

УДК 551.324 + 551.501.776

РАДИАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ КЛИМАТООБРАЗОВАНИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРИОД СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА



В.В. Севастьянов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Радиационные характеристики атмосферы являются одним из основных факторов формирования климата. В Алтае-Саянской горной стране по данным наблюдений актинометрических станций рассмотрены составляющие радиационного баланса. Выполнена пространственно-временная оценка региональных потенциальных ресурсов для нужд гелиоэнергетики. Рассмотрены современные тенденции изменения суммарной солнечной радиации и радиационного баланса и их влияние на современные изменения климата.

Ключевые слова: солнечная радиация, альbedo, радиационный баланс, актинометрия, орография.

Введение

Горные районы Южной Сибири играют большую роль в хозяйственной жизни России. Они характеризуются высокой концентрацией запасов полезных ископаемых и других природных ресурсов.

Климатические ресурсы, в частности тепла и влаги, создают перспективные возможности развития сельского хозяйства, особенно животноводства. В низкогорных районах климатические условия позволяют выращивать разнообразные сельскохозяйственные культуры.

До настоящего времени режим солнечной радиации в горных районах Сибири изучен недостаточно. В обобщающих работах по радиационному климату России и сопредельных государств [Пивоварова, 1977; Атлас..., 1997; Научно-прикладной..., 1990, 1993] использованы материалы наблюдений по 1980 г. Приведенные в монографических изданиях карты потоков лучистой энергии характеризуют лишь фоновое распределение радиации на равнинной территории России до высоты 800 м над уровнем моря. В горных районах действует крайне редкая сеть актинометрических станций.

Для характеристики режима солнечной радиации в Алтае-Саянской горной области использованы материалы многолетних наблюдений (1965–2015 гг.) актинометрических станций в Саянах, на Алтае и на ближайших актинометрических станциях, расположенных на равнине. Дополнительно использовались результаты экспедиционных актинометрических наблюдений в горноледниковых бассейнах Актру (Северо-Чуйский хребет), Мульты (Катунский хребет), опубликованных в разрозненных научных трудах [Тронов и др., 1965; Голещин, 1985; Ледники Актру, 1987; Севастьянов, 2009; Природные..., 2018 и др.]. Перспективы

дальнейшего освоения горных территорий требуют учета их климатических ресурсов для наиболее рационального и эффективного использования в хозяйственной деятельности. В современный период особенно актуальным становится использование возобновляемых источников энергии, в частности гелиоэнергетики, для чего необходима оценка региональных потенциальных ресурсов солнечной радиации.

Используемый материал и методика исследования

Материалом для исследования потоков лучистой энергии в Алтае-Саянской горной области послужили данные из следующих источников:

- из актинометрических ежемесячников;
- из архива актинометрических данных Западно-Сибирского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Новосибирск);
- из архивов актинометрических наблюдений Главной геофизической обсерватории (г. Санкт-Петербург);
- из материалов из справочников по климату СССР [Справочник по климату..., 1965–1970] и научно-прикладных справочников по климату СССР [Научно-прикладной справочник..., 1990–1993];
- из результатов метеорологических и актинометрических наблюдений Алтайских гляциологических экспедиций в бассейне Актру (Северо-Чуйский хребет) в период проведения работ по программам Международный Геофизический Год (МГГ), Международное Гидрологическое Десятилетие (МГД), Международная Гидрологическая Программа (МГП) и в долинах Мульты, Аккема, Кочурлы (Катунский хребет).

Список актинометрических станций и экспедиционных пунктов наблюдений приведен в табл. 1.

Таблица 1

Актинометрические станции в пределах Алтае-Саянской горной области

Table 1

Actinometric stations within the Altai-Sayan mountain region

Станции	Широта северная, градусы	Долгота восточная, градусы	Высота над уровнем моря, м	Местоположение
Хакасская	53,8	91,5	250	Минусинская котловина
Кызыл	51,7	94,4	626	Тувинская котловина
Хомутово	52,5	104,4	454	Восточные Саяны
Ильчир	52,1	101,1	2083	Восточные Саяны
Кузедеево	53,3	87,2	291	Горная Шория
Кош-Агач	50,0	88,6	1758	Чуйская котловина
Буран	48,0	85,2	409	Зайсанская котловина
Актру	50,1	87,7	2150	Северо-Чуйский хребет
Мульта	49,7	86,0	1750	Катунский хребет

В работе использованы современные методы климатической обработки показателей солнечной радиации, методы математической статистики, регрессионного и корреляционного анализа. Оценивались показатели статистической значимости коэффициентов корреляции относительно нуля, коэффициентов линейных трендов сумм солнечной радиации и радиационного баланса с помощью t-критерия Стьюдента.

