

10. Dai A. et al. (2006), Recent trends in cloudiness over the United States: A tale of monitoring inadequacies, *Meteorol. Soc.*, vol. 87, pp. 597–606.

11. Groisman P. Ya. et al. (2004), Contemporary changes of the hydrological cycle over the contiguous United States: Trends derived from in situ observations, *Hydrometeorol.*, vol. 5, pp. 64–85.

Поступила в редакцию: 12.10.2018

#### Сведения об авторе

##### Носкова Елена Викторовна

кандидат географических наук, младший научный сотрудник лаборатории географии и регионального природопользования, Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук;

Россия, 672002, г. Чита, а/я 1032

e-mail: elena-noskova-2011@mail.ru

#### About the author

##### Elena V. Noskova

Candidate of Geographic Sciences, Junior Researcher, Laboratory of Geography and Regional Nature Management, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; P.O. Box 1032, Chita, 672002, Russia

#### Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

*Носкова Е.В.* Пространственно-временное распределение облачности в Забайкальском крае на фоне современного потепления // *Географический вестник = Geographical bulletin.* 2019. №1(48). С. 75–84. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-75-84

#### Please cite this article in English as:

*Noskova E.V.* Spatio-temporal distribution of cloudiness in the Trans-Baikal territory against a backdrop of modern warming // *Geographical bulletin.* 2019. №1(48). P. 75–84. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-75-84

УДК 551.524.3: 504.3.054

DOI 10.17072/2079-7877-2019-1-84-92

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ И ИХ СВЯЗЬ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В Г. ПЕРМИ

#### Владимир Александрович Шкляев

Author ID: 148009

e-mail: shkلياev@psu.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Пермь*

#### Татьяна Викторовна Костарева

e-mail: nmu2@meteorperm.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Пермь*

Рассматриваются изменения различных характеристик инверсий в Перми за период с 2013 по 2016 г., полученных по наблюдениям профилимера МТП-5. Выявлено, что наибольшая частота приземных инверсий температуры наблюдается летом, а наибольшей мощности они достигают в декабре–феврале. Приподнятые инверсии чаще всего формируются в январе. Наименьшее число дней с инверсиями всех типов наблюдается в сентябре–октябре. Результаты наблюдений по температурному профилимеру свидетельствуют о наличии «острова тепла», влияние которого увеличивает частоту приподнятых инверсий. Выявлена связь загрязнения атмосферы с продолжительностью и глубиной приземных инверсий в зимний и весенний сезоны. Зависимости параметра  $P$  от мощности и глубины приземных инверсий сохраняются осенью, а летом они выражены наиболее слабо. Глубина приподнятых инверсий значительно коррелирует с параметром  $P$  весной, а осенью такая связь

отсутствует. Летом и зимой коэффициенты корреляции между этими характеристиками значимы, но невелики.

**Ключевые слова:** температурные инверсии, уровень загрязнения воздуха, параметр  $P$ .

## CHARACTERISTICS OF THE TEMPERATURE INVERSIONS AND THEIR RELATIONSHIP WITH ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN PERM

**Vladimir A. Shklyayev**

Author ID: 148009

e-mail: shklyayev@psu.ru

Perm State University, Perm

**Tatyana V. Kostareva**

e-mail: nmu2@meteoperm.ru

Perm State University, Perm

The article considers changes in various characteristics of inversions in Perm for the period from 2013 to 2016, obtained from the observations via the MTP-5 profiler. It has been revealed that the surface temperature inversions are most frequent in the summer, and they reach their maximum power in December-February. Elevated inversions are most often formed in January. The smallest number of days with inversions of all types is observed in September-October. The results of observations via the temperature profiler indicate the presence of a 'heat island', whose influence increases the frequency of the elevated inversions. The connection of atmospheric pollution with the duration and depth of the surface temperature inversions in the winter and spring seasons has been revealed. The dependence of the parameter  $P$  on the power and depth of the surface temperature inversions is maintained in the autumn, while in the summer it is expressed most weakly. The depth of the elevated inversions correlates significantly with the parameter  $P$  in the spring, while in the autumn such a connection is absent. In the summer and winter, the correlation between these characteristics is significant, but not large.

**К е у в о р д с:** temperature inversion, level of air pollution, parameter  $P$ .

### Введение

Известно, что высокий уровень загрязнения воздуха в значительной степени определяется метеорологическими условиями. Наличие приподнятых и приземных инверсий, как правило, способствует ослаблению турбулентного обмена у земли, обуславливая увеличение загрязнения атмосферы. В этом случае должна прослеживаться связь характеристик инверсий с параметром  $P$ , который рассчитывается по результатам ежедневных наблюдений за загрязнением атмосферы. В Перми этот интегральный показатель рассчитывается по наблюдениям на 7 стационарных постах и используется для прогноза экстремально высокого уровня загрязнения воздуха (ЭВУЗВ) совместно с синоптическим прогнозом и анализом метеорологических условий [3, 4].

