

УДК 551.510.522

## Использование масштаба Монина—Обухова для определения типа стратификации в приземном слое атмосферы

С.Л. Одинцов✉, В.А. Гладких, А.П. Камардин, И.В. Невзорова\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 26.02.2025;  
после доработки 21.03.2025;  
принята к печати 24.03.2025

На основе экспериментальных данных, полученных в приземном слое атмосферы в двух различных по структуре подстилающей поверхности пунктах наблюдения, рассмотрены оценки масштаба Монина—Обухова при различных типах температурной стратификации. Проведено сопоставление этого масштаба (в первую очередь его знака) с текущим профилем температуры в приземном слое. Показано, что далеко не всегда знак масштаба соответствует фактической температурной стратификации, как это подразумевается в существующей теории. Полученные результаты могут послужить базой для уточнения применяемых моделей приземного слоя атмосферы, основанных на теории подобия Монина—Обухова.

**Ключевые слова:** приземный слой, температурная стратификация, масштаб Монина—Обухова; surface air layer, temperature stratification, Monin—Obukhov scale.

### Введение

При решении широкого круга задач для определения текущего типа стратификации в приземном слое атмосферы как российскими, так и зарубежными учеными активно используется масштаб Монина—Обухова  $L_{MO}$  (м). Он применяется и для моделирования стратификации во всем пограничном слое атмосферы. Отметим лишь несколько работ последних лет, связанных с оптикой атмосферы. В частности, в статье [1]  $L_{MO}$  используется для определения структурной характеристики показателя преломления оптических волн  $C_n^2$  в задачах астрономических наблюдений; в работе [2] — для исследования формы спектров турбулентной составляющей температурного поля, существенно влияющего на распространение оптического излучения. Решение задач по структуре пограничного слоя атмосферы в сложных условиях прибрежной зоны с использованием  $L_{MO}$ , включая оценки профилей коэффициента регулярной рефракции электромагнитных волн, рассматривается в работе [3]. В ней приводится достаточно большой обзор литературы

по данной проблеме, а также отмечается определенная рассогласованность моделей, основанных на  $L_{MO}$ , с экспериментальными данными.

Уточнение моделей профилей температуры и скорости ветра в пограничном слое атмосферы с использованием  $L_{MO}$  также является предметом исследований (см., например, [4, 5] и обзоры литературы в них). Даже при рассмотрении концептуальных вопросов по формированию структуры пограничного слоя атмосферы  $L_{MO}$  остается важным параметром [6].

Основой для определения масштаба Монина—Обухова служат скорость трения  $u_*$  (м/с) и вертикальный турбулентный поток тепла  $Q_z$  (Вт/м<sup>2</sup>) [7, 8]:

$$L_{MO} = -c_p \rho \frac{T u_*^3}{0,4 g Q_z}, \quad (1)$$

где  $c_p = 1006$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг·К);  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $g = 9,8$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $T$  — средняя температура воздуха в точке измерения, К;  $u_* = \left( (\overline{w'u'})^2 + (\overline{w'v'})^2 \right)^{1/4}$ ,  $u'$ ,  $v'$ ,  $w'$  — соответственно турбулентные составляющие продольного (вдоль среднего направления), поперечного и вертикального ветра, м/с;  $Q_z = -c_p \cdot \rho \cdot \overline{w'T'}$ , черта сверху обозначает осреднение по интервалу времени  $\delta t$ ,  $T'$  — турбулентная составля-

\* Сергей Леонидович Одинцов (odintsov@iao.ru); Владимир Александрович Гладких (glvl@iao.ru); Андрей Павлович Камардин (kap136@iao.ru); Ирина Витальевна Невзорова (nevzorova@iao.ru).

щая температуры воздуха. Обычно полагается, что при устойчивой стратификации, в частности при температурной инверсии,  $Q_z$  имеет отрицательный знак, а  $L_{MO}$  при этом должен быть положительным. В случае конвекции (температура воздуха уменьшается с увеличением высоты измерения) должна иметь место обратная закономерность:  $L_{MO} < 0$  при  $Q_z > 0$ . Величина и знак  $L_{MO}$  служат, как уже отмечалось выше, для разделения стратификации атмосферы по типу [7]. При решении ряда прикладных задач актуален вопрос о том, насколько правомерным является использование  $L_{MO}$  для определения типа текущей температурной стратификации. Ответ на этот вопрос и есть цель настоящей работы.