Обсуждение результатов

Солнечная радиация практически определяет развитие всех процессов, происходящих в географической оболочке Земли, в том числе и энергетику системы Земля–атмосфера. Солнечная радиация играет огромную роль в жизни растений, без нее невозможно выяснить генезис высотно-ландшафтных поясов, режим и динамику снежно-ледовых образований. Все

это определяет необходимость учета влияния большого числа факторов, влияющих на радиационный режим в горных условиях Сибири.

Прозрачность атмосферы

Одним из важнейших показателей, характеризующих режим солнечной радиации, является прозрачность атмосферы. Изменение прозрачности атмосферы влияет на интенсивность солнечной радиации, изменчивость ее суточных, месячных и годовых сумм, которые подвержены как периодическим, так и непериодическим колебаниям. Вопросу изучения прозрачности атмосферы в Алтае-Саянской области посвящено очень мало работ [Ревякин и др., 1979; Голещихин, 1985; Севастьянова, Никольченко, 2012].

Средние многолетние за месяц и за год величины коэффициента прозрачности атмосферы на Алтае и в Саянах показаны в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты прозрачности атмосферы (P) в полдень, при солнечной постоянной (S_0), равной 1,37 кВт/м². Масса атмосферы равна 2

Table 2

Atmospheric transparency coefficients (P) at noon, at the solar constant (S_0), equal to 1,37 kW/m². The mass of the atmosphere is 2

Станции	Высота, м	Месяц				Среднее за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	0,728	0,756	0,721	0,779	0,746
Ильчир	2083	0,822	0,766	0,730	0,802	0,781
Кызыл	626	0,795	0,782	0,735	0,798	0,778
Кош-Агач	1757	0,820	0,792	0,765	0,807	0,799
Буран	409	0,801	0,779	0,759	0,810	0,786
Хомутово	454	0,822	0,764	0,750	0,799	0,783
Мульта	1750	0,829	0,773	0,778	0,829	0,803
Р _{сред.} 50°		0,805	0,759	0,757	0,785	0,775

Из анализа таблицы следует, что на всех горных станциях коэффициент прозрачности воздуха принимает максимальные значения в зимние месяцы и минимальные – летом. В зимний период максимальная прозрачность атмосферы объясняется низким влажностью и уменьшенным количеством аэрозолей в воздухе по сравнению с летним периодом.

С увеличением высоты увеличивается прозрачность атмосферы, а также отмечается постепенное уменьшение амплитуды годового хода коэффициента прозрачности. Это объясняется уменьшением с высотой доли аэрозольной и влажной составляющих в общем ослаблении солнечной радиации в атмосфере.

Отметим, что прозрачность атмосферы в высокогорных районах довольно высока (рис. 1), выше, чем средняя прозрачность (P_0) для северной широты 50° .

Другой характеристикой прозрачности атмосферы принят фактор мутности Линке, который отражает соотношение между прозрачностью реальной и «идеальной» атмосферы, в которой ослабление солнечной радиации связано лишь с молекулярным рассеянием [Руководство..., 1973]. Фактор мутности исключает эффект зависимости от массы атмосферы,

связанный с избирательностью молекулярного рассеяния, что необходимо учитывать при сравнении прозрачности атмосферы в горных условиях [Кондратьев, 1965]. Этот показатель изменяется в течение года зеркально по отношению к годовому ходу коэффициента прозрачности атмосферы. С увеличением высоты уменьшаются сезонные различия фактора мутности. Его максимум приходится на летние месяцы, когда увеличиваются влагосодержание воздуха и загрязнение пылью и другими аэрозольными частицами.