Различные характеристики инверсий определяются по результатам радиозондирования и наблюдения с помощью профилемера МТП-5, которые более удобны, так как позволяют оценить продолжительность инверсий, более качественно определять их глубину и мощность в приземном и пограничном слоях [2, 5].

Совместный анализ данных радиозондирования и профилей температуры, выполненный ранее, показал, что есть некоторое различие в частоте инверсий, выполненных этими методами. Было установлено, что в октябре и ноябре инверсии чаще отмечаются при радиозондировании, что объясняется отепляющим влиянием города на нижний слой атмосферы в этот период года [9–12]. В то же время в январе–феврале все инверсии имеют значительную глубину и мощность, поэтому городской «остров тепла» практически не сказывается на их количестве, а лишь изменяет их интенсивность.

Уровень загрязнения атмосферы, кроме характеристик источников выбросов, зависит от синоптических условий, типа инверсий, мощности, глубины и их продолжительности. Выявление роли столь большого числа влияющих факторов – достаточно сложная задача, однако для г. Перми она частично решена с использованием подходов, изложенных в [7]. Дополнительные наши исследования посвящены анализу и интерпретации результатов наблюдений за температурными инверсиями в нижнем километровом слое атмосферы в г. Перми.

### Материалы и методы исследования

Для выявления роли этих факторов в уровне загрязнения атмосферного воздуха использовались ежедневные значения параметра  $P$  в г. Перми и результаты наблюдений за вертикальными профилями температуры воздуха в нижнем 1000-метровом слое. Исследование включало ежедневные наблюдения с дискретностью 5 мин за период 2013–2016 г. Исследование продолжительности инверсий проводилось по результатам наблюдений МТП-5. Рассматривались приземные инверсии, начинающиеся от поверхности земли, приподнятые, нижняя граница которых начинается от 50 до 300 м, и те, которые формируются выше 300 м до 1000 м. Использование профилемера позволяет детально исследовать термическую стратификацию нижнего слоя атмосферы и оценить условия рассеивания вредных веществ. Целесообразно использовать результаты наблюдений по профилемеру для оценки интенсивности городского «острова тепла».

### Результаты и их обсуждение

*Годовой ход характеристик инверсий различного типа.* Общий ход частоты приземных инверсий в течение года характеризуется максимумом в мае–июле (рис. 1а). Кроме этого, наблюдается значительное снижение частоты приземных инверсий в период с октября по декабрь. Частота приподнятых инверсий в годовом ходе имеет 2 максимума: в январе и июне–июле и 2 минимума: в мае и октябре. За счет отепляющего влияния города в период с октября по март чаще формируются приподнятые инверсии. Весной и летом чаще наблюдаются утренние приземные инверсии, которые формируются перед восходом солнца, но они не всегда отмечаются при радиозондировании в срок 00 ч ВСВ (05 ч местного времени). В отдельные дни могут наблюдаться инверсии различного типа, особенно в летнее время, когда приземные инверсии при прогреве начинают подниматься, а затем разрушаются.

Значительная продолжительность инверсий приходится на период с ноября по март, когда инверсии наблюдаются в среднем более половины суток (рис. 1б). Например, в январе средняя продолжительность инверсий составила 569 ч (около 77% всего времени), а в 2013 г. 21 день инверсии наблюдались все 24 ч. Отмечается некоторая стабилизация продолжительности инверсий с апреля по август, когда они могут наблюдаться в среднем в течение 7–8 ч за сутки. Минимальная средняя суточная продолжительность инверсий наблюдается в сентябре. Средняя за сутки продолжительность приземных инверсий сохраняется с незначительными изменениями в течение первых 5 месяцев года с максимумом в январе – 6,7 ч. Суммарная продолжительность приземных инверсий наблюдается в мае и составляет 173 ч за месяц. Затем она уменьшается, достигая в октябре минимума – 7 ч. В это же время наблюдается наименьшее число дней с приземными инверсиями и средняя за сутки продолжительность составляет 1 ч. Как уже отмечалось, в этот период отепляющее влияние города приводит к трансформации приземных инверсий в приподнятые.

