

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЮОНОВ В АТМОСФЕРЕ

DISTRIBUTION OF TEMPERATURE COEFFICIENT DENSITY FOR MUONS IN THE ATMOSPHERE

В.С. Кузьменко

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия, KuzmenkoVS@ipgg.sbras.ru*

В.Л. Янчукский

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия, vjanch@gs.sbras.ru*

V.S. Kuzmenko

*A.A. Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology
and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia, KuzmenkoVS@ipgg.sbras.ru*

V.L. Yanchukovsky

*A.A. Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology
and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia, vjanch@gs.sbras.ru*

Аннотация. К настоящему времени построено несколько десятков новых мюонных детекторов. При исследовании вариаций интенсивности космических лучей с помощью этих детекторов, расположенных в глубине атмосферы, необходимо, с учетом их конкретной геометрии, провести расчеты всех характеристик, в том числе распределения плотности температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере. С этой целью выполнены расчеты плотности температурных коэффициентов интенсивности мюонов в атмосфере при различных зенитных углах регистрации на уровне моря и на различных глубинах под землей для разных значений пробегов поглощения первичных протонов и пионов в атмосфере.

Ключевые слова: космические лучи, мюоны, температура, атмосфера.

Abstract. To date, several dozens of new muon detectors have been built. When studying variations in cosmic-ray intensity with these detectors, located deep in the atmosphere, it is necessary to calculate all characteristics, including the distribution of temperature coefficient density for muons in the atmosphere, taking into account their specific geometry. For this purpose, we calculate the density of temperature coefficients of muon intensity in the atmosphere at various zenith angles of detection at sea level and at various depths underground for different absorption ranges of primary protons and pions in the atmosphere.

Keywords: cosmic rays, muons, temperature, atmosphere.

ВВЕДЕНИЕ

При использовании данных мюонных телескопов в анализе вариаций космических лучей следует учитывать вклад атмосферных эффектов, в основном барометрического и температурного. Если барометрический эффект интенсивности мюонов оценивается достаточно просто, поскольку определяется одним параметром — давлением на уровне наблюдения, то с температурным эффектом все не так однозначно. Температурный эффект мюонов определяется несколькими параметрами, характеризующими состояние атмосферы от слоя генерации до уровня регистрации мюонов. Эмпирический метод определения температурного эффекта [Dupreier, 1949] предполагает обычно использование двух параметров (например, высоты и температуры слоя генерации мюонов), которые находятся из корреляции с наблюдаемой интенсивностью. Данный метод отличается простотой и свободен от возможных ошибок теоретических расчетов коэффициентов. Однако эмпирический метод не учитывает распределение масс, полностью и однозначно контролируемое температурным разрезом от уровня наблюдения до границы атмосферы. Интегральный метод учета температурного эффекта [Дорман, 1957] предусматри-

вает использование полного температурного разреза атмосферы и свободен от указанных недостатков. Для реализации интегрального метода необходимы регулярные данные аэрологического зондирования и распределение плотности температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере. Цель данной работы — найти функцию распределения плотности температурных коэффициентов $W(h)$ для мюонного телескопа станции космических лучей «Новосибирск» и подземного комплекса мюонных детекторов в Якутске, расположенных на глубине 0, 7, 20 и 40 м водного эквивалента (в. э.).

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЮОНОВ В АТМОСФЕРЕ

Функция $W(h)$, имеющая значение плотности температурного коэффициента (ПТК), впервые была введена в 1956 г. [Дорман, Фейнберг, 1956]. Теоретические расчеты функции $W(h)$ выполнялись для различных условий регистрации мюонов [Дорман, 1957; Кузьмин, 1964; Дорман, Янке, 1971; Дмитриева и др., 2009; Berkova et al., 2008; Волкова, 2013]. Методы расчета $W(h)$ в этих работах различаются

незначительно и в основе их лежат представления работы [Дорман, 1957]. Однако результаты этих работ не имеют полного согласия, поскольку расчеты проводились при различных значениях исходных параметров. На основании результатов работ [Дорман, 1957; Дорман, Янке, 1971] направленную интенсивность мюонов представим выражением

$$N_{\mu}(\Delta\varepsilon, h_0, \theta) = \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \int_{\varepsilon_{\text{мин}}}^{\infty} d\varepsilon_{\mu} \int_{\varepsilon_{\pi^+}}^{\varepsilon_{\pi^-}} d\varepsilon_{\pi} F(\varepsilon_{\pi}, \varepsilon_{\mu}, h_1, h_2, h_0, \theta), \quad (1)$$

где

$$F(\varepsilon_{\pi}, \varepsilon_{\mu}, h_0, h_1, h_2, \theta) = \frac{m_{\pi} c f_{\pi}(\varepsilon_{\pi}, h_1, \theta)}{\tau_{\pi} \varepsilon_{\pi} \cos \theta} \times \frac{1}{(\varepsilon_{\pi} - \varepsilon_{\pi^+}) \rho(h_2)} \exp\left(-\frac{h_2 - h_1}{l_{\pi} \cos \theta}\right) \times \exp\left(-\frac{m_{\pi} c}{\tau_{\pi} \varepsilon_{\pi} \cos \theta} \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{\rho(h)}\right) \times \exp\left(-\frac{m_{\mu} c}{\tau_{\mu}} \int_{h_2}^{h_0} \frac{dh}{\rho(h) [\varepsilon_{\mu} \cos \theta - a_{\mu} (h - h_2)]}\right).$$

Здесь $\varepsilon_{\pi^+} \approx \varepsilon_{\mu}$, $\varepsilon_{\pi^-} = \frac{\varepsilon_{\mu}}{\alpha^2}$, $\varepsilon_{\text{мин}} = \frac{a_{\mu} (h_0 - h_2) + \Delta\varepsilon}{\alpha \cos \theta}$ —

минимальная энергия пионов, мюоны от которых могут регистрироваться данным детектором, $\Delta\varepsilon$ — минимальная энергия мюонов, регистрируемых данным детектором, ε_{μ} — полная энергия мюона, h — глубина атмосферы, h_0 — уровень наблюдения, h_1 — уровень генерации пионов, h_2 — уровень генерации мюонов, θ — зенитный угол прихода частиц, m_{π} и m_{μ} — массы покоя пиона и мюона, τ_{π} и τ_{μ} — времена жизни пиона и мюона в покое соответственно, $\rho(h) = gh/RT(h)$ — удельный вес воздуха на высоте с давлением h , g — ускорение силы тяжести, R — удельная газовая постоянная, $T(h)$ — температура воздуха в кельвинах на высоте с давлением h , c — скорость света, $\alpha = m_{\mu}/m_{\pi}$, a_{μ} — потеря энергии частицы на ионизацию, $l_{\pi} = \frac{A}{\varepsilon_{\pi}^{\gamma}}$ — пробег пионов до ядерного захвата, $f_{\pi}(\varepsilon_{\pi}, h_1, \theta) = \frac{A}{\varepsilon_{\pi}^{\gamma}} \exp\left(-\frac{h_1}{L \cos \theta}\right)$ —

дифференциальный спектр пионов, A — постоянная, L — средний пробег поглощения для нуклонной компоненты, γ — показатель дифференциального спектра пионов. Изменения интенсивности мюонов при вариации распределения температуры (температурный эффект) находятся в результате варьирования выражения (1) по соответствующей независимой переменной:

$$\delta N_{\mu}(\Delta\varepsilon, h_0, \theta) = \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \int_{\varepsilon_{\text{мин}}}^{\infty} d\varepsilon_{\mu} \int_{\varepsilon_{\pi^+}}^{\varepsilon_{\pi^-}} d\varepsilon_{\pi} F(\varepsilon_{\pi}, \varepsilon_{\mu}, h_1, h_2, h_0, \theta) -$$

$$- \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \int_{\varepsilon_{\text{мин}}}^{\infty} d\varepsilon_{\mu} \int_{\varepsilon_{\pi^+}}^{\varepsilon_{\pi^-}} d\varepsilon_{\pi} F(\varepsilon_{\pi}, \varepsilon_{\mu}, h_1, h_2, h_0, \theta) \times \frac{b_{\pi}}{\varepsilon_{\pi} \cos \theta} \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} \delta T(h) - \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \int_{\varepsilon_{\text{мин}}}^{\infty} d\varepsilon_{\mu} \int_{\varepsilon_{\pi^+}}^{\varepsilon_{\pi^-}} d\varepsilon_{\pi} F(\varepsilon_{\pi}, \varepsilon_{\mu}, h_1, h_2, h_0, \theta) b_{\mu} \times \int_{h_2}^{h_0} \frac{\delta T(h) dh}{h [\varepsilon_{\mu} \cos \theta - a_{\mu} (h - h_2)]}, \quad (3)$$