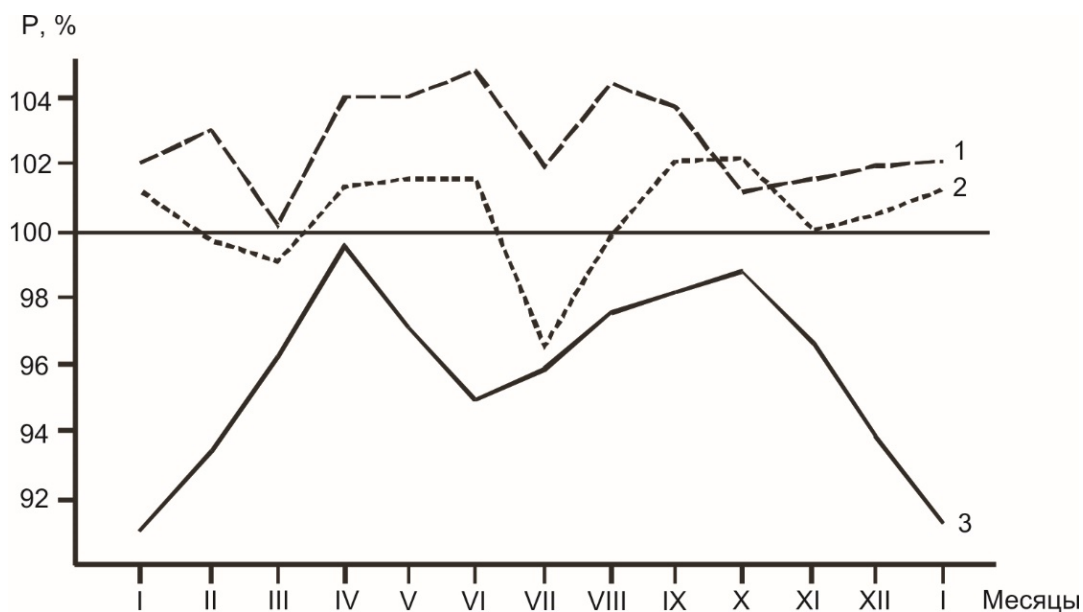


Рис. 1. Годовой ход отношения коэффициента прозрачности (P) на станциях к средним значениям (P_0), рассчитанным для 50° с.ш., %
1 – Кош-Агач; 2 – Ильчир; 3 – Хакасская

Fig. 1. Annual progress of the ratio of the transparency coefficient (P) at stations to the average values (P_0) calculated for 50° n.l., %
1 – Kosh-Agach; 2 – Ilchir; 3 – Khakasskaya

По результатам актинометрических наблюдений на станциях сделан анализ влияния абсолютной высоты местности на общее ослабление солнечной радиации атмосферой. Получены соотношения влияния каждого из ослабляющих компонент, а именно: молекулярного, аэрозольного ослабления и ослабления за счет водяного пара. Величина общего ослабления солнечной радиации определялась по следу-

ющей формуле, предложенной в работе [Пивоварова, 1977]:

$$\Delta S_{\text{общ}} = \Delta S_{\text{м}} + \Delta S_{\text{в}} + \Delta S_{\text{а}}, \quad (1)$$

где $\Delta S_{\text{м}}$ – молекулярное рассеяние, Вт/м²; $\Delta S_{\text{в}}$ – ослабление водяным паром, Вт/м²; $\Delta S_{\text{а}}$ – ослабление аэрозолями, Вт/м².

Характеристики фактора мутности на станциях Алтае-Саянской горной области приведены в табл. 3.

Таблица 3

Фактор мутности атмосферы, T

Table 3

Atmospheric turbidity factor, T

Станции	Высота, м	Месяц				Среднее за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	3,17	2,80	3,27	2,50	2,93
Ильчир	2083	1,94	2,66	3,12	2,22	2,47
Кызыл	626	2,30	2,46	3,08	2,26	2,53
Кош-Агач	1757	1,98	2,34	2,66	2,14	2,24
Буран	409	2,22	2,50	2,76	2,10	2,42

Для оценки общего ослабления солнечной радиации и его составляющих в атмосфере в горных районах Сибири использовались результаты наблюдений за прямой солнечной радиацией. Общее уменьшение солнечной радиации атмосферой $\Delta S_{\text{общ}}$ находилось как разность между величиной солнечной постоянной и измеренными значениями прямой солнечной радиации:

$$\Delta S_{\text{общ}} = S_0 - S, \quad (2)$$

где S_0 – солнечная постоянная, Вт/м²; S – прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную поверхность, Вт/м².

Для получения сравнимых показателей на станциях, расположенных на разных высотах, проводилось приведение интенсивности прямой солнечной радиации к одной и той же массе атмосферы ($m = 2$).

Интенсивность прямой солнечной радиации в «идеальной» (чистой и сухой) атмосфере ослабляется лишь за счет рассеяния на молекулах газов. Эта величина (ΔS_m) составляет 0,22–0,26 кВт/м² при массе атмосферы, равной 2 [Сивков, 1968; Руководство..., 1973; Теплово..., 1985]. Поглощение радиации водяным паром ΔS_v рассчитывалось по следующей формуле [Зверева, 1969]:

$$\Delta S_v = 0,184 \cdot (m \cdot w)^{0,27}, \quad (3)$$

где m – масса атмосферы; w – количество водяного пара в единичном воздушном столбе (сконденсированная влага), см.