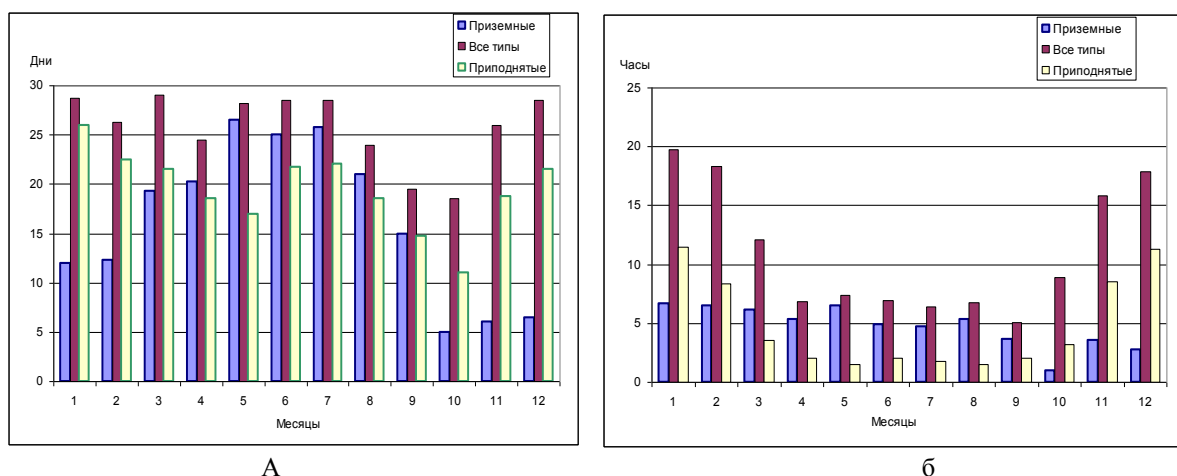


Рис. 1. Годовой ход числа дней: а – с инверсиями различного типа; б – суточной продолжительности инверсий

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. Приземные инверсии достигают максимальной мощности в декабре–феврале,

когда она достигает значений 400–650 м (рис. 2а). В отдельные дни мощность может превышать 1000 м. Таким образом, значительный слой нижней атмосферы характеризуется ослаблением турбулентности, а при антициклональном режиме погоды в этот период ослабление скорости ветра способствует застою воздуха и увеличению загрязнения атмосферы. Мощность приземных инверсий уменьшается в теплую часть года, незначительно изменяясь в летний период от 180 до 200 м. Наибольшее число дней с инверсиями такого типа может приводить к увеличению загрязнения атмосферного воздуха в ночные и утренние часы. В дневное время при развитии турбулентного перемешивания, связанного с конвекцией, уровень загрязнения снижается. Минимальная мощность приземных инверсий наблюдается в октябре, достигая 130 м.

Глубина приземных инверсий коррелирует с их мощностью, что хорошо видно на графиках годового хода (рис. 2а). Коэффициенты корреляции для этих характеристик в различные сезоны изменяются от 0,85 зимой до 0,64 летом.

Глубина инверсий без разделения на типы менее интенсивна, чем приземных, однако годовые изменения той и другой характеристики подобны. Минимальное значение приходится на октябрь, а максимум – на январь (рис. 2б).

Значительная глубина приземных инверсий в январе и феврале не может минимизировать влияния городского «острова тепла» в этот период, частота приземных инверсий в городе значительно ниже, чем в пригороде [12]. Проведенный анализ показал, что в период с октября по февраль отепляющее влияние города сказывается на приземных инверсиях, уменьшая частоту их появления по сравнению с пригородом. Это приводит к увеличению числа приподнятых и снижению приземных инверсий.

Уточнение прогноза неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) с детализацией по отдельным районам территории Пермского края основано на прогнозе барического поля и инверсий. Использование данных о количественных характеристиках инверсий позволит составлять штормовые предупреждения об НМУ для промышленных предприятий г. Перми и Пермского края с детализацией по высоте источника и температуре выходящей газовой смеси. В этой связи исследование статистических характеристик температурной стратификации в пределах пограничного слоя атмосферы (ПСА), особенно приземного слоя (ПС), позволит косвенно оценить экологическое состояние атмосферного воздуха города. В дальнейшем проведенный анализ может быть использован при корректировке времени наступления НМУ, что позволит улучшить качество их прогнозирования.

