

УДК 524.1

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ МЮОНОВ В АТМОСФЕРЕ

© 2019 г. В. С. Кузьменко<sup>1, \*</sup>, В. Л. Янчуковский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

\*E-mail: mp3.87@mail.ru

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

Температурные коэффициенты для мюонов в атмосфере оценивались по результатам непрерывных наблюдений интенсивности мюонов, зарегистрированных на уровне моря при разных зенитных углах, и аэрологических данных. Полученные результаты сравниваются с результатами проведенных ранее теоретических расчетов.

DOI: 10.1134/S0367676519050211

### ВВЕДЕНИЕ

Мюоны образуются в атмосфере в результате взаимодействия первичных протонов космических лучей (КЛ) с ядрами атомов воздуха. Наблюдаемые на уровне моря с помощью мюонных телескопов вариации интенсивности КЛ определяются не только изменениями параметров первичного потока КЛ, но и параметрами атмосферы. Поэтому при использовании результатов наблюдений, проводимых с помощью мюонных телескопов, следует корректно учитывать вклад атмосферных эффектов. Интегральный метод учета температурного эффекта [1] предполагает наличие регулярных данных аэрологического зондирования и знание распределения плотности температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере. Теоретический расчет распределения плотности температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере был выполнен для новосибирского мюонного телескопа-годоскопа и якутского подземного комплекса мюонных телескопов [2]. Для сопоставления полученных результатов выполнена оценка плотности температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере по экспериментальным данным.

### МЕТОДЫ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Метод ПЛС-2 – это инструмент многомерной калибровки, целью которого является декомпозиция одновременно двух наборов данных ( $\vec{X}$  и  $\vec{Y}$ ), позволяющая найти и промоделировать их неявные закономерности.

В настоящей работе формально решается уравнение вида  $\vec{Y} = \vec{W}\vec{X}$ . В качестве зависимых переменных выступают данные [3] наземных измерений

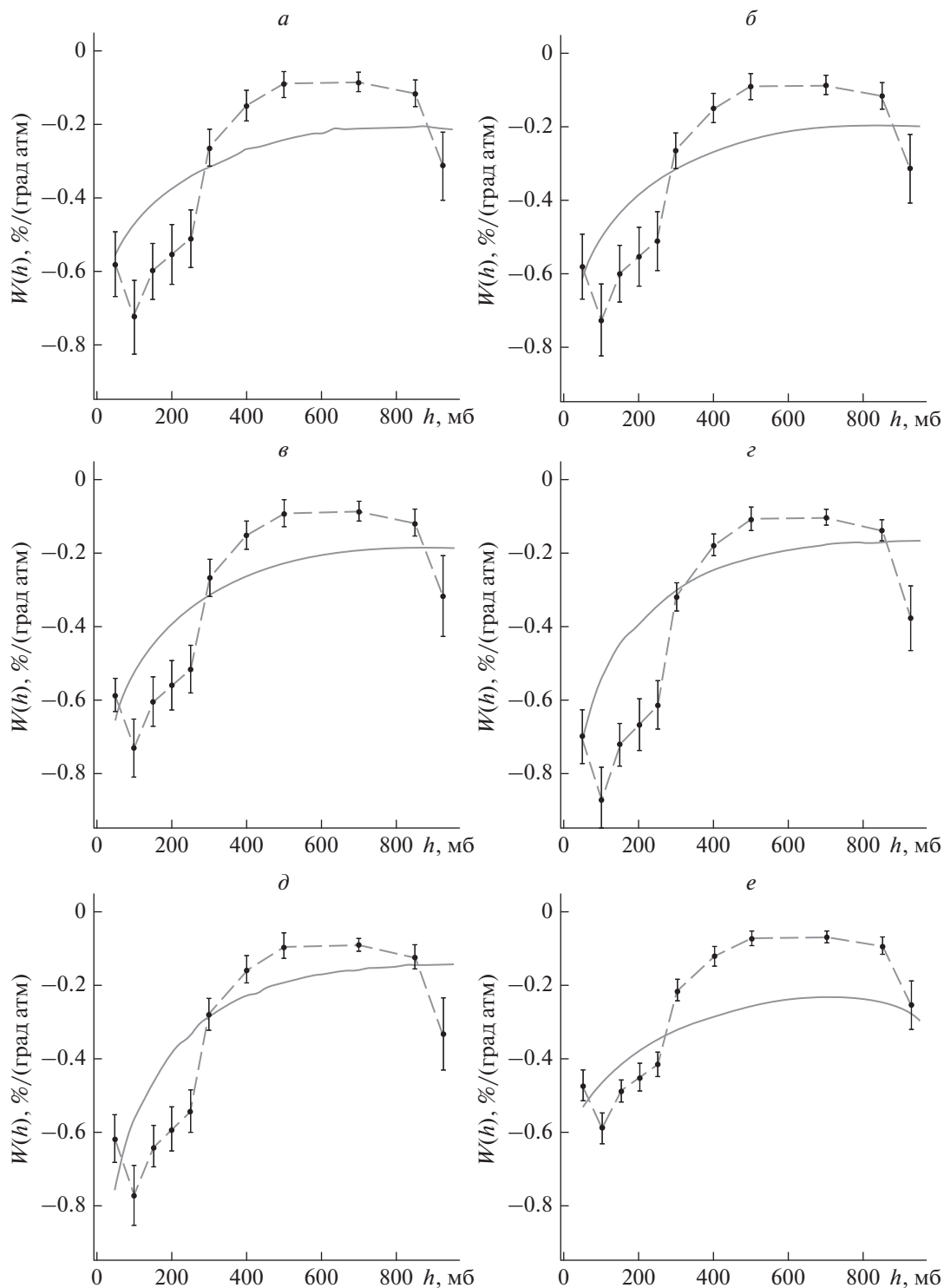
интенсивности общей ионизирующей компоненты и мюонной компоненты КЛ под различными углами к зениту ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $67^\circ$ ,  $71^\circ$ ), в которых исключен барометрический эффект и введена поправка на первичные вариации. В качестве независимых переменных используются данные [4] аэрологического зондирования: температура на различных изобарических уровнях (925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50 мбар) за период 2006–2010 гг.  $\vec{W}$  – искомые температурные коэффициенты. Дискретизация данных – 24 ч.