Высота слоя сконденсированной воды определялась по формуле [Смирнов, 2017]

$$w = 0,23 \cdot e, \quad (4)$$

где w – слой сконденсированной воды, см; e – парциальное давление водяного пара у поверхности земли, гПа.

Влагосодержание атмосферы до уровня 300 гПа определялась по методу, предложенному О.А. Дроздовым [Дроздов, 1966]. Удельная влажность воздуха в атмосфере над горными районами определялась по данным аэрологических наблюдений [Новый аэрологический..., 1986].

Аэрозольное ослабление радиации ΔS_a находилось как остаточный член из уравнения (1):

$$\Delta S_a = \Delta S_{\text{общ}} - \Delta S_m - \Delta S_v, \quad (5)$$

В годовом ходе общего ослабления солнечной радиации $\Delta S_{\text{общ}}$ и его составляющих на разных высотах прослеживаются особенности, а также выделяется зависимость от высоты местности (табл. 4). В зимние месяцы на всех актинометрических станциях отмечаются минимальные значения общего ослабления солнечной радиации. В летний период значения $\Delta S_{\text{общ}}$ достигает максимума вследствие увеличения запыленности и влагосодержания атмосферы. В высокогорных районах наблюдаются более резкие различия в поглощении потоков лучистой энергии в зимний и летний сезоны по сравнению с предгорными и низкогорными районами.

Таблица 4

Общее ослабление солнечной радиации атмосферой ($\Delta S_{\text{общ}}$), Вт/м²

Table 4

General attenuation of solar radiation by the atmosphere ($\Delta S_{\text{общ}}$), W/m²

Станции	Высота, м	Месяцы				Среднее за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	649	593	665	543	614
Ильчир	2083	447	572	6423	495	538
Кызыл	626	510	536	635	503	544
Кош-Агач	1757	450	518	572	482	503
Буран	409	497	545	586	475	524

Поглощение солнечной радиации водяным паром ΔS_v уменьшается с высотой местности. Средние значения ΔS_v колеблются в пределах 80–210 Вт/м², уменьшаясь в среднем за год при подъеме на 1,5 км

на 14–17% (табл. 5). Значения солнечной радиации, поглощенной водяным паром, зависят от особенностей распределения влагосодержания атмосферы и уменьшаются с высотой от 150 до 120 Вт/м².

Таблица 5

Ослабление солнечной радиации водяным паром (ΔS_v), Вт/м²

Table 5

Attenuation of solar radiation by water vapor (ΔS_v), W/m²

Станции	Высота, м	Месяцы				Среднее за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	119	155	218	160	171
Ильчир	2083	97	133	188	133	140
Кызыл	626	75	149	207	151	161
Кош-Агач	1757	84	140	181	140	133
Буран	409	112	163	213	161	162

В годовом ходе аэрозольной мутности (ΔS_a) наблюдается асимметрия. Поглощение солнечной радиации аэрозолями осенью меньше, чем весной. Особенностью годового хода аэрозольной мутности в атмосфере в предгорьях является тот факт, что максимальные ее

значения фиксируются летом, тогда как в высокогорье максимум мутности отмечается весной. Это связано со значительным вымыванием аэрозоля в горах на больших высотах в летние месяцы, когда выпадает наибольшее количество осадков.

Таблица 6

Ослабление солнечной радиации аэрозолями (ΔS_a), Вт/м²

Table 6

Attenuation of solar radiation by aerosols (ΔS_a), W/m²

Станции	Высота, м	Месяц				Среднее за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	302	202	209	148	207
Ильчир	2083	112	202	217	127	162
Кызыл	626	197	151	192	116	147
Кош-Агач	1757	133	140	155	106	127
Буран	409	146	145	137	78	126