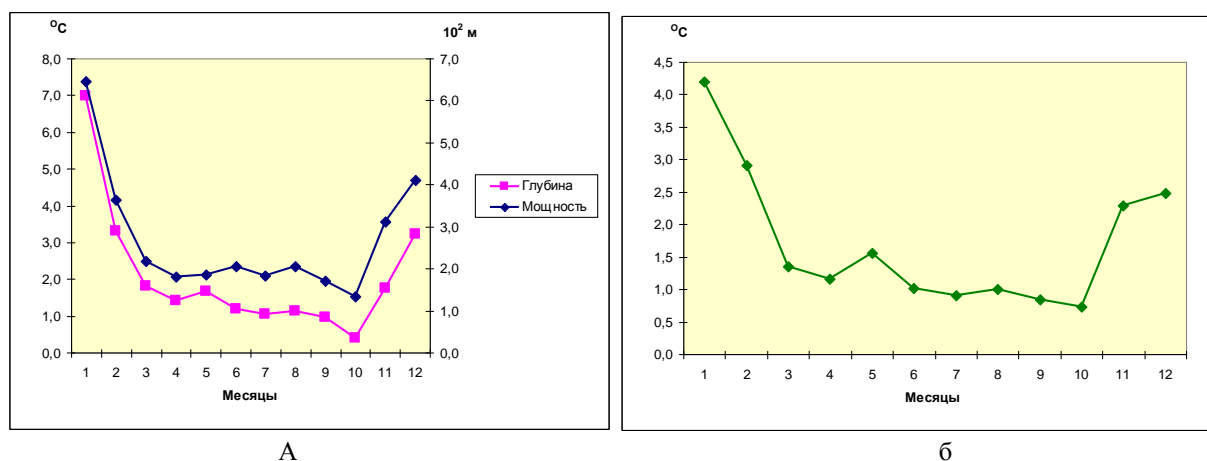


Рис. 2. Годовой ход глубины и мощности приземных инверсий (а) и глубины инверсий всех типов (б)

*Связь характеристик инверсий с уровнем загрязнения атмосферы. Приземные инверсии.* В качестве характеристики загрязнения атмосферного воздуха использовались ежедневные значения параметра  $P$ , вычисленные для г. Перми. Параметр  $P$  является частотной интегральной характеристикой загрязнения воздуха в городе. Он показывает, какую часть от общего числа измеренных за день в городе концентраций составляют их повышенные значения:  $P = m/n$ , где  $n$  – общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах;  $m$  – количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями  $q$ , которые превышают среднесезонное значение  $q_{\text{ср}}$  более чем в 1,5 раза ( $q > 1,5q_{\text{ср}}$ ). В статистическом отношении параметр  $P$  является более надежной и значимой характеристикой, чем единичные значения концентраций примесей в воздухе.

Исследовалась количественная связь этого параметра с различными характеристиками инверсий: продолжительностью, частотой, мощностью и глубиной. Наиболее хорошие связи были выявлены с характеристиками приземных инверсий. Так, для параметра  $P$  статистически значимыми оказались следующие связи:

$$P=0,212 t + 0,17; \quad R=0,47 \pm 0,07; \quad (1)$$

$$P=0,019 \Delta T + 0,18; \quad R=0,44 \pm 0,07; \quad (2)$$

$$P=0,151 H + 0,18; \quad R=0,34 \pm 0,08; \quad (3)$$

$$P=0,152 t + 0,012 \Delta T + 0,17; \quad R=0,53 \pm 0,07; \quad (4)$$

$$P=0,186 t + 0,107 H + 0,15; \quad R=0,53 \pm 0,07; \quad (5)$$

$$P=0,161 t + 0,008 \Delta T + 0,044 H + 0,16; \quad R=0,53 \pm 0,07, \quad (6)$$

где  $t$ ,  $\Delta T$ ,  $H$  – соответственно продолжительность (сут), глубина ( $^{\circ}\text{C}$ ) и мощность (км) инверсий. Как следует из полученных формул, использование уравнения множественной регрессии, включающего два или три фактора, увеличивает тесноту связи. Однако, глубина и мощность инверсий коррелируют достаточно тесно, поэтому привлечение одновременно этих параметров не целесообразно.

Наиболее хорошая связь параметра  $P$  обнаруживается с продолжительностью и глубиной приземной инверсии (рис. 3). Следует учесть, что уравнения (1–6) были получены для всего периода наблюдений, без разделения на сезоны. Очевидно, что для разных сезонов года уравнения регрессии будут различаться.

Особенность холодного периода года, как было отмечено, заключается в том, что для него наблюдается большое число дней с инверсией, но частота приземных инверсий невысока. Для зимнего периода были получены следующие уравнения регрессии:

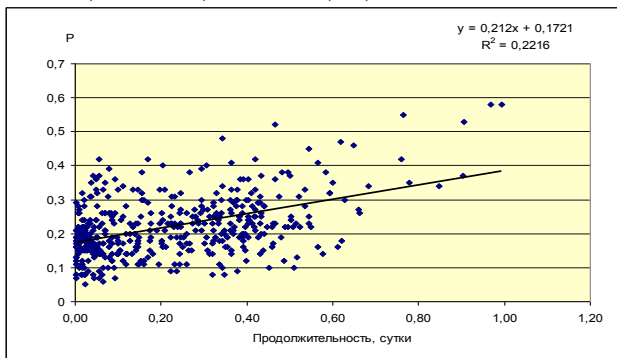
$$P=0,338 t + 0,20; \quad R=0,70 \pm 0,13; \quad (7)$$