где $b_{\pi} = \frac{m_{\pi} c R}{\tau_{\pi} g}$, $b_{\mu} = \frac{m_{\mu} c R}{\tau_{\mu} g}$. Исходя из (3), относи-

тельное изменение интенсивности мюонов, обусловленное температурным эффектом, можно записать в следующем виде:

$$\frac{\delta N(\Delta\varepsilon, h_0, \theta)}{N(\Delta\varepsilon, h_0, \theta)} = \int_0^{h_0} W_T(\Delta\varepsilon, h_0, \theta) \delta T(h) dh. \quad (4)$$

Функция плотности температурного коэффициента

$$W_T(\Delta\varepsilon, h, h_0, \theta) = W_T^{\mu}(\Delta\varepsilon, h, h_0, \theta) + W_T^{\pi}(\Delta\varepsilon, h, h_0, \theta) \quad (5)$$

включает температурный эффект мюонов

$$W_T^{\mu}(\Delta\varepsilon, h, h_0, \theta) = -\frac{1}{N_{\mu}} \int_0^{h_0} dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \int_{\varepsilon_{\text{мин}}}^{\infty} d\varepsilon_{\mu} \times \int_{\varepsilon_{\pi^+}}^{\varepsilon_{\pi^-}} d\varepsilon_{\pi} \frac{b_{\mu} F(\varepsilon_{\pi}, \varepsilon_{\mu}, h_1, h_2, h_0, \theta)}{h [\varepsilon_{\mu} \cos \theta - a_{\mu} (h - h_2)]}, \quad (6)$$

обусловленный распадом и ионизационными потерями мюонов в атмосфере (мюонный эффект), и температурный эффект пионов

$$W_T^{\pi}(\Delta\varepsilon, h, h_0, \theta) = \frac{1}{N_{\mu}} \int_0^h dh_1 \int_{\varepsilon_{\text{мин}}}^{\infty} d\varepsilon_{\mu} \int_{\varepsilon_{\pi^+}}^{\varepsilon_{\pi^-}} d\varepsilon_{\pi} \frac{1}{T(h)} F(\varepsilon_{\pi}, \varepsilon_{\mu}, h_1, h_2, h_0, \theta) - \frac{1}{N_{\mu}} \int_0^h dh_2 \int_0^{h_2} dh_1 \int_{\varepsilon_{\text{мин}}}^{\infty} d\varepsilon_{\mu} \int_{\varepsilon_{\pi^+}}^{\varepsilon_{\pi^-}} d\varepsilon_{\pi} \frac{b_{\pi} F(\varepsilon_{\pi}, \varepsilon_{\mu}, h_1, h, h_0, \theta)}{h \varepsilon_{\pi} \cos \theta}, \quad (7)$$

обусловленный распадом и захватом пионов (пионный эффект).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Расчет $W(h)$ выполнен для направления прихода частиц с зенитного угла $\theta=0^{\circ}$ и для значения $\gamma=2.5$ (рис. 1). На рис. 1 приведены для сопоставления результаты, полученные ранее другими авторами (также для $\theta=0^{\circ}$ и $\gamma=2.5-2.8$), а ниже, в табл. 1, — значения исходных параметров, использованные в расчетах.

С целью сопоставления результатов расчетов данной работы с результатами [Дорман, Янке, 1971] нами были выбраны близкие значения исходных параметров (см. табл. 1). Несмотря на это, небольшие расхождения (рис. 1) имеют место. Они возникают по следующим причинам. В [Дорман, Янке, 1971] используется ряд приближений при интегрировании по h_1 и $\varepsilon_{\text{мин}}$, а именно: применяется теорема

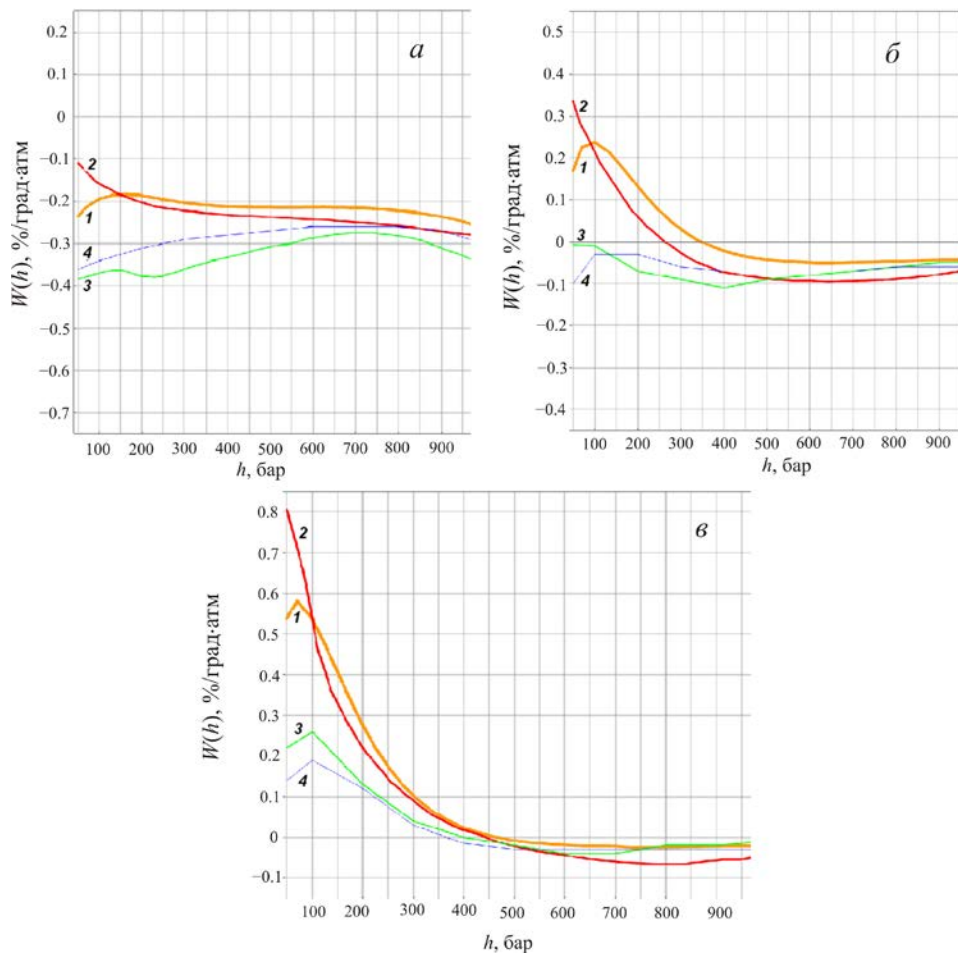


Рис. 1. Распределения плотности температурных коэффициентов интенсивности мюонов в атмосфере, полученные разными авторами (1 — данная работа, 2 — [Дорман, Янке, 1971], 3 — [Кузьмин, 1964], 4 — [Дмитриева и др., 2009]) при различных значениях минимальной энергии регистрируемых мюонов $\Delta\epsilon$: а — $\Delta\epsilon=0.24-0.5$ ГэВ; б — $\Delta\epsilon=2.2-6.4$ ГэВ; в — $\Delta\epsilon=10.0-16.2$ ГэВ