## Материалы и методы

Для анализа использовались экспериментальные данные, полученные в 2023 и 2024 гг. с помощью метеорологических температурных профилемеров МТР-5 [9] и ультразвуковых метеорологических станций (УЗМ) «Метео-2» [10]. Они размещены на Базовом экспериментальном комплексе (БЭК) Института оптики атмосферы СО РАН (естественный ландшафт, пригород г. Томска, большая поляна) и на крыше одного из лабораторных корпусов института (Академгородок, окраина г. Томска, урбанизированная территория; далее обозначается как «Академ»). Приборы МТР-5 измеряли профили температуры до высоты 1 км с шагом по высоте 50 м и времени 5 мин. Ультразвуковая метеорологическая станция в п. БЭК измеряла три компонента вектора ветра, температуру и влажность воздуха, а также атмосферное давление на высоте 10 м (частота получения данных 10 Гц); в п. «Академ» она работала в аналогичном режиме и располагалась на высоте 5 м над уровнем крыши (примерно 17 м от уровня подстилающей поверхности). Пункты «Академ» и БЭК разнесены примерно на 3 км по линии запад–восток.

Для определения температурной стратификации в приземном слое была использована разность температур, измеренных с помощью МТР-5 на высотах 0 и 50 м (от уровня размещения приборов):  $\Delta T = T(50) - T(0)$ . В дальнейшем полагается, что при  $\Delta T \geq 0$  в приземном слое имеет место устойчивая стратификация («инверсия»), а при  $\Delta T < 0$  — неустойчивая (условно назовем ее «конвекция»). Это достаточно грубый подход к определению стратификации, но на данном этапе будем считать его приемлемым. Результаты работы УЗМ обеспечивали возможность получения турбулентных составляющих температуры и компонентов вектора ветра, что позволило вычислить  $L_{MO}$ . Согласно общепринятому подходу [7, 8] в приземном слое одновременно должны выполняться либо условия  $L_{MO} \geq 0$  ( $Q_z \leq 0$ ) и  $\Delta T \geq 0$ , либо  $L_{MO} < 0$  ( $Q_z > 0$ ) и  $\Delta T < 0$ . В дальнейшем при их выполнении употребляется

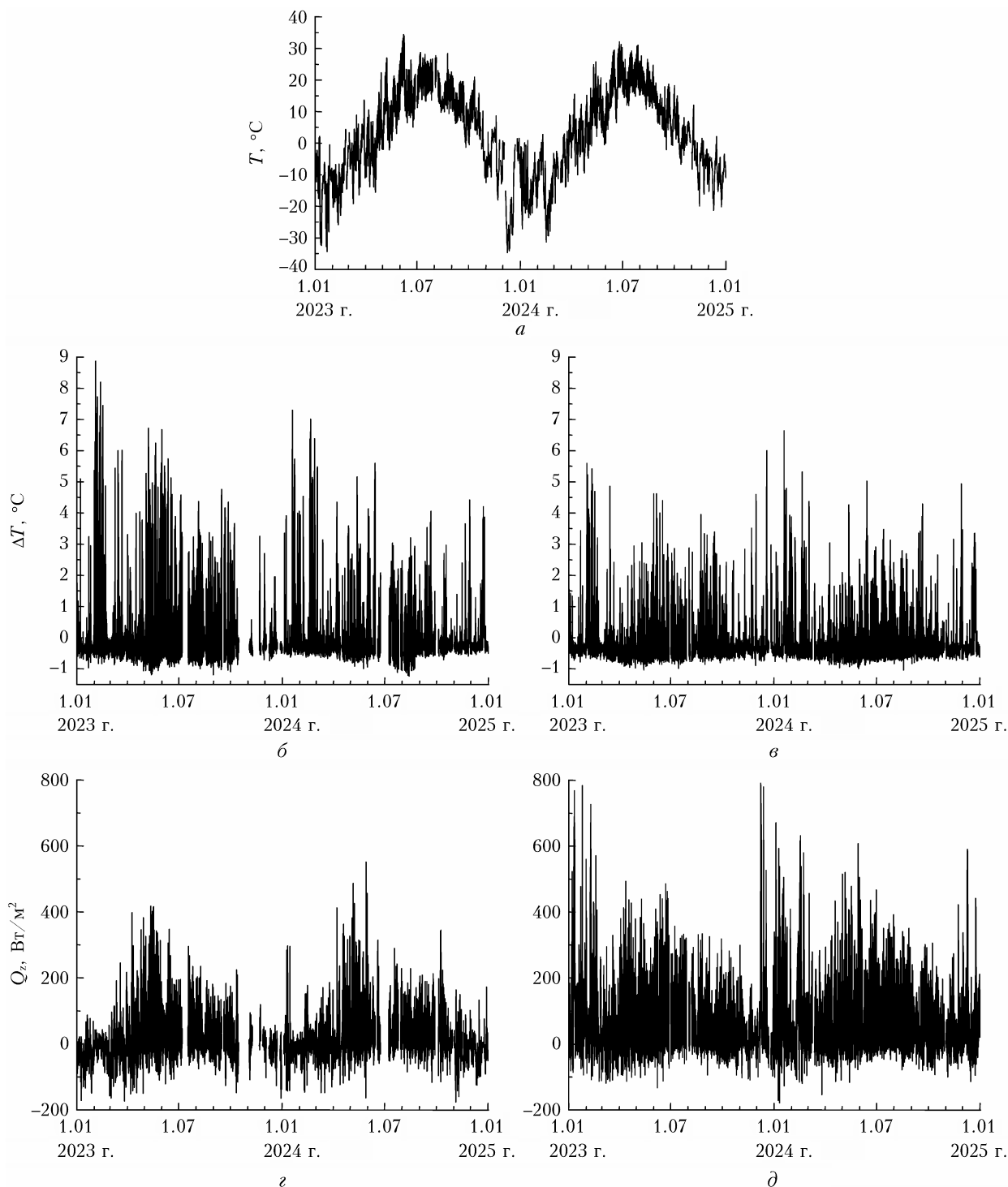
термин «правильная» знаковая комбинация. Если же эти условия не выполняются, то комбинация знаков будет считаться «неправильной» (например,  $L_{MO} \geq 0$  и  $\Delta T < 0$ ). Все приведенные далее результаты получены при оценках  $L_{MO}$  и  $\Delta T$  по интервалу времени  $\delta t = 10$  мин.