$$P=0,011 \Delta T + 0,22; \quad R=0,41 \pm 0,21; \quad (8)$$

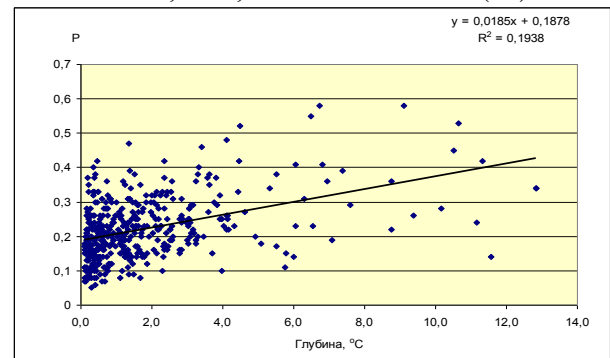
$$P=0,085 H + 0,22; \quad R=0,28 \pm 0,24; \quad (9)$$

$$P=0,321 t + 0,002 \Delta T + 0,19; \quad R=0,66 \pm 0,14; \quad (10)$$

$$P=0,326 t + 0,025 H + 0,19; \quad R=0,66 \pm 0,14. \quad (11)$$



А



Б

Рис. 3. Связь параметра  $P$ : а – с продолжительностью приземных инверсий; б – их глубиной

В отличие от уравнений (1–6) выявлена хорошая связь только с продолжительностью приземных инверсий, а с глубиной – она значима, но достаточно слабая. Это хорошо иллюстрируют рис. 4. Мощность приземных инверсий фактически не связана с параметром  $P$ . По-видимому, это связано с тем, что главную роль при накоплении загрязняющих веществ у земли играет наличие инверсии (задерживающего слоя), а не ее мощность [1, 8]. Кроме этого, в зимнее время может происходить перераспределение примеси в различных районах крупного города. Как показано в [6], зимой над центром города на высоте 200–300 м появляется так называемая ночная «линза холода», которая обеспечивает смешение приземного более теплого воздуха с более холодным из вышележащих слоев. В окрестностях города формируются инверсии, а при сохранении конвективного перемешивания над центром загрязнение воздуха увеличивается от центра к окраинам. Привлечение как глубины, так и мощности инверсий в дополнение к продолжительности только ухудшает зависимости параметра  $P$  от этих факторов.

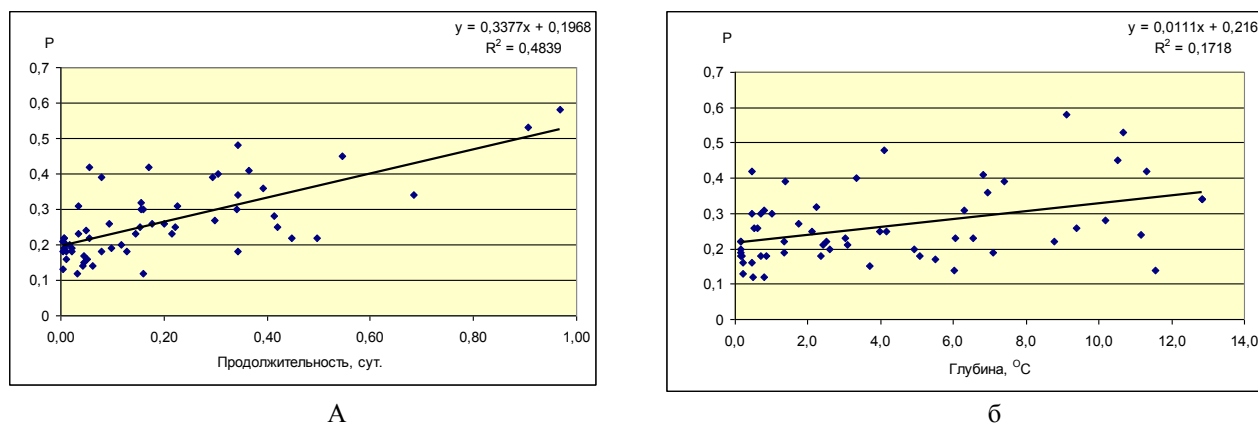


Рис. 4. Связь параметра  $P$ : а – с продолжительностью приземных инверсий; б – и их глубиной зимой

Для весны были получены следующие уравнения регрессии:

$$P=0,294 t + 0,13; \quad R=0,62 \pm 0,10; \quad (12)$$

$$P=0,038 \Delta T + 0,15; \quad R=0,55 \pm 0,11; \quad (13)$$

$$P=0,343 H + 0,14; \quad R=0,36 \pm 0,14; \quad (14)$$

$$P=0,225 t + 0,013 \Delta T + 0,13; \quad R=0,63 \pm 0,09 \quad (15)$$

$$P=0,288 t + 0,022 H + 0,13; \quad R=0,62 \pm 0,10. \quad (16)$$

В этот период, также как и зимой, хуже прослеживается связь параметра  $P$  с мощностью приземной инверсии, а с глубиной – она становится более тесной. Использование 2 параметров в уравнении регрессии не улучшает связь с уровнем загрязнения атмосферы.