Таблица 1

Значения исходных параметров, используемые в расчетах

Автор	Рис. 1, а				Рис. 1, б				Рис. 1, в			
	$\Delta\epsilon$, ГэВ	γ	l , г/см ²	L , г/см ²	$\Delta\epsilon$, ГэВ	γ	l , г/см ²	L , г/см ²	$\Delta\epsilon$, ГэВ	γ	l , г/см ²	L , г/см ²
1	0.4	2.5	60	120	6.4	2.5	60	120	14.4	2.5	60	120
2	0.4	2.5	60	120	6.4	2.5	60	120	14.4	2.5	60	120
3	0.24	2.8	75	75	4.5	2.8	75	75	16.2	2.8	75	75
4	0.5	2.7	120	110	2.2	2.7	120	110	10.0	2.7	120	110

о среднем для промежуточных интегралов с учетом медленно меняющихся подынтегральных функций, используются оценочные выражения, интегралы вычисляются методом последовательного приближения, в то время как в настоящей работе производится прямой расчет. Имеются различия и в высотных профилях температуры атмосферы для Москвы и Новосибирска. Следует заключить, что результаты, представленные на рис. 1, трудно сопоставимы (за исключением результатов данной работы и работы [Дорман, Янке, 1971]). Расхождение в первую очередь объясняется ощутимыми различиями значений исходных параметров, используемых в расчетах (табл. 1). В данной работе используется модель стандартной атмосферы, потери мюонов считаются

постоянными, рассматривается только вклад пионов, поскольку установка в Новосибирске регистрирует мюоны до 200 ГэВ (иные каналы рождения мюонов включаются только после 10⁴ ГэВ [Кочанов, 2008]).

ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $W(h)$ ОТ ПРОБЕГОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ПРОТОНОВ И ПИОНОВ В АТМОСФЕРЕ

Рассмотренные выше результаты получены при пробегах поглощения протонов от 75 г/см² [Кузьмин, 1964] до 120 г/см² [Дорман, Янке, 1971] и пробегах

поглощения пионов от 60 г/см^2 [Дорман, Янке, 1971] до 120 г/см^2 [Дмитриева и др., 2009]. При этом показатель спектра γ принимался у разных авторов равным 2.5; 2.7; 2.8. В дальнейшем при расчетах, учитывая последние данные [Мурзин, 2007; Карелин и др., 2011], γ примем равным 2.75 [Карелин и др., 2011]. Расчет $W(h)$ для различных значений пробегов поглощения протонов и пионов выполнен для вертикальной интенсивности мюонов на уровне моря ($\theta=0$) при $\Delta\varepsilon=0.6 \text{ ГэВ}$. Полученные таким образом результаты расчетов представлены на рис. 2.

Наблюдается (см. рис. 2) заметная зависимость распределения $W(h)$ от величины пробегов поглощения, особенно от пробега поглощения первичных протонов в атмосфере (рис. 2, а).

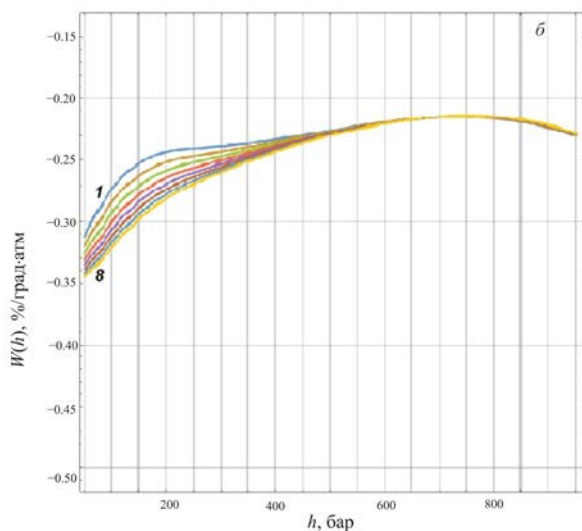
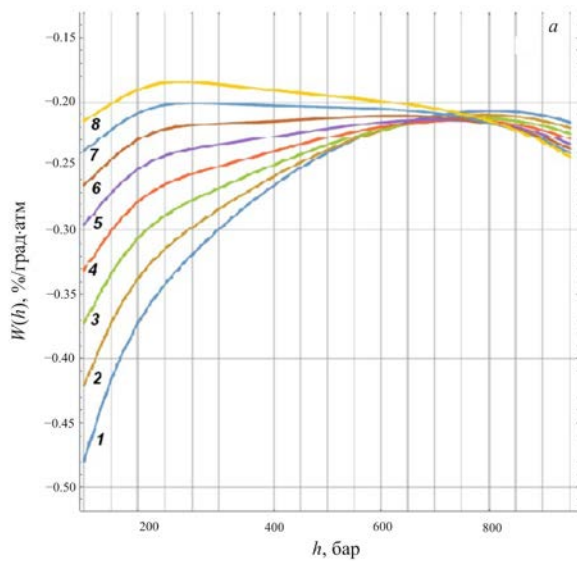


Рис. 2. Распределения $W(h)$ при постоянных значениях пробега поглощения пионов $l=110 \text{ г/см}^2$ (а) при значениях пробегов поглощения протонов L от 80 до 150 г/см^2 (кривые 1–8 соответственно); а также пробега поглощения протонов $L=110 \text{ г/см}^2$ (б) при значениях пробегов поглощения пионов l от 80 до 150 г/см^2 (кривые 1–8 соответственно)

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $W(h)$ ДЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ МЮОНОВ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ УГЛАМИ К ЗЕНИТУ

Расчет проводился для различных значений зенитных углов θ телескопа, каждому из которых соответствует эффективный порог $\Delta\varepsilon$ регистрации мюонов (табл. 2).

Таблица 2

Параметры мюонного телескопа в Новосибирске

$\theta, ^\circ$	0	30	40	50	60	67	71
$\Delta\varepsilon, \text{ ГэВ}$	0.6	0.69	0.78	0.93	1.2	1.5	1.8

Во всех расчетах принимается стандартная атмосфера, распределение температуры $T(h)$ для которой представлено на рис. 3.

Пробег поглощения протонов в области энергий 5–200 ГэВ, согласно [Мурзин, Сарычева, 1968; Хаякава, 1973; Мурзин, 2007; Сарычева, 2007], примем равным 110 г/см^2 . Расчет выполнен для различных значений пробегов поглощения пионов l от 70 до 110 г/см^2 . Результаты расчета представлены на рис. 4 для различных зенитных углов регистрации мюонов.

Более значительные изменения в распределении $W(h)$ в зависимости от l наблюдаются с ростом зенитного угла θ регистрации мюонов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $W(h)$ ДЛЯ МЮОНОВ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ПОД ЗЕМЛЕЙ

Расчет выполнен для зенитных углов регистрации мюонов $0, 30$ и 60° на глубине 0, 7, 20 и 40 м в.э. Использовались следующие значения исходных параметров: $\gamma=2.75$; $L=110 \text{ г/см}^2$; $l=120 \text{ г/см}^2$. При этом $\Delta\varepsilon$ принимает следующие значения: 0.24 ГэВ (уровень моря); 1.6, 1.85, 3.2 ГэВ (7 м в. э.); 4.5, 5.2, 9.0 ГэВ (20 м в.э.); 9.5, 10.97, 19.0 ГэВ (40 м в.э.). Результаты представлены на рис. 5.

Результаты расчета плотности температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере, регистрируемых установками в Новосибирске и Якутске, в цифровом виде представлены в табл. 3–8 (см. приложение).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Путем расчетов найдены распределения плотности температурных коэффициентов интенсивности мюонов в атмосфере $W(h)$ для различных зенитных углов регистрации на уровне моря и на различных глубинах под землей. Следует отметить наблюдаемую зависимость функции $W(h)$ от пробегов поглощения протонов и пионов в атмосфере, особенно от их соотношения ($L \leq l$ или $L \geq l$). И если пробег поглощения протонов в верхних слоях атмосферы известен, то о пробеге поглощения пионов этого, к сожалению, сказать нельзя.