## Результаты и обсуждение

Была поставлена задача получения статистики «правильных» и «неправильных» знаковых комбинаций в двух пунктах наблюдения в целом за год. Выделим два периода: зима (январь — март, ноябрь, декабрь) и лето (май — сентябрь). Рассмотрим случаи: 1) «чистой конвекции», когда температура уменьшается с высотой во всем километровом слое; 2) «приземной инверсии», когда  $\Delta T \geq 0$ ; 3) «приподнятой инверсии», когда  $\Delta T < 0$ , но выше некоторой высоты  $H_L > 50$  м (нижняя граница приподнятой инверсии) температура вновь увеличивается с высотой; 4) совокупно случаи «чистой конвекции» и «высоких приподнятых инверсий» при  $H_L > 500$  м; 5) «сильных приземных инверсий температуры», когда перепад температур между высотами 0 и 50 м превышает  $+1$  °С.

Прежде чем перейти к обсуждению статистики знаковых комбинаций для введенных условий, приведем на рисунке график температуры воздуха, полученный с помощью УЗМ в п. «Академ», а также графики  $\Delta T$  и  $Q_z$  за периоды обработки в обоих пунктах наблюдения. Поток тепла более наглядно, чем  $L_{MO}$ , иллюстрирует величину и знак вертикального турбулентного теплообмена. В измерениях были пропуски, связанные с техническими причинами (ремонт приборов, отключение электроэнергии и т.п.). Для анализа использовались только те эпизоды, в которых оборудование работало одновременно.

Перейдем теперь непосредственно к статистике знаковых комбинаций  $L_{MO}$  и  $\Delta T$ . Она оформлена в виде таблиц, соответствующих введенным ранее условиям. В табл. 1 приведена оценка количества «правильных/неправильных» знаковых комбинаций для общего случая, т.е. без разделения событий по типам стратификации. В этой и других таблицах приведены округленные до целых значений часы и проценты. Видно, что имеет место достаточно большое количество «неправильных» комбинаций знаков  $\Delta T$  и  $L_{MO}$ . Более того, в п. БЭК зимой «неправильные» комбинации встречались чаще, чем «правильные» как в 2023, так и в 2024 г. Это означает, что использование  $L_{MO}$ , полученного в приземном слое, может оказаться ошибочным для оценки типа текущей стратификации (включая весь пограничный слой). Данный вывод является основным итогом проведенной работы. Он относится как к п. БЭК, так и п. «Академ», хотя в последнем процент «правильных» комбинаций несколько выше, чем в первом.