Летом уравнения регрессии, полученные для параметра  $P$  и характеристик приземных инверсий, были такими:

$$P=0,126 t + 0,19; \quad R=0,33 \pm 0,13; \quad (17)$$

$$P=0,021 \Delta T + 0,19; \quad R=0,32 \pm 0,13; \quad (18)$$

$$P=0,161 H + 0,18; \quad R=0,26 \pm 0,14; \quad (19)$$

$$P=0,072 t + 0,011 \Delta T + 0,19; \quad R=0,34 \pm 0,13 \quad (20)$$

$$P=0,100 t + 0,083 H + 0,18; \quad R=0,35 \pm 0,13. \quad (21)$$

Следует отметить, что летом частота приземных инверсий возрастает по сравнению с зимним или весенним периодом, но эти инверсии часто формируются в утреннее время. Днем они могут разрушаться при развитии конвекции, усиливая турбулентный обмен и увеличивая интенсивность рассеивания загрязняющих веществ. В том случае, если в ночной срок уровень загрязнения не определяется, параметр  $P$  будет несколько ниже, что не отражает средний суточный уровень загрязнения атмосферы. Как и в предыдущих случаях, наибольшие коэффициенты корреляции параметра  $P$  получаются с продолжительностью и глубиной инверсии (рис. 5).

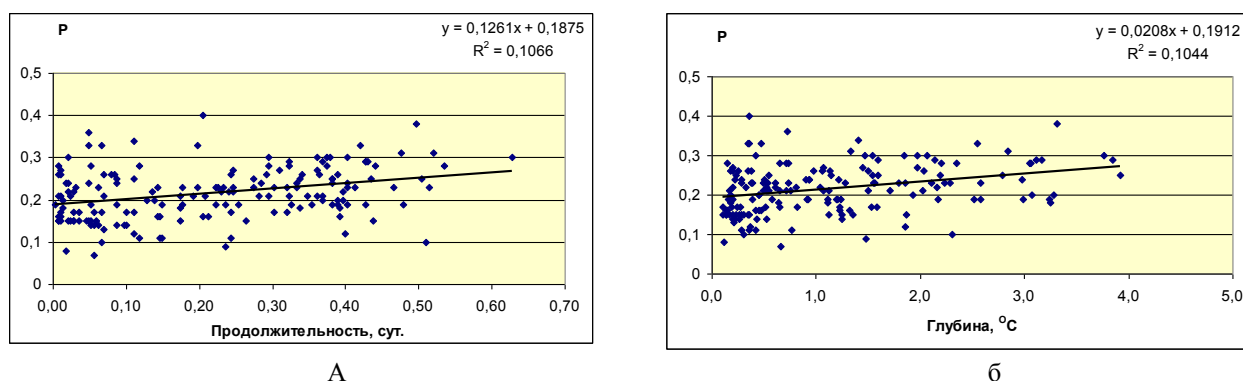


Рис. 5. Связь параметра  $P$ : а – с продолжительностью приземных инверсий; б – и их глубиной летом

Следует отметить, что летом в городе возрастает интенсивность движения автотранспорта, что приводит к дополнительному загрязнению атмосферного воздуха.

Осенью связь параметра  $P$  с продолжительностью приземной инверсии наименее значима, регрессия существенно не значима и поэтому полученную связь можно не учитывать. В этот период времени средняя продолжительность инверсий всех типов начинает возрастать, а приземных снижается до

минимального значения за год (в октябре). В то же время число дней с приподнятыми инверсиями начинает доминировать, поэтому уровень загрязнения если возрастает, то за счет инверсий других типов, а не приземных либо за счет других факторов, например, в связи с началом отопительного периода. Однако глубина и мощность инверсий остаются существенно значимыми:

$$P=0,196 \Delta T + 0,19; \quad R=0,40 \pm 0,22; \quad (22)$$

$$P=0,160 H + 0,18; \quad R=0,42 \pm 0,21; \quad (23)$$

$$P=0,0014 t + 0,196 \Delta T + 0,19; \quad R=0,40 \pm 0,22 \quad (24)$$

$$P=0,035 t + 0,158 H + 0,17; \quad R=0,43 \pm 0,21. \quad (25)$$

*Приподнятые инверсии.* Оценки связей параметра  $P$  показали, что они наиболее значимы для глубины приподнятых инверсий. Зависимости от мощности не исследовались, так как эта характеристика для приподнятых инверсий ограничена нижним уровнем, равным 300 м, и верхним – 1000 м. Зависимости  $P$  от времени приподнятых инверсий оказались не значимы для всех выделенных групп. Таким образом, для всего периода исследований связь параметра  $P$  с глубиной инверсий имела вид

$$P=0,011 \Delta T + 0,19; \quad R=0,30 \pm 0,08. \quad (26)$$

При выделении сезонов года получили следующие уравнения:

зимой  
 $P=0,0105 \Delta T + 0,18; \quad R=0,34 \pm 0,14; \quad (27)$

весной  
 $P=0,043 \Delta T + 0,14; \quad R=0,56 \pm 0,12; \quad (28)$

летом  
 $P=0,022 \Delta T + 0,20; \quad R=0,30 \pm 0,15. \quad (29)$

Наиболее тесная связь наблюдается летом, а осенью зависимости параметра  $P$  с характеристиками приподнятых инверсий не выявлены.