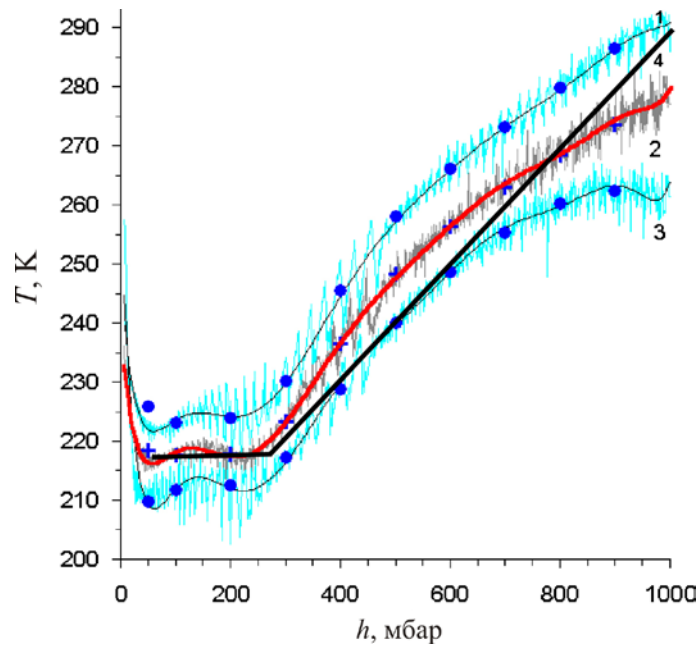


Рис. 3. Высотный ход температуры атмосферы над Новосибирском: 1 — лето, 2 — весна и осень, 3 — зима, 4 — кусочно-линейная функция аппроксимации

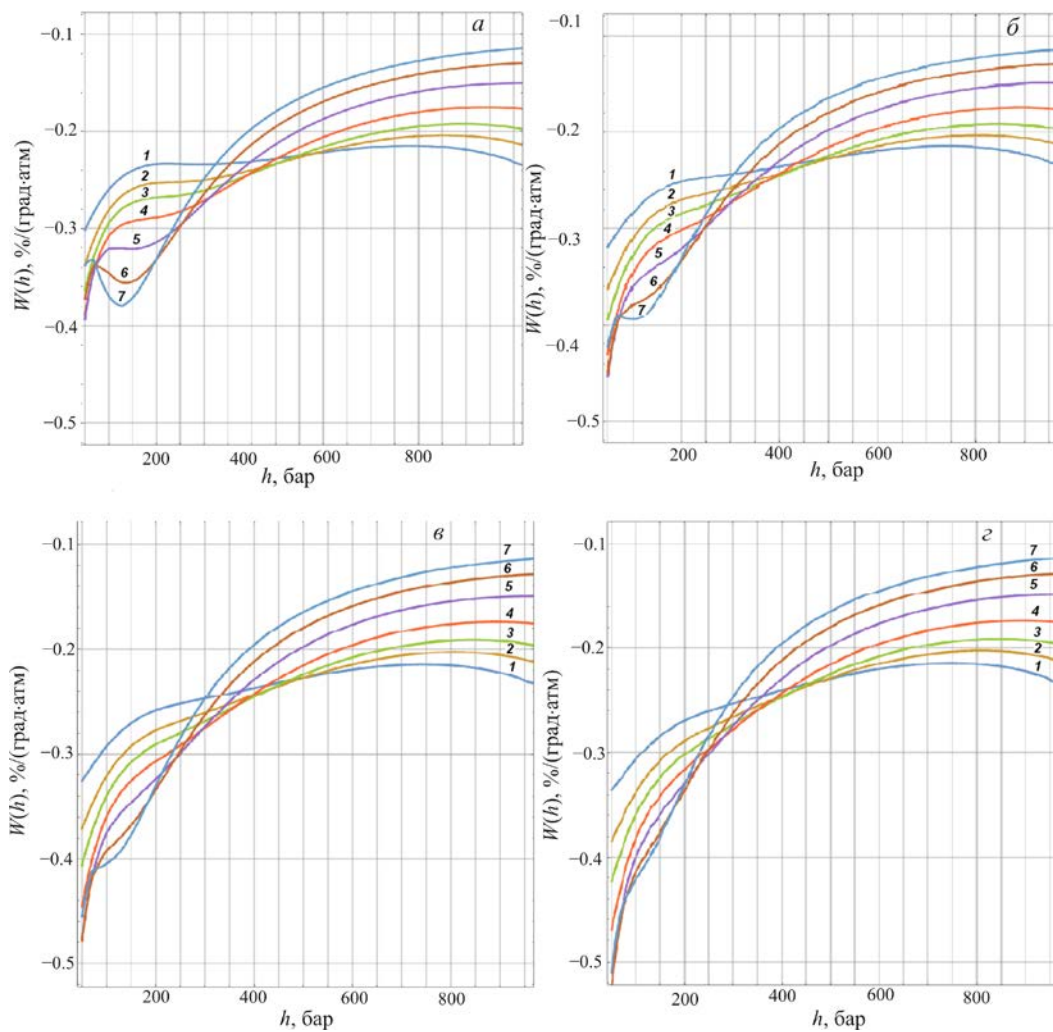


Рис. 4. Распределения $W(h)$ для зенитных углов регистрации мюонов от 0 до 71° (кривые 1–7 соответственно) при значениях пробега поглощения пионов 70 (а), 90 (б), 100 (в), 110 $\text{г}/\text{см}^2$ (г)