Температура воздуха в п. «Академ» (*a*), разность температур между высотами 0 и 50 м в п. БЭК (*б*) и «Академ» (*в*), вертикальные турбулентные потоки тепла в п. БЭК (*г*) и «Академ» (*д*)

Статистическая обеспеченность оценок, согласно колонке «Суммарное время» в табл. 1, достаточно надежная.

Дополнительно отметим, что определенную роль может играть и высота в приземном слое, на которой оценивается величина  $L_{MO}$ . Это замечание основано на опубликованных ранее экспериментальных данных [11], полученных в п. БЭК,

которые демонстрируют продолжительные эпизоды с устойчивым «эффектом противофазы» знаков турбулентных потоков тепла  $Q_z$  (следовательно, и  $L_{MO}$ ) на высотах 5 и 10 м в зимний период. Однако в 2023 и 2024 гг., по которым получена «знаковая» статистика, такого эффекта не было — знаки  $Q_z$  на высотах 5 и 10 м практически всегда совпадали.

Таблица 1

**Статистика знаковых комбинаций без разделения по типам стратификации**

| Место измерений | Год  | Суммарное время, ч | «Правильная» комбинация знаков, ч/% | «Неправильная» комбинация знаков, ч/% |
|-----------------|------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Весь год</i> |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 7057               | 4511/64                             | 2546/36                               |
|                 | 2024 | 7265               | 4429/61                             | 2836/39                               |
| Академ          | 2023 | 8024               | 5847/73                             | 2177/27                               |
|                 | 2024 | 8421               | 6095/72                             | 2326/28                               |
| <i>Зима</i>     |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 2846               | 1243/44                             | 1603/56                               |
|                 | 2024 | 3407               | 1599/47                             | 1808/53                               |
| Академ          | 2023 | 3263               | 2275/70                             | 988/30                                |
|                 | 2024 | 3406               | 2346/69                             | 1060/31                               |
| <i>Лето</i>     |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 3219               | 2634/82                             | 585/18                                |
|                 | 2024 | 2689               | 2111/79                             | 578/21                                |
| Академ          | 2023 | 3366               | 2580/77                             | 786/23                                |
|                 | 2024 | 3623               | 2768/76                             | 855/24                                |

Рассмотрим отдельные типы стратификации, ориентируясь на профили температуры, полученные приборами МТР-5. Начнем со случая «чистой конвекции», когда температура во всем километровом слое уменьшается с высотой. Статистика для него приведена в табл. 2.

Таблица 2

**Статистика знаковых комбинаций для случаев конвекции**

| Место измерений | Год  | Суммарное время, ч | «Правильная» комбинация знаков, ч/% | «Неправильная» комбинация знаков, ч/% |
|-----------------|------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Весь год</i> |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 2632               | 1685/64                             | 947/36                                |
|                 | 2024 | 2652               | 1674/63                             | 978/37                                |
| Академ          | 2023 | 3533               | 2823/80                             | 710/20                                |
|                 | 2024 | 3841               | 3069/80                             | 772/20                                |
| <i>Зима</i>     |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 601                | 183/30                              | 418/70                                |
|                 | 2024 | 697                | 283/41                              | 414/59                                |
| Академ          | 2023 | 763                | 504/66                              | 259/34                                |
|                 | 2024 | 829                | 576/70                              | 253/30                                |
| <i>Лето</i>     |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 1540               | 1231/80                             | 309/20                                |
|                 | 2024 | 1338               | 1033/77                             | 305/23                                |
| Академ          | 2023 | 1933               | 1675/87                             | 258/13                                |
|                 | 2024 | 2167               | 1877/87                             | 290/13                                |

Прежде всего, обратим внимание на то, что зимой режим конвекции реализовывался существенно реже, чем летом. Тем не менее суммарная продолжительность этого типа стратификации в холодный период обеспечивает статистическую достоверность полученных оценок. Отметим также, что в п. «Академ» полностью совпадает летняя «знаковая» статистика в 2023 и 2024 гг., а «правильные» комбинации имеют подавляющее преимущество. Обращает на себя внимание существенное превышение количества «неправильных» комбинаций над

«правильными» в п. БЭК зимой. Это особенно заметно в результатах 2023 г. Отсюда следует вывод, что в режиме «чистая конвекция»  $L_{MO}$  далеко не всегда может быть успешно использован для оценки текущей стратификации, особенно в зимнее время.