Проводить декомпозицию методом ПЛС-2 возможно с использованием нескольких алгоритмов: NIPALS [5], Orthogonal scores PLS [6], Wide-kernel PLS [7], Kernel PLS [8–10]. Алгоритмы различаются по применимости к задачам в зависимости от структуры исходных данных (количество переменных и образцов). Kernel PLS является наиболее пригодным для данной задачи, поскольку структура данных такова, что количество образцов значительно превышает количество переменных.

Для расчетов температурных коэффициентов на данный момент мы используем программу The Unscrambler X [11], специально предназначенную для многомерного анализа.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке представлено распределение плотности температурных коэффициентов интенсивности мюонов в атмосфере для разных зенитных углов регистрации мюонов от  $0^\circ$  до  $60^\circ$  (рис. 1а–1д) и общей ионизирующей компоненты (рис. 1е). Сплошная кривая – теоретический расчет, штриховая кривая – результат, полученный по экспе-



**Рис. 1.** Распределение плотности температурных коэффициентов интенсивности мюонов в атмосфере для разных зенитных углов регистрации мюонов от  $0^\circ$  до  $60^\circ$  (рис. *a–d* соответственно) и общей ионизирующей компоненты (рис. *e*). Штриховая кривая – результат полученных по экспериментальным данным при использовании алгоритма Kernel PLS, сплошная кривая – теоретический расчет.

риментальным данным при использовании алгоритма Kernel PLS. Максимальный доверительный интервал не превышает 15%.

Ранее [3] было показано, что теоретический расчет существенно зависит от соотношения пробегов поглощения пионов и первичных протонов. Опти-

мальное соответствие распределений плотности температурных коэффициентов, полученных по экспериментальным данным, и на основе теоретического расчета достигается при пробеге пионов  $l = 110 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$  и пробеге протонов  $L = 70 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ .

### ВЫВОДЫ

Исключения температурного эффекта требуют знания плотности температурных коэффициентов для каждого детектора с учетом конкретной геометрии прибора, пороговой энергии, определяемой экраном и жесткостью геомагнитного обреза. При численном расчете эти детали не учитываются, а при расчете статистическими методами отражены в экспериментальных данных. Таким образом, при видимом удовлетворительном согласии распределения плотности температурных коэффициентов, рассчитанных теоретически и полученных по экспериментальным данным, метод ПЛС-2 по алгоритму Kernel PLS является приемлемым для исключения температурного эффекта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорман Л.И. Вариации космических лучей. М.: Гостехиздат, 1957. 492 с.
2. Кузьменко В.С., Янчуковский В.Л. // Солн.-земн. физ. 2017. Т. 3. № 4. С. 104; Kuzmenko V.S., Yanchukovsky V.L. // Sol.-Terr. Phys. 2017. V. 3. № 4. P. 93.
3. <http://cosm-rays.ipgg.sbras.ru>.
4. <https://ruc.noaa.gov/raobs>.
5. Эбсенсен К. Анализ многомерных данных. Избранные главы. ИПХФ РАН. Черноголовка, 2005. 160 с.
6. Martens H., Naes T. Multivariate Calibration. UK. Chichester: John Wiley and Sons, 1991. 159 p.
7. Rannar S., Lindgren F., Geladi P. et al. // Chemometrics. 1994. V. 8. P. 111.
8. Lindgren F., Geladi P., Wold S. // Chemometrics. 1993. V. 7. P. 45.
9. de Jong S., Ter Braak C. // Chemometrics. 1994. V. 8. P. 169.
10. Dayal B.S., McGregor J.F. // Chemometrics. 1997. V. 11. P. 73.
11. <http://www.camo.com/rt/Products/Unscrambler/unscrambler.html>.