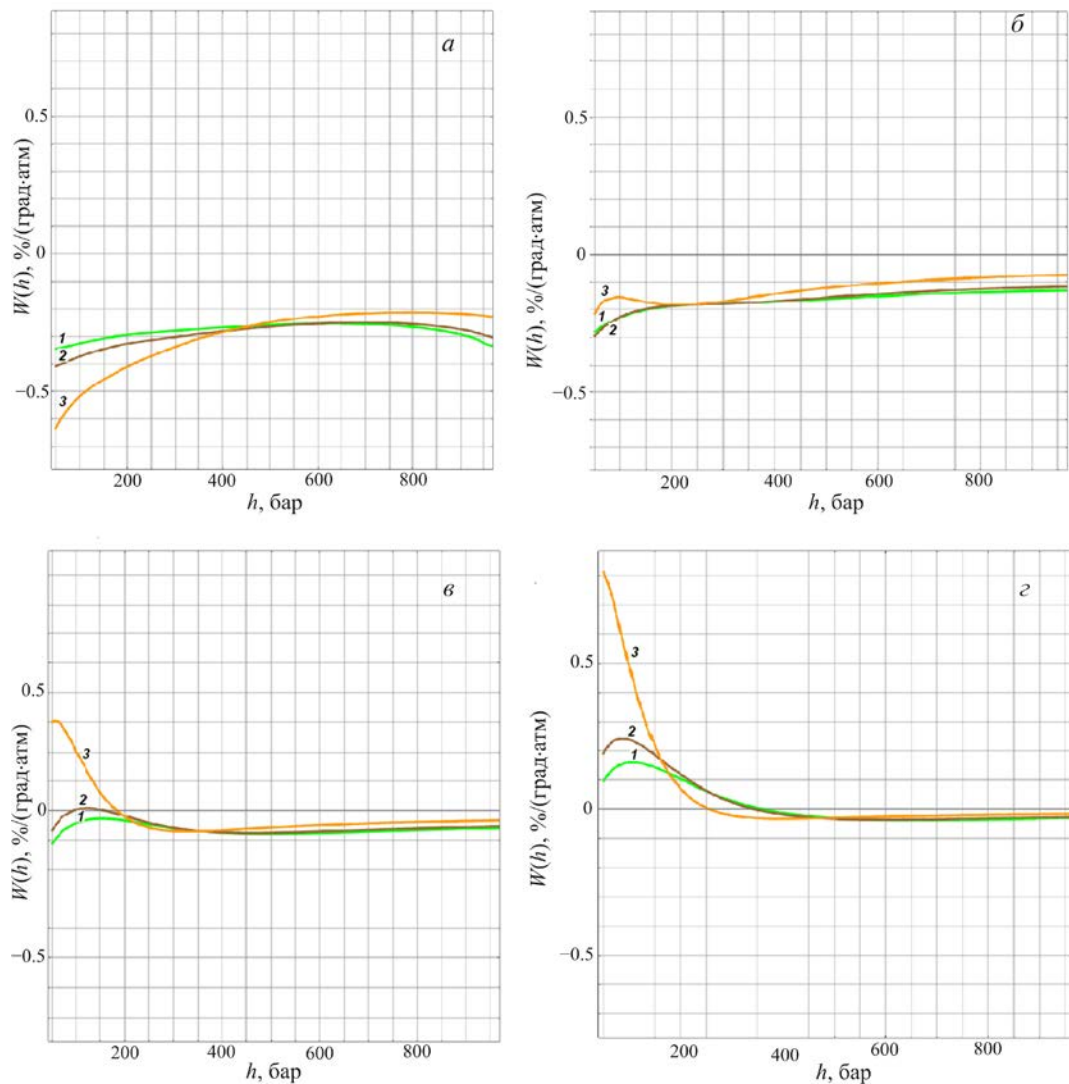


Рис. 5. Распределения $W(h)$ для мюонов, регистрируемых на уровне моря (а) и под землей на глубине 7 (б), 20 (в) и 40 м в.э. (г) под зенитными углами 0, 30 и 60° (кривые 1–3 соответственно)

Сравнение показывает, что распределения $W(h)$, полученные в разных работах, трудно сопоставимы (за исключением результатов данной работы и работы [Дорман, Янке, 1971]). Расхождение результатов в первую очередь объясняется ощутимыми различиями значений исходных параметров, используемых авторами в расчетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волкова Л.В. Температурный эффект интегрального потока мюонов космических лучей при высоких энергиях // Известия РАН. Серия физическая. 2013. Т. 77, № 11. С. 1584–1586.

Дмитриева А.Н., Кокоулин Р.П., Петрухин А.А., Тимашов Д.А. Температурные коэффициенты для мюонов под различными зенитными углами // Известия РАН. Серия физическая. 2009. Т. 73, № 3. С. 371–374.

Дорман Л.И. Вариации космических лучей. М.: Гостехиздат, 1957. 285 с.

Дорман Л.И., Фейнберг Е.Л. Вариации космических лучей // УФН. 1956. Вып. 59. С. 189–228.

Дорман Л.И., Янке В.Г. К теории метеорологических эффектов космических лучей // Известия АН СССР. Серия физическая. 1971. Т. 35, № 12. С. 2556–2570.

Карелин А.В., Адриани О., Барьярино Дж., Базилевская Г.А. и др. Измерения потоков протонов и ядер гелия высоких энергий // Известия РАН. Серия физическая. 2011. Т. 75, № 3. С. 356–359.

Кочанов А.А. Спектры и зенитно-угловые распределения мюонов высоких энергий как решение задачи о прохождении космических лучей через атмосферу Земли: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Иркутск: ИГУ, 2008. 99 с.

Кузьмин А.И. Вариации космических лучей высоких энергий. М.: Наука, 1964. 125 с.

Мурзин В.С. Астрофизика космических лучей. М.: Университетская книга; Логос, 2007. 486 с.

Мурзин В.С., Сарычева Л.И. Космические лучи и их взаимодействие. М.: Атомиздат, 1968. 391 с.

Сарычева Л.И. Физика высоких энергий и элементарные частицы: спецкурс. М.: МГУ, 2007а. 121 с.

Сарычева Л.И. Физика фундаментальных взаимодействий: спецкурс. М.: МГУ, 2007б. 158 с.

Хаякава С. Физика космических лучей. Ч. 1: Ядерно-физический аспект. М.: Мир, 1973. 701 с.

Berkova M., Belov A., Eroshenko E., Yanke V. Temperature effect of the muon component of cosmic ray and practical possibilities its accounting // Proc. of the 21st ECRC. 2008. P. 123–126.

Duperier A. The meson intensity at the surface of the Earth and the temperature at the production level // Proc. Phys. Soc. 1949. Vol. 62A, N 11. P. 684.

REFERENCES

- Berkova M., Belov A., Eroshenko E., Yanke V. Temperature effect of the muon component of cosmic ray and practical possibilities its accounting. *Proc. of the 21st ECRC*. 2008, pp. 123–126.
- Dmitrieva A.N., Kokoulin R.P., Petrukhin A.A., Timashev D.A. Temperature coefficients for muons under different zenith angles. *Izvestiya RAN. Ser. Fizicheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics]. 2009, vol. 73, no. 3, pp. 371–374. (In Russian).
- Dorman L.I. *Variatsii kosmicheskikh luchej* [Variations of Cosmic Rays]. Moscow, Gostechizdat Publ., 1957, 285 p. (In Russian).
- Dorman L.I., Feinberg E.L. Variations of cosmic rays. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Soviet Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)]. 1956, iss. 59, pp. 189–228. (In Russian).
- Dorman L.I., Yanke V.G. On theory of meteorological effects of cosmic rays. *Izvestiya AN. Ser. Fizicheskaya*. [Bulletin of the Academy of Sciences of USSR. Physics]. 1971, vol. 35, no. 12, pp. 2556–2570. (In Russian).
- Duperier A. The meson intensity at the surface of the Earth and the temperature at the production level. *Proc. Phys. Soc.* 1949, vol. 62A, no. 11, pp. 684.
- Karelin A.V., Adriani O., Bar'arino Dzh., Bazilevskaya G.A., et al. Measurements of the fluxes of protons and high-energy helium nuclei. *Izvestiya RAN. Ser. Fizicheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics]. 2011, vol. 75, no. 3, pp. 356–359. (In Russian).
- Khayakava S. *Fizika kosmicheskikh luchej. Chast' 1: Yaderno-fizicheskii aspekt*. [Cosmic Ray Physics. Pt. 1: The Nuclear Physics Aspect]. Moscow, Mir Publ., 1973, 701 p. (In Russian). English edition: *Cosmic Ray Physics: Nuclear and Astrophysical Aspects*. Wiley-Interscience, 1969, 774 p.
- Kochanov A.A. *Spektry i zenitno-uglovye raspredeleniya muonov vysokikh energii kak reshenie zadachi o prokhozhdanii kosmicheskikh luchej cherez atmosferu Zemli: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata fiziko-matenatichekikh nauk* [Spectra and Zenith Angular Distributions of High-energy Muons as a Solution to the Problem of the Passage of Cosmic Rays through the Earth's Atmosphere: Cand. Sci. (Phys.&Math.) Diss.]. Irkutsk, IGU Publ., 2008, 99 p. (In Russian).
- Kuz'min A.I. *Variatsii kosmicheskikh luchej vysokikh energii* [Variations of High Energy Cosmic Rays]. Moscow, Nauka Publ., 1964, 125 p. (In Russian).
- Murzin V.S. *Astrofizika kosmicheskikh luchej* [Astrophysics of Cosmic Rays]. Moscow, Logos Publ., 2007, 486 p. (In Russian).
- Murzin V.S., Sarycheva L.I. *Kosmicheskie luchi i ikh vzaimodeystvie* [Cosmic Rays and Their Interaction]. Moscow, Atomizdat Publ., 1968, 391 p. (In Russian).
- Sarycheva L.I. *Fizika vysokikh energii i elementarnye chastitsy: spetskurs* [Physics of High Energies and Elementary Particles. Special Course]. Moscow, MGU Publ., 2007, 121 p. (In Russian).
- Sarycheva L.I. *Fizika fundamentalnykh vzaimodeystvii: spetskurs*. [Physics of Fundamental Interactions. Special Course]. Moscow, MGU Publ., 2007, 158 p. (In Russian).
- Volkova L.V. The temperature effect of the integral flux of cosmic-ray muons at high energies. *Izvestiya RAN. Ser. Fizicheskaya*. [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics]. 2013, vol. 77, no. 11, pp. 1584–1586. (In Russian).