Обратимся к случаю «приземная инверсия температуры». Он характеризуется условием  $\Delta T \geq 0$ . Дополним анализ еще и условием «сильная приземная инверсия» ( $\Delta T \geq 1,0$  °C). Статистика событий для этого случая приведена в табл. 3.

Таблица 3

**Статистика знаковых комбинаций для случаев приземных инверсий температуры**

| Место изме-<br>рений | Год  | Усло-<br>вие по<br>$\Delta T$ , °C | Сум-<br>марное<br>время, ч | «Правиль-<br>ная» ком-<br>бинация<br>знаков, ч/% | «Неправиль-<br>ная» комби-<br>нация<br>знаков, ч/% |
|----------------------|------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Весь год             |      |                                    |                            |                                                  |                                                    |
| БЭК                  | 2023 | $\geq 0$                           | 2494                       | 2166/87                                          | 328/13                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 1270                       | 1062/84                                          | 208/16                                             |
|                      | 2024 | $\geq 0$                           | 2278                       | 1877/82                                          | 401/18                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 956                        | 744/78                                           | 212/23                                             |
| Академ               | 2023 | $\geq 0$                           | 2100                       | 1207/58                                          | 893/42                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 774                        | 534/69                                           | 240/31                                             |
|                      | 2024 | $\geq 0$                           | 2149                       | 1173/55                                          | 976/45                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 707                        | 475/67                                           | 232/33                                             |
| Зима                 |      |                                    |                            |                                                  |                                                    |
| БЭК                  | 2023 | $\geq 0$                           | 760                        | 656/86                                           | 104/14                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 361                        | 290/80                                           | 71/20                                              |
|                      | 2024 | $\geq 0$                           | 1023                       | 835/82                                           | 188/18                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 475                        | 363/77                                           | 112/23                                             |
| Академ               | 2023 | $\geq 0$                           | 713                        | 382/54                                           | 331/46                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 298                        | 203/68                                           | 95/32                                              |
|                      | 2024 | $\geq 0$                           | 873                        | 434/50                                           | 439/50                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 367                        | 232/63                                           | 135/37                                             |
| Лето                 |      |                                    |                            |                                                  |                                                    |
| БЭК                  | 2023 | $\geq 0$                           | 1416                       | 1217/86                                          | 199/14                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 789                        | 669/85                                           | 120/15                                             |
|                      | 2024 | $\geq 0$                           | 1006                       | 835/83                                           | 171/17                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 408                        | 328/80                                           | 80/20                                              |
| Академ               | 2023 | $\geq 0$                           | 1142                       | 665/58                                           | 477/42                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 417                        | 284/68                                           | 133/32                                             |
|                      | 2024 | $\geq 0$                           | 1055                       | 592/56                                           | 463/44                                             |
|                      |      | $\geq +1$                          | 298                        | 213/71                                           | 85/29                                              |

Результаты для случая «приземная инверсия» суммарно за год демонстрируют, что «правильных» комбинаций знаков  $L_{MO}$  и  $\Delta T$  в п. БЭК существенно больше, чем «неправильных». Однако при выделении только «сильных» инверсий это соотношение несколько «ухудшается». Для п. «Академ» наблюдается иная закономерность. В частности, для  $\Delta T \geq 0$  повторяемость «правильных/неправильных» знаковых комбинаций достаточно близка. Однако в случаях «сильных» инверсий ( $\Delta T \geq 1,0$ ) статистика улучшается: «правильных» комбинаций становится примерно в два раза больше, чем «неправильных». Такие же закономерности с некоторыми вариациями наблюдаются в обоих пунктах

и отдельно по сезонам года. Отметим, что при рассмотрении случаев приземной инверсии ее мощность (расстояние между нижней и верхней границами инверсии) во внимание не принималась. Это является отдельным предметом исследований и сейчас не обсуждается.

Далее приведем статистику «знаковых» комбинаций для случая «приподнятая инверсия температуры», когда нижняя граница инверсии расположена на уровнях 50 м и выше (табл. 4).

