфорта
6	3+3	Крайне неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на гипертермическом фоне
	3+3	Крайне неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы на гипотермическом фоне

края ландшафтные районы, соответствующие классификации КПКПУ (рис. 5).

Развитие Пермского края сопряжено с активным процессом природопользования, который включает: недропользование, водопользование, землепользование, использование ресурсов животного мира, охрану биоразнообразия, лесопользование, урбоприродопользование. Выявлено, что на территории Пермского края при увеличении наблюдаемой продолжительности вегетационного периода суммы активных температур изменяются мало, а средняя суточная температура за вегетационный период в конце XX столетия даже уменьшилась [4].

В связи с этим последствия, возникающие в ходе природопользования, весьма значительны и проявляются в ан-

тропогенном изменении (трансформации) природной среды. Поскольку антропогенное воздействие в большинстве случаев не исчезает, а усиливается или ослабевает, а компоненты экосистемы адаптируются, то представляется логичным говорить об антропогенной трансформации природной среды в Пермском крае.

Проведенный анализ показал, что сообщества лесного фонда (63,3% от площади края) соответствуют различным фазам трансформации: 40% – квазикоренные сообщества (очень слабодеградированные), 31% – смешанный лес (слабодеградированные), 29% – мелколиственный лес (среднедеградированные); 27% от площади края составляют сельскохозяйственные земли, на остальных 9,7% площади края наземные экосистемы либо от-

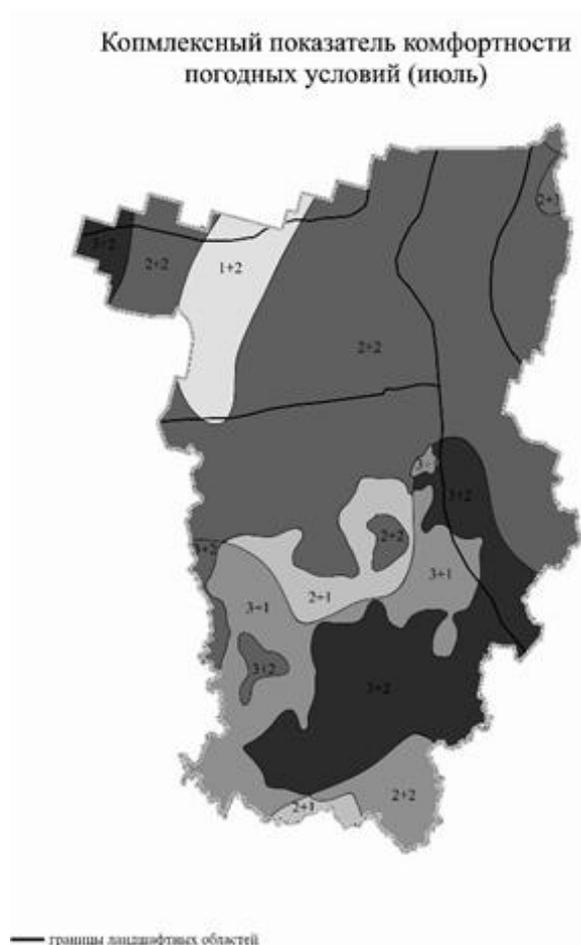


Рис. 5. Пример дифференциации ландшафтных областей Пермского края по КПКПУ в июле

сутствуют (водный фонд и пр.), либо утрачены полностью или заменены на искусственные (например, зеленые насаждения населенных пунктов) [3]. В целом природопользование в Пермском крае ведет к изменению природной среды, экосистемы после снятия антропогенной нагрузки находятся на разных стадиях восстановительной трансформации.

В заключение следует отметить, что долговременные тенденции климатических изменений вызывают ответный отклик в рассеивающей способности атмосферы, различных биоклиматических показателях, микроклиматических характеристиках, а также степени трансформации природной среды.

Библиографический список

1. Исаков С.В., Шкляев В.А. Определение суммарного влияния антропогенноизмененных поверхностей на возникновение эффекта «городского острова тепла» с использованием геоинформационных систем // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 1. – С. 178–182.
2. Исаков С.В., Шкляев В.А. Оценка поступления солнечной радиации на естественные поверхности с применением геоинформационных систем // Географический вестник. – 2012. – № 1. – С. 72–80.
3. Кулакова С.А. Трансформация природной среды Пермского края // Географический вестник. – 2015. – № 3(34). – С. 74–85.
4. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Особенности долговременных изменений характеристик вегетационных периодов в Пермском крае // Географический вестник. – 2012. – № 2(21). – С. 68–73.

5. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Выявление долговременных тенденций изменения рассеивающей способности атмосферы в г. Перми: Материалы междунар. науч.-практ. конф. «География и регион». Т. IV. – Пермь, 2015. – С. 175–180.

**CHANGES OF ENVIRONMENTAL AND RECREATIONAL CONDITIONS
IN PERM REGION AGAINST THE BACKGROUND OF GLOBAL WARMING**

V.A. Shklyayev, L.N. Ermakova, S.V. Isakov, S.A. Kulakova, L.S. Shklyayeva

Perm State National Research University

Changes of various characteristics of inversion in Perm from 1959 to 2012 are considered. It was found that the greatest frequency of surface and elevated temperature inversions was observed from 1959 to 1968. In the subsequent period there was a significant decrease in the frequency of inversions, which in recent years has started to increase again. The results of the observations by the temperature profiler indicate the presence of a "heat island".

The use of a digital elevation model with the help of ArcGIS made it possible to estimate the local features of the territory in the incoming short-wave radiation. Layers of exposure and slope were created, which then were divided into three parts with the help of ArcGIS: the base of the hill, the slope and the top. On the basis of this, zones of change in wind speed were distinguished.

The time variability of equivalent-effective temperatures (EET) over the 15-year period is considered. The main trends in the changes of EET in warm and cold periods of the year are revealed. It is established that in the cold period of the year, on the territories of the studied objects there observed a decrease in the values of EET by the end of the period under study, which is the most noticeable in February and March. The paper presents zoning of the territory of Perm region by the complex indicator of comfortable weather conditions.

Keywords: inversion, air pollution, microclimate, geographic information systems, comfortable weather conditions.

Сведения об авторах

Шкляев Владимир Александрович, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: shklyayev@psu.ru

Ермакова Людмила Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы, заместитель декана географического факультета, ПГНИУ; e-mail: lermak@psu.ru

Исаков Сергей Викторович, кандидат географических наук, инженер кафедры метеорологии и охраны атмосферы, ПГНИУ; e-mail: isakov-sergeq2009@yandex.ru

Кулакова Светлана Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы, ПГНИУ; e-mail: kulakovasa@mail.ru

Шкляева Людмила Сергеевна, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы, ПГНИУ; e-mail: shklyayeva@psu.ru

Материал поступил в редакцию 21.10.2016 г.