Как цитировать эту статью

Кузьменко В.С., Янчуковский В.Л. Распределение плотности температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере. *Солнечно-земная физика*. 2017. Т. 3, № 4. С. 104–116. DOI: 10.12737/szf-34201710.

Приложение

Таблица 3

Плотность температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере, регистрируемых на уровне моря (Новосибирск) под различными зенитными углами, при пробеге поглощения протонов $L=110 \text{ г/см}^2$ и пионов $l=70 \text{ г/см}^2$

Глубина атм-ры h , мбар	Зенитный угол, θ , °						
	0	30	40	50	60	67	71
40	-0.31212	-0.35456	-0.3856	-0.41826	-0.43064	-0.40305	-0.34815
70	-0.28198	-0.30946	-0.32671	-0.34089	-0.3408	-0.33636	-0.33344
100	-0.25977	-0.28091	-0.29424	-0.30746	-0.32065	-0.34557	-0.36922
130	-0.24593	-0.26516	-0.27856	-0.29539	-0.32023	-0.35538	-0.37906
160	-0.23807	-0.25716	-0.27158	-0.29139	-0.3205	-0.35189	-0.3654
190	-0.23408	-0.25339	-0.26846	-0.28914	-0.31633	-0.33791	-0.34047
220	-0.23317	-0.25241	-0.26728	-0.2867	-0.30808	-0.3187	-0.31276
250	-0.23351	-0.25204	-0.26586	-0.28246	-0.29653	-0.29768	-0.28626
280	-0.23383	-0.25105	-0.26318	-0.27619	-0.28305	-0.27709	-0.2626
310	-0.23379	-0.24925	-0.25932	-0.26849	-0.26901	-0.25811	-0.24214
340	-0.23329	-0.24667	-0.25453	-0.25998	-0.25529	-0.24117	-0.22467
370	-0.23232	-0.24348	-0.24911	-0.25118	-0.24238	-0.22628	-0.20978
400	-0.23096	-0.23984	-0.24336	-0.24244	-0.23052	-0.21329	-0.19705
430	-0.22929	-0.23593	-0.23749	-0.23404	-0.21979	-0.20199	-0.18611
460	-0.22742	-0.23192	-0.2317	-0.22612	-0.21018	-0.19213	-0.17665
490	-0.22545	-0.22792	-0.22612	-0.21877	-0.20162	-0.18353	-0.16841
520	-0.22346	-0.22405	-0.22086	-0.21205	-0.19403	-0.17599	-0.1612
550	-0.22154	-0.22038	-0.21597	-0.20597	-0.18731	-0.16937	-0.15486
580	-0.21976	-0.21699	-0.2115	-0.20051	-0.18137	-0.16353	-0.14926
610	-0.21818	-0.21392	-0.20748	-0.19565	-0.17613	-0.15838	-0.14429
640	-0.21686	-0.21122	-0.20393	-0.19138	-0.17153	-0.15383	-0.13988
670	-0.21584	-0.20891	-0.20085	-0.18765	-0.16749	-0.14981	-0.13595
700	-0.21518	-0.20702	-0.19824	-0.18445	-0.16397	-0.14625	-0.13245
730	-0.21492	-0.20557	-0.19611	-0.18175	-0.16092	-0.14311	-0.12933
760	-0.2151	-0.20459	-0.19447	-0.17953	-0.15831	-0.14036	-0.12655
790	-0.21578	-0.2041	-0.19331	-0.17777	-0.15609	-0.13795	-0.12408
820	-0.21701	-0.20413	-0.19264	-0.17647	-0.15426	-0.13586	-0.12189
850	-0.21887	-0.20471	-0.1925	-0.17562	-0.15279	-0.13407	-0.11996
880	-0.22143	-0.20591	-0.19288	-0.17522	-0.15166	-0.13257	-0.11828
910	-0.22481	-0.20776	-0.19385	-0.17528	-0.15088	-0.13133	-0.11681
940	-0.2291	-0.21036	-0.19542	-0.17582	-0.15043	-0.13035	-0.11556
970	-0.23422	-0.21372	-0.19766	-0.17687	-0.15033	-0.12962	-0.11452
1000	-0.23127	-0.21593	-0.20018	-0.17843	-0.15058	-0.12914	-0.11367

Таблица 4

Плотность температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере, регистрируемых на уровне моря (Новосибирск) под различными зенитными углами, при пробеге поглощения протонов $L=110 \text{ г/см}^2$ и пионов $l=90 \text{ г/см}^2$

Глубина атм-ры h , мбар	Зенитный угол, θ , °						
	0	30	40	50	60	67	71
40	-0.32714	-0.37589	-0.41366	-0.45824	-0.49223	-0.48824	-0.44973
70	-0.30395	-0.33806	-0.36149	-0.38476	-0.3959	-0.39583	-0.38968
100	-0.28374	-0.31005	-0.32745	-0.34513	-0.35983	-0.37867	-0.39365
130	-0.26921	-0.29173	-0.30704	-0.32455	-0.34532	-0.37162	-0.38783
160	-0.25933	-0.27999	-0.29462	-0.31267	-0.3355	-0.35893	-0.36753
190	-0.25278	-0.27229	-0.28641	-0.30406	-0.32476	-0.34034	-0.34009
220	-0.24904	-0.2675	-0.28077	-0.29673	-0.31241	-0.31894	-0.31157
250	-0.24666	-0.26381	-0.27572	-0.28895	-0.29844	-0.29699	-0.28489
280	-0.24458	-0.26009	-0.27025	-0.28021	-0.28358	-0.27603	-0.26127
310	-0.2425	-0.25609	-0.26428	-0.27084	-0.26878	-0.25695	-0.2409
340	-0.24028	-0.25178	-0.25792	-0.2612	-0.25465	-0.24	-0.22352
370	-0.23788	-0.24723	-0.25135	-0.25164	-0.24153	-0.22515	-0.20871
400	-0.23534	-0.24254	-0.24473	-0.24241	-0.22957	-0.21221	-0.19604
430	-0.23271	-0.23781	-0.23824	-0.23368	-0.21881	-0.20096	-0.18515
460	-0.23005	-0.23316	-0.23199	-0.22554	-0.20919	-0.19115	-0.17573
490	-0.22744	-0.22867	-0.22608	-0.21806	-0.20064	-0.18258	-0.16753
520	-0.22492	-0.22442	-0.22057	-0.21125	-0.19306	-0.17508	-0.16035
550	-0.22258	-0.22046	-0.2155	-0.20511	-0.18635	-0.16848	-0.15404
580	-0.22045	-0.21684	-0.2109	-0.19961	-0.18043	-0.16267	-0.14846
610	-0.21858	-0.21359	-0.20679	-0.19474	-0.17522	-0.15754	-0.14352
640	-0.21702	-0.21075	-0.20316	-0.19045	-0.17063	-0.15301	-0.13913
670	-0.21581	-0.20833	-0.20002	-0.18672	-0.1666	-0.149	-0.13521
700	-0.21498	-0.20635	-0.19737	-0.18351	-0.16309	-0.14545	-0.13173
730	-0.21457	-0.20482	-0.19521	-0.18081	-0.16005	-0.14233	-0.12862
760	-0.21464	-0.20378	-0.19354	-0.17858	-0.15744	-0.13958	-0.12585
790	-0.21521	-0.20323	-0.19235	-0.17682	-0.15523	-0.13718	-0.12339
820	-0.21635	-0.20321	-0.19166	-0.17551	-0.1534	-0.1351	-0.1212
850	-0.21812	-0.20375	-0.19149	-0.17465	-0.15192	-0.13331	-0.11928
880	-0.2206	-0.2049	-0.19185	-0.17423	-0.1508	-0.13181	-0.1176
910	-0.22389	-0.20671	-0.19279	-0.17428	-0.15001	-0.13057	-0.11614
940	-0.22809	-0.20925	-0.19433	-0.17481	-0.14956	-0.12959	-0.11489
970	-0.23306	-0.21254	-0.19653	-0.17583	-0.14945	-0.12885	-0.11384
1000	-0.2298	-0.21461	-0.19898	-0.17736	-0.14968	-0.12837	-0.11299