При рассмотрении инверсий всех типов параметр  $P$  лучше коррелирует с глубиной инверсий всех типов ( $R=0,33 \pm 0,07$ ), чем с продолжительностью ( $R=0,23 \pm 0,07$ ), а для приподнятых инверсий последний параметр не значим.

### Выводы

Исследование годового хода частоты инверсий показало, что наибольшее количество дней с приземными инверсиями наблюдается летом, а с приподнятыми – в январе. Наименьшее количество дней с инверсиями всех типов отмечается осенью в сентябре–октябре.

Средняя суточная продолжительность инверсий максимальна в период с ноября по март, в первую очередь за счет приподнятых инверсий. В теплую половину года преобладают приземные инверсии, хотя общая продолжительность инверсий минимальна.

Приземные инверсии достигают максимальной мощности в декабре–феврале. В теплую часть года мощность уменьшается до величины 180–200 м. Минимальная мощность приземных инверсий наблюдается в октябре, достигая 130 м. Глубина приземных инверсий коррелирует с их мощностью, коэффициенты корреляции для этих характеристик в различные сезоны изменяются от 0,85 зимой до 0,64 летом.

Влияние городского «острова тепла» приводит к увеличению частоты приподнятых инверсий по сравнению с приземными в холодную часть года.

Выявлена связь параметра  $P$  с продолжительностью приземных инверсий в зимний и весенний сезоны с коэффициентом корреляции более 0,60. Несколько хуже связь уровня загрязнения атмосферы с глубиной приземных инверсий весной.

Менее значимы зависимости параметра  $P$  с мощностью и продолжительностью приземных инверсий осенью, а летом они наименее выражены, но значимы.

Глубина приподнятых инверсий хорошо коррелирует с параметром  $P$  весной, а осенью такая связь отсутствует. Летом и зимой коэффициенты корреляции между этими характеристиками значимы, но невелики.

### Библиографический список

1. Иванова Е.И., Сонькин Л.Р. Прогнозирование загрязнения воздуха в городе // Труды ГГО. 1973. Вып. 293. С. 51–57.
2. Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А., Фоломеев В.В. Микроволновые радиометрические комплексы для мониторинга температуры пограничного слоя атмосферы // Мир измерений. 2010. №4. С. 41–45.

3. Костарева Т.В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №2(41). С. 91–99. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99.
4. Костарева Т.В., Пенский О.Г. Синоптические условия формирования высокого и экстремально высокого уровня загрязнения воздуха в Пермском крае // Географический вестник. 2015. №4(35). С. 34–42. doi 10.17072/2079-7877-2015-4-34-42.
5. Кузнецова И.Н., Хайкин М.Н., Кадыгров Е.Н. Влияние городской среды на температуру в пограничном слое атмосферы по данным микроволновых измерений в Москве и окрестностях // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40. №5. С. 678–688.
6. Кузнецова И.Н., Кадыгров Е. Н., Миллер Е.А., Нахаев М.И. Характеристики температуры в нижнем 600-метровом слое по данным дистанционных измерений приборами МТП-5 // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. №10. С. 877–883.
7. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 224 с.
8. Сонькин Л.Р. Вопросы прогнозирования фонового загрязнения воздуха в городах // Труды ГГО. 1974. Вып. 314. С. 42–51.
9. Шкляев В.А. Температурные инверсии и застойные ситуации в Перми // Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: мат. IV Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2017. Т. I. С. 345–347.
10. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Исаков С.А., Кулакова С.А., Шкляева Л.С. Изменение эколого-рекреационных условий территории Пермского края на фоне глобального потепления // Вестник Пермского научного центра. 2017. №3. С. 92–98.
11. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Выявление долговременных тенденций изменения рассеивающей способности атмосферы в г. Перми // География и регион: мат. Межд. науч.-практ. конф. Пермь, 2015. Т. IV. С. 175–180.
12. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Исследование инверсий нижней атмосферы по результатам наблюдений температурного профилера и радиозондирования // Географический вестник. 2014. №4(31). С. 62–66.