Таблица 4

**Статистика знаковых комбинаций для случаев приподнятых инверсий температуры**

| Место измерения | Год  | Суммарное время, ч | «Правильная» комбинация знаков, ч/% | «Неправильная» комбинация знаков, ч/% |
|-----------------|------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Весь год</i> |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 1931               | 660/34                              | 1271/66                               |
|                 | 2024 | 2334               | 878/38                              | 1456/62                               |
| Академ          | 2023 | 2392               | 1819/76                             | 573/24                                |
|                 | 2024 | 2432               | 1853/76                             | 579/24                                |
| <i>Зима</i>     |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 1485               | 405/27                              | 1080/73                               |
|                 | 2024 | 1687               | 481/28                              | 1206/72                               |
| Академ          | 2023 | 1787               | 1389/78                             | 398/22                                |
|                 | 2024 | 1704               | 1336/78                             | 368/22                                |
| <i>Лето</i>     |      |                    |                                     |                                       |
| БЭК             | 2023 | 262                | 185/70                              | 77/30                                 |
|                 | 2024 | 344                | 242/70                              | 102/30                                |
| Академ          | 2023 | 291                | 240/82                              | 51/18                                 |
|                 | 2024 | 402                | 299/74                              | 103/26                                |

Случаи приподнятых инверсий летом наблюдались относительно редко в обоих пунктах. Количество «правильных» комбинаций знаков существенно превышало количество «неправильных». Другой важный вывод заключается в том, что в целом за год и в зимний период в п. БЭК доминировали «неправильные» комбинации знаков, а в п. «Академ» — «правильные» и статистика событий (в процентном выражении) была идентична в 2023 и 2024 гг. Исследование причин такого существенного различия для п. БЭК и «Академ» зимой является отдельной задачей. Ее решение необходимо проводить одновременно со случаем «чистой конвекции», при котором в п. БЭК также наблюдается превышение количества «неправильных» комбинаций над «правильными» (см. табл. 2, БЭК, зима).

Дополнительно проанализируем объединение (синтез) случаев «чистая конвекция» и «приподнятая инверсия» при  $H_L > 500$  м. Выбор условия по высоте нижней границы подразумевает, что такая инверсия уже не влияет на режим турбулентности в приземном слое, где оценивается  $L_{MO}$ . Рассмотрим только холодный период года, поскольку именно в это время в п. БЭК, согласно табл. 2 и 4, наиболее часто реализовывалась «неправильная» комбинация знаков  $\Delta T$  и  $L_{MO}$ . Дополнительный

анализ проведем только для тех условий, когда  $|\Delta T| > 0,2$  °C и  $|\Delta L_{MO}| < 100$  м. Из анализа исключим случаи безразличной стратификации. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Статистика знаковых комбинаций для случаев конвекции и приподнятых инверсий температуры при  $H_L > 500$  м (зима)**

| Место измерения | Год  | Тип     | Суммарное время, ч | «Правильная» комбинация знаков, ч/% | «Неправильная» комбинация знаков, ч/% |
|-----------------|------|---------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| БЭК             | 2023 | 0       | 601                | 183/30                              | 418/70                                |
|                 |      | 0 + 2   | 1341               | 333/25                              | 1008/75                               |
|                 |      | 0 + 2/1 | 220                | 68/31                               | 152/69                                |
|                 | 2024 | 0       | 697                | 283/41                              | 414/59                                |
|                 |      | 0 + 2   | 1635               | 602/37                              | 1033/63                               |
|                 |      | 0 + 2/1 | 251                | 111/44                              | 140/56                                |
| Академ          | 2023 | 0       | 763                | 504/66                              | 259/34                                |
|                 |      | 0 + 2   | 1514               | 1097/72                             | 417/28                                |
|                 |      | 0 + 2/1 | 489                | 450/92                              | 39/8                                  |
|                 | 2024 | 0       | 829                | 576/70                              | 253/30                                |
|                 |      | 0 + 2   | 1625               | 1263/78                             | 362/22                                |
|                 |      | 0 + 2/1 | 890                | 840/94                              | 50/6                                  |

Примечание. 0 — «чистая конвекция»; 0 + 2 — «синтез»; 0 + 2/1 — вариант с дополнительным удалением из анализа безразличной стратификации. Статистика для типа «0» заимствована из табл. 2.

Согласно приведенным в табл. 5 результатам, для п. БЭК в холодный период каких-либо значимых изменений в «знаковой» статистике при введении дополнительных условий не произошло — «неправильные» комбинации по-прежнему встречались чаще, чем «правильные». Для п. «Академ» введенные условия существенно изменили статистику — «правильных» комбинаций стало больше, особенно для варианта «0 + 2/1».