Таблица 5

Плотность температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере, регистрируемых на уровне моря (Новосибирск) под различными зенитными углами, при пробеге поглощения протонов $L=110 \text{ г/см}^2$ и пионов $l=100 \text{ г/см}^2$

Глубина атм-ры h , мбар	Зенитный угол, θ , °						
	0	30	40	50	60	67	71
40	-0.33243	-0.38345	-0.42367	-0.47265	-0.51477	-0.51998	-0.48822
70	-0.3119	-0.34848	-0.37426	-0.40107	-0.41682	-0.41902	-0.41219
100	-0.29257	-0.32088	-0.33991	-0.35948	-0.37517	-0.39209	-0.40395
130	-0.27792	-0.30177	-0.31792	-0.33589	-0.35541	-0.37849	-0.39178
160	-0.26738	-0.28874	-0.30356	-0.3211	-0.3417	-0.36205	-0.36864
190	-0.25993	-0.27962	-0.29347	-0.31008	-0.32835	-0.34151	-0.34008
220	-0.25516	-0.27342	-0.28614	-0.30083	-0.31432	-0.31917	-0.31115
250	-0.25177	-0.26846	-0.27969	-0.29164	-0.29932	-0.29678	-0.28438
280	-0.24879	-0.26369	-0.27313	-0.28192	-0.28388	-0.27565	-0.26075
310	-0.24593	-0.25884	-0.26632	-0.27186	-0.26875	-0.2565	-0.24041
340	-0.24304	-0.25385	-0.25933	-0.26175	-0.25443	-0.23955	-0.22306
370	-0.24009	-0.24876	-0.25228	-0.25188	-0.24121	-0.22471	-0.20828
400	-0.23708	-0.24364	-0.24532	-0.24244	-0.22921	-0.21179	-0.19564
430	-0.23407	-0.23859	-0.23857	-0.23356	-0.21842	-0.20055	-0.18477
460	-0.2311	-0.23368	-0.23214	-0.22533	-0.2088	-0.19076	-0.17537
490	-0.22823	-0.22899	-0.22609	-0.21779	-0.20025	-0.18221	-0.16718
520	-0.22551	-0.22458	-0.22047	-0.21094	-0.19268	-0.17471	-0.16002
550	-0.22299	-0.22051	-0.21533	-0.20478	-0.18598	-0.16813	-0.15372
580	-0.22072	-0.21679	-0.21068	-0.19927	-0.18007	-0.16233	-0.14815
610	-0.21874	-0.21347	-0.20652	-0.19438	-0.17486	-0.15721	-0.14321
640	-0.21708	-0.21057	-0.20286	-0.19009	-0.17027	-0.15268	-0.13883
670	-0.21579	-0.2081	-0.1997	-0.18635	-0.16625	-0.14868	-0.13492
700	-0.2149	-0.20609	-0.19704	-0.18314	-0.16275	-0.14514	-0.13144
730	-0.21444	-0.20453	-0.19486	-0.18044	-0.15971	-0.14202	-0.12834
760	-0.21445	-0.20346	-0.19317	-0.17821	-0.1571	-0.13927	-0.12557
790	-0.21499	-0.20289	-0.19198	-0.17644	-0.15489	-0.13688	-0.12311
820	-0.21609	-0.20285	-0.19128	-0.17513	-0.15306	-0.13479	-0.12093
850	-0.21782	-0.20338	-0.1911	-0.17427	-0.15159	-0.13301	-0.11901
880	-0.22027	-0.20451	-0.19145	-0.17385	-0.15046	-0.13151	-0.11733
910	-0.22353	-0.2063	-0.19237	-0.17389	-0.14967	-0.13027	-0.11587
940	-0.22769	-0.20882	-0.19391	-0.17441	-0.14921	-0.12928	-0.11462
970	-0.23261	-0.21208	-0.19609	-0.17543	-0.1491	-0.12855	-0.11358
1000	-0.22923	-0.2141	-0.19852	-0.17695	-0.14933	-0.12806	-0.11272

Таблица 6

Плотность температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере, регистрируемых на уровне моря (Новосибирск) под различными зенитными углами, при пробегах поглощения протонов $L=110 \text{ г/см}^2$ и пионов $l=110 \text{ г/см}^2$

Глубина атм-ры h , мбар	Зенитный угол, θ , °						
	0	30	40	50	60	67	71
40	-0.33678	-0.38968	-0.43195	-0.48461	-0.53363	-0.5468	-0.52101
70	-0.31852	-0.35719	-0.38497	-0.41483	-0.43467	-0.43907	-0.43191
100	-0.29999	-0.33003	-0.35047	-0.37174	-0.38845	-0.40394	-0.41322
130	-0.28528	-0.31031	-0.32723	-0.34568	-0.36428	-0.38467	-0.39545
160	-0.27424	-0.29623	-0.31126	-0.32845	-0.34722	-0.36493	-0.36975
190	-0.26606	-0.28594	-0.2996	-0.31537	-0.33158	-0.34264	-0.34013
220	-0.26043	-0.27855	-0.29083	-0.30447	-0.31607	-0.31942	-0.31082
250	-0.25618	-0.27251	-0.28317	-0.29405	-0.30016	-0.29662	-0.28393
280	-0.25244	-0.26684	-0.27566	-0.28345	-0.28418	-0.27533	-0.2603
310	-0.2489	-0.26125	-0.26813	-0.27278	-0.26874	-0.25612	-0.23998
340	-0.24544	-0.25566	-0.26058	-0.26226	-0.25425	-0.23916	-0.22266
370	-0.24201	-0.2501	-0.25312	-0.25211	-0.24095	-0.22433	-0.2079
400	-0.23861	-0.24462	-0.24585	-0.24247	-0.2289	-0.21142	-0.19529
430	-0.23527	-0.23927	-0.23888	-0.23347	-0.21809	-0.20019	-0.18444
460	-0.23202	-0.23414	-0.23227	-0.22516	-0.20846	-0.19042	-0.17505
490	-0.22893	-0.22928	-0.2261	-0.21756	-0.19992	-0.18188	-0.16688
520	-0.22603	-0.22474	-0.22039	-0.21068	-0.19235	-0.1744	-0.15973
550	-0.22336	-0.22055	-0.21519	-0.20449	-0.18565	-0.16782	-0.15343
580	-0.22096	-0.21676	-0.21048	-0.19897	-0.17975	-0.16203	-0.14788
610	-0.21888	-0.21337	-0.20629	-0.19407	-0.17454	-0.15692	-0.14295
640	-0.21714	-0.21042	-0.20261	-0.18978	-0.16996	-0.1524	-0.13857
670	-0.21578	-0.20791	-0.19943	-0.18604	-0.16595	-0.1484	-0.13467
700	-0.21483	-0.20586	-0.19675	-0.18282	-0.16245	-0.14486	-0.13119
730	-0.21432	-0.20428	-0.19456	-0.18012	-0.15941	-0.14175	-0.12809
760	-0.2143	-0.20319	-0.19286	-0.17789	-0.1568	-0.13901	-0.12533
790	-0.21479	-0.2026	-0.19165	-0.17612	-0.1546	-0.13661	-0.12287
820	-0.21586	-0.20254	-0.19095	-0.1748	-0.15277	-0.13453	-0.12069
850	-0.21757	-0.20305	-0.19076	-0.17394	-0.15129	-0.13275	-0.11878
880	-0.21999	-0.20416	-0.1911	-0.17352	-0.15016	-0.13125	-0.11709
910	-0.22321	-0.20594	-0.19201	-0.17355	-0.14937	-0.13001	-0.11564
940	-0.22734	-0.20844	-0.19354	-0.17407	-0.14892	-0.12902	-0.11439
970	-0.23221	-0.21168	-0.1957	-0.17508	-0.1488	-0.12829	-0.11334
1000	-0.22874	-0.21366	-0.19811	-0.17659	-0.14903	-0.1278	-0.11249