### References

1. Ivanova E.I. and Son'kin L.R. (1973), "Forecasting of air pollution in the city", *Works GGO*, Iss. 293, pp. 51-57.
2. Kadygrov E. N. at all (2010), *Mikrovolnovye radiometricheskie komplekсы dlya monitoringa temperatury pogranichnogo sloya atmosfery*, [Microwave radiometric complexes for monitoring the temperature of the atmospheric boundary layer], *Mir izmereniy*, [The world of measurements], no. 4, pp. 41-45.
3. Kostareva T.V. (2017), "The influence of meteorological factors on forecasting air pollution in cities and towns of the Perm region", *Geograficheskij vestnik* [Geographical bulletin], no. 2 (41), pp. 91-99. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99.
4. Kostareva. T.V. and Pensky O.G. (2015), "Synoptic conditions of formation of high and extremely high level of air pollution in Perm krai", *Geograficheskij vestnik* [Geographical bulletin], no. 4 (35), pp. 34-42. doi 10.17072/2079-7877-2015-4-34-42.
5. Kuznetsova I.N. at all (2004), "Influence of the urban environment on the temperature in the boundary layer of the atmosphere according to microwave measurements in Moscow and its environs", *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and ocean*, Vol. 40, no. 5, pp. 678-688.
6. Kuznetsova I.N. at all (2012), "Characteristics of lowest 600 m atmospheric layer temperature on the basis of MTP-5 profiler date", *Atmospheric and oceanic optics*, Vol. 25, № 10. С. 877-883.
7. Son'kin L.R. (1991), *Sinoptiko-statisticheskij analiz i kratkosrochnyj prognoz zagryazneniya atmosfery*, [Synoptico-statistical analysis and short-term forecast of atmospheric pollution], *Gidrometeoizdat*, Leningrad, USSR, 224 p.
8. Son'kin L.R. (1974), "Questions of forecasting of background air pollution in cities", *Works GGO*, Iss. 314, pp. 42-41.
9. Shklyayev V.A. (2017), *Temperaturnye inversii i zastoyinye situatsii v Permi*, [Temperature inversion and stagnant situation in Perm], *Sovremennye problemy geografii i geologii: k 100-letiu otkrytiya estestvennogo otdeleniya v Tomskom gosudarstvennom universitete: Materialy IV Vserossijskoj nauchno-*



*prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Tomsk, 16-19 sent., 2017*, [Modern problems of geography and geology dedicated to the centenary of the opening of the natural science branch in Tomsk State University. Proceedings of the 4th All-Russian scientific and practical conference with the international participation. September 16-19, 2017], Tomsk State University, Russia, Vol. 1, pp. 345-347.

10. Shklyayev V.A., Ermakova L.N., Isakov S.V., Kulakova S.A. and Shklyayeva L.S. (2017), *Izmenenie ekologo-rekreatsionnykh uslovyi territorii Permskogo kraya na fone global'nogo potepleniya*, [Changing environmental and recreational conditions in Perm region against the background of global warming], *Vestnik Permskogo nauchnogo centra*, [Bulletin of the Perm Scientific Center], no. 3, pp. 92-98.

11. Shklyayev V.A. and Shklyayeva L.S. (2015), *Vyjavlenie dolgovremennykh tendencyj izmeneniya rasseivaushchey sposobnosti atmosfery v g. Permi*, [Identifying long-term trends of changes of the dispersion of pollutants in the atmosphere in Perm], *Geografiya i region. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii. T. IV: Gidrometeorologiya. Kartografiya i geoinformatika. Perm. 23-25 sent. 2015*, [Geography and region / Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vol. IV: Hydrometeorology. Cartography and geoinformatics. Perm, September 23-25], Perm State University, pp. 175-180.

12. Shklyayev V.A. and Shklyayeva L.S. (2014), "Research of inversions of the lower atmosphere by results of supervision of a meteorological temperature profiler and radiosonde", *Geograficheskij vestnik* [Geographical bulletin], no. 4 (31), pp. 62-66.

Поступила в редакцию: 03.04.2018

#### Сведения об авторах

##### **Шкляев Владимир Александрович**

кандидат географических наук, профессор  
кафедры метеорологии и охраны атмосферы,  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет;  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: shklyayev@psu.ru

##### **Костарева Татьяна Викторовна,**

кандидат географических наук, доцент кафедры  
метеорологии и охраны атмосферы, Пермский  
государственный национальный  
исследовательский университет;  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: nmu2@meteoperm.ru

#### About the authors

##### **Vladimir A. Shklyayev**

Candidate of Geographical Sciences,  
Professor, Department of Meteorology and  
Atmosphere Protection, Perm State University;  
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

##### **Tatyana V. Kostareva**

Candidate of Geographical Sciences, Associate  
Professor, Department of Meteorology and  
Atmosphere Protection, Perm State University;  
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

#### **Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Шкляев В.А., Костарева Т.В.* Характеристики температурных инверсий и их связь с загрязнением атмосферного воздуха в г. Перми // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №1(48). С. 84–92. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-84-92

#### **Please cite this article in English as:**

*Shklyayev V.A., Kostareva T.V.* Characteristics of the temperature inversions and their relationship with atmospheric air pollution in Perm // Geographical bulletin. 2019. №1(48). P. 84–92. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-84-92