## Заключение

Выполненный анализ показывает следующее. Во-первых, использовать масштаб Монина—Обухова  $L_{MO}$  для идентификации типа стратификации в приземном слое атмосферы нужно с осторожностью, поскольку далеко не всегда его знак соответствует реальному температурному профилю. Во-вторых, существенное влияние на «правильные/неправильные» комбинации знаков  $\Delta T$  и  $L_{MO}$  могут оказывать сезон года и место, где необходимо проводить работу. Кроме того, определенную роль может играть и высота, на которой в приземном слое проводятся измерения и для которой оценивается величина  $L_{MO}$ , особенно зимой.

Экспериментальные данные получены с использованием приборной базы ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках госзадания ИОА СО РАН.

## Список литературы

1. Носов В.В., Лукин В.П., Носов Е.В., Торзаев А.В. Приземная турбулентность в Саянской солнечной обсерватории летом 2023 г. // Оптика атмосфер. и океана. 2024. Т. 37, № 5. С. 370–376. DOI: 10.15372/AOO20240503; Nosov V.V., Lukin V.P., Nosov E.V., Torzaev A.V. Ground-level atmospheric turbulence in the Sayan Solar Observatory in summer 2023 // Atmos. Ocean. Opt. 2024. V. 37, N 4. P. 485–491.
2. Маракасов Д.А., Афанасьев А.Л., Гордеев Е.В. Спектральный состав температурной турбулентности при различных типах стратификации приземного слоя атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 2024. Т. 37, № 12. С. 1007–1014. DOI: 10.15372/AOO20241203.
3. Jiang Q., Wang Q., Wang S., Gaberšek S. Turbulence adjustment and scaling in an offshore convective internal boundary layer: A CASPER case study // J. Atmos. Sci. 2020. V. 77, N 5. P. 1661–1681. DOI: 10.1175/JAS-D-19-0189.1.
4. Liu L., Gadde S.N., Stevens R.J.A.M. The mean wind and potential temperature flux profiles in convective boundary layers // J. Atmos. Sci. 2023. V. 80, N 8. P. 1894–1903. DOI: 10.1175/JAS-D-22-0159.1.
5. Heisel M., Chamecki M. Evidence of mixed scaling for mean profile similarity in the stable atmospheric surface layer // J. Atmos. Sci. 2023. V. 80, N 8. P. 2057–2073. DOI: 10.1175/JAS-D-22-0260.1.
6. Zilitinkevich S., Kadantsev E., Repina I., Mor-tikov E., Glazunov A. Order out of chaos: Shifting paradigm of convective turbulence // J. Atmos. Sci. 2021. V. 78, N 12. P. 3925–3932. DOI: 10.1175/JAS-D-21-0013.1.
7. Бызова Н.Л., Иванов В.Н., Гаргер Е.К. Турбулентность в пограничном слое атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 264 с.
8. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / под ред. Ф.Т.М. Ньистадта, Х. ван Допа. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 352 с.
9. Кадыров Е.Н. Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя – метод, аппаратура, результаты измерений // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 7. С. 697–704.
10. Гладких В.А., Макиенко А.Э. Цифровая ультразвуковая метеостанция // Приборы. 2009. № 7. С. 21–25.
11. Оди́нцов С.Л., Гладких В.А., Камардин А.П., Невзорова И.В. Высота слоя перемешивания в условиях температурных инверсий: экспериментальные данные и модельные оценки // Оптика атмосфер. и океана. 2022. Т. 35, № 7. С. 549–558. DOI: 10.15372/AOO20220705; Odintsov S.L., Gladkikh V.A., Kamardin A.P., Nevzorova I.V. Height of the mixing layer under conditions of temperature inversions: Experimental data and model estimates // Atmos. Ocean. Opt. 2022. V. 35, N 6. P. 721–731.

*S.L. Oditsov, V.A. Gladkikh, A.P. Kamardin, I.V. Nevzorova. The efficiency of using the Monin–Obukhov scale for determining stratification type in the surface air layer.*

Experimental data obtained in the surface air layer at two observation sites with the underlying surface different in structure are used to estimate the Monin–Obukhov (MO) scale for different types of temperature stratification. The MO scale (its sign, first of all) is compared with the current temperature profile in the surface air layer. It is shown that the sign of the MO scale not always corresponds to the actual temperature stratification.