Таблица 7

Плотность температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере, регистрируемых на уровне моря и под Землей на глубине 7 м в.э. (Якутск) под зенитными углами 0, 30 и 60°, при пробеге поглощения протонов $L=110 \text{ г/см}^2$ и пионов $l=120 \text{ г/см}^2$

Глубина атм-ры h , мбар	0 м в.э.			Глубина атм-ры h , мбар	7 м в.э.		
	0	30	60		0	30	60
40	-0.3463	-0.41457	-0.66969	40	-0.29103	-0.31187	-0.25137
70	-0.33797	-0.39425	-0.57545	70	-0.25586	-0.26084	-0.16657
100	-0.32506	-0.37255	-0.51635	100	-0.22894	-0.22732	-0.15504
130	-0.31334	-0.3547	-0.47643	130	-0.21046	-0.20715	-0.16491
160	-0.3037	-0.34059	-0.44532	160	-0.19827	-0.19547	-0.17607
190	-0.296	-0.32932	-0.41834	190	-0.19043	-0.18886	-0.18253
220	-0.29027	-0.32052	-0.39403	220	-0.18592	-0.18552	-0.18394
250	-0.28568	-0.31302	-0.37139	250	-0.18311	-0.18343	-0.18102
280	-0.28157	-0.30603	-0.35027	280	-0.18085	-0.18136	-0.17512
310	-0.27773	-0.29935	-0.33087	310	-0.17871	-0.17895	-0.16762
340	-0.27409	-0.29293	-0.31331	340	-0.17646	-0.17609	-0.15949
370	-0.27062	-0.28676	-0.2976	370	-0.17404	-0.17282	-0.15135
400	-0.26733	-0.2809	-0.28368	400	-0.17143	-0.16923	-0.14355
430	-0.26425	-0.2754	-0.27143	430	-0.16865	-0.16542	-0.13627
460	-0.26144	-0.27031	-0.26071	460	-0.16576	-0.16149	-0.12958
490	-0.25893	-0.26567	-0.25138	490	-0.1628	-0.15754	-0.1235
520	-0.25678	-0.26154	-0.2433	520	-0.15982	-0.15363	-0.11799
550	-0.25504	-0.25796	-0.23635	550	-0.15686	-0.14983	-0.11301
580	-0.25376	-0.25496	-0.23042	580	-0.15398	-0.14618	-0.10852
610	-0.253	-0.25257	-0.22543	610	-0.1512	-0.1427	-0.10446
640	-0.25282	-0.25084	-0.22129	640	-0.14854	-0.13943	-0.10079
670	-0.25328	-0.2498	-0.21795	670	-0.14603	-0.13637	-0.09746
700	-0.25447	-0.2495	-0.21537	700	-0.14369	-0.13353	-0.09444
730	-0.25649	-0.25001	-0.21353	730	-0.14151	-0.13091	-0.09169
760	-0.25945	-0.2514	-0.2124	760	-0.13952	-0.12851	-0.08919
790	-0.26353	-0.25379	-0.21199	790	-0.13772	-0.12633	-0.0869
820	-0.26893	-0.25732	-0.21233	820	-0.13611	-0.12435	-0.08481
850	-0.27596	-0.26219	-0.21347	850	-0.13469	-0.12259	-0.0829
880	-0.28506	-0.26868	-0.21547	880	-0.13345	-0.12102	-0.08115
910	-0.29689	-0.27722	-0.21843	910	-0.13239	-0.11964	-0.07955
940	-0.31248	-0.28844	-0.22253	940	-0.13145	-0.11843	-0.07808
970	-0.33342	-0.30328	-0.22797	970	-0.13042	-0.11732	-0.07673
1000	-0.31394	-0.31178	-0.23509	1000	-0.12821	-0.11612	-0.0755

Таблица 8

Плотность температурных коэффициентов для мюонов в атмосфере, регистрируемых под Землей на глубине 20 и 40 м в.э. (Якутск) под зенитными углами 0, 30 и 60°, при пробеге поглощения протонов $L=110$ г/см² и пионов $l=120$ г/см²

Глубина атм-ры h , мбар	20 м в.э.			Глубина атм-ры h , мбар	40 м в.э.		
	0	30	60		0	30	60
40	-0.13358	-0.0958	0.28942	40	0.064703	0.158819	0.84925
70	-0.07302	-0.02386	0.292926	70	0.139429	0.234782	0.71185
100	-0.04169	0.003976	0.203583	100	0.16174	0.23924	0.49368
130	-0.02882	0.007893	0.111179	130	0.156512	0.2122	0.31057
160	-0.02684	-1.2E-05	0.039647	160	0.137747	0.17367	0.17981
190	-0.031	-0.01295	-0.00927	190	0.113267	0.13349	0.0932
220	-0.0386	-0.02746	-0.04016	220	0.087319	0.09617	0.03842
250	-0.04715	-0.04092	-0.05795	250	0.06285	0.064127	0.00521
280	-0.0551	-0.05206	-0.06696	280	0.041378	0.038034	-0.0140
310	-0.06189	-0.0607	-0.07048	310	0.023285	0.017489	-0.0246
340	-0.06735	-0.067	-0.07076	340	0.008461	0.001717	-0.0300
370	-0.0715	-0.07132	-0.06923	370	-0.00342	-0.01013	-0.0323
400	-0.07448	-0.07402	-0.06677	400	-0.01276	-0.01882	-0.0328
430	-0.07643	-0.07543	-0.06391	430	-0.01996	-0.02506	-0.0323
460	-0.07753	-0.07585	-0.06096	460	-0.0254	-0.02939	-0.0313
490	-0.07794	-0.07554	-0.05807	490	-0.02941	-0.03228	-0.0301
520	-0.0778	-0.0747	-0.05534	520	-0.03229	-0.03408	-0.0288
550	-0.07724	-0.07348	-0.05279	550	-0.03426	-0.03508	-0.0276
580	-0.07636	-0.07202	-0.05044	580	-0.03553	-0.03549	-0.0263
610	-0.07525	-0.07041	-0.04828	610	-0.03625	-0.03547	-0.0252
640	-0.07399	-0.06872	-0.0463	640	-0.03656	-0.03517	-0.0241
670	-0.07262	-0.06699	-0.04449	670	-0.03655	-0.03465	-0.0231
700	-0.07119	-0.06528	-0.04282	700	-0.03631	-0.034	-0.0222
730	-0.06973	-0.0636	-0.04129	730	-0.0359	-0.03327	-0.0214
760	-0.06828	-0.06197	-0.03988	760	-0.03537	-0.03249	-0.0206
790	-0.06684	-0.0604	-0.03857	790	-0.03476	-0.03169	-0.0199
820	-0.06543	-0.0589	-0.03736	820	-0.03409	-0.03089	-0.0192
850	-0.06406	-0.05748	-0.03624	850	-0.03338	-0.03009	-0.0186
880	-0.06273	-0.05613	-0.0352	880	-0.03266	-0.02932	-0.0180
910	-0.06144	-0.05484	-0.03422	910	-0.03192	-0.02857	-0.0174
940	-0.06016	-0.05362	-0.03332	940	-0.03118	-0.02784	-0.0169
970	-0.05888	-0.05246	-0.03247	970	-0.03045	-0.02714	-0.0164
1000	-0.05754	-0.05134	-0.03167	1000	-0.02972	-0.02647	-0.0160