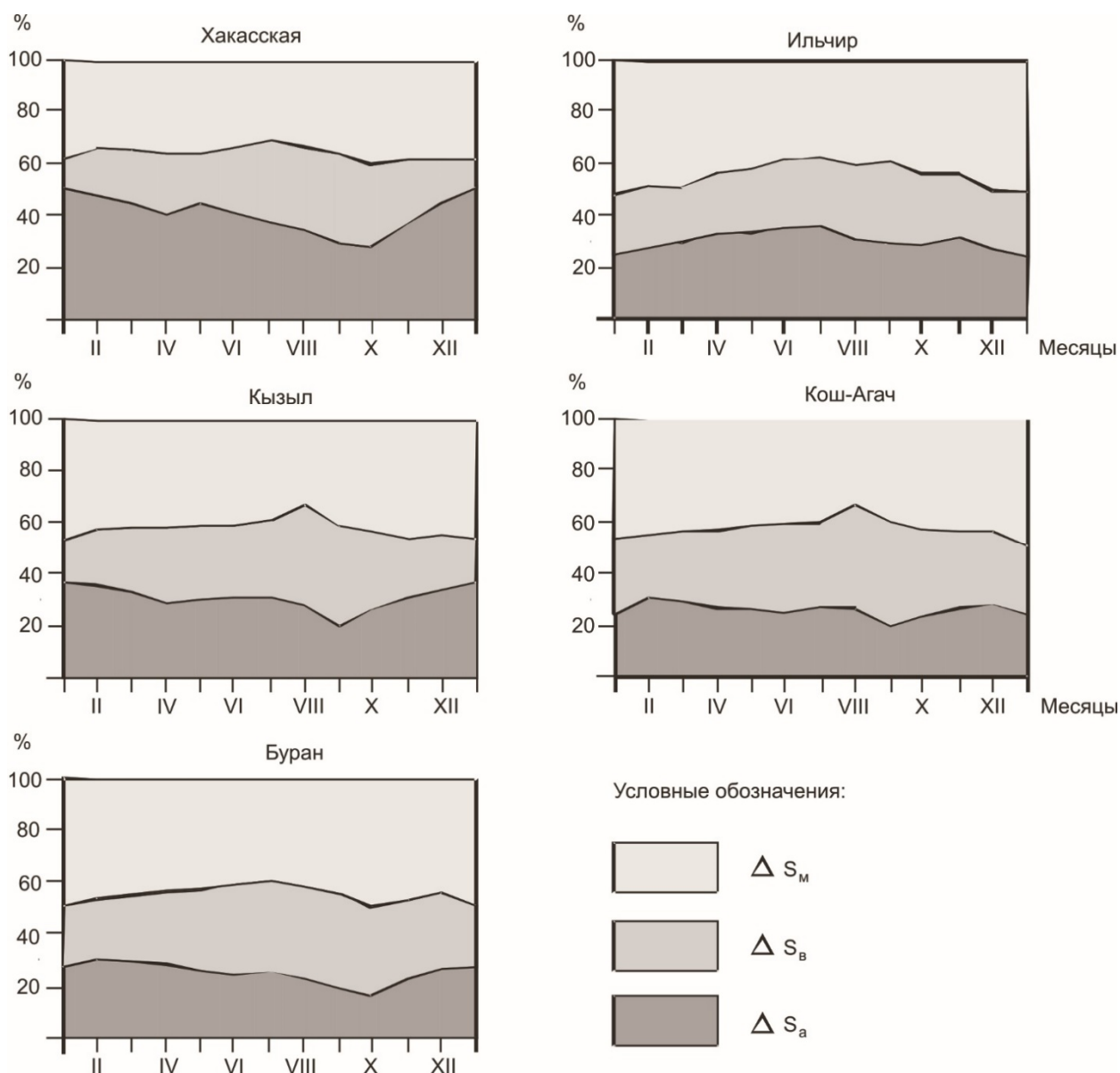


Рис. 2. Ослабление прямой солнечной радиации в атмосфере за счет рассеяния: молекулярного – ΔS_m , водяным паром – ΔS_v , аэрозолями – ΔS_a

Fig. 2. Attenuation of direct solar radiation in the atmosphere due to scattering: molecular – ΔS_m , water vapor – ΔS_v , aerosols – ΔS_a

Средние месячные значения и годовое значение аэрозольного помутнения (ΔS_a) на разных станциях приведены в табл. 6. С высотой аэрозольное помутнение значительно уменьшается; в среднем за год при подъеме на 1,5 км оно снижается на 9–11%. Отмечается уменьшение амплитуды аэрозольного помутнения с высотой.

Изменение относительной доли ослабляющих радиацию компонентов в общем ослаблении солнечной радиации атмосферой представлено на рис. 2.

В среднем за год за счет ослабления на молекулах газов (ΔS_m) солнечная радиация уменьшается в горных районах на 37–53%. С увеличением высоты уменьшаются абсолютные значения, но увеличивается процентный вклад в $\Delta S_{\text{общ}}$ в результате ослабления аэрозольной и влажной составляющих.

Доля поглощения солнечной радиации водяным паром (ΔS_v) составляет в среднем за год 24–30% от $\Delta S_{\text{общ}}$, постепенно увеличиваясь в летнее время.

Доля солнечной радиации за счет аэрозольного ослабления (ΔS_a) уменьшается от 20 до 30% в течение года. Наименьшее ее влияние приходится на осенний период.

Прозрачность атмосферы над Алтае-Саянской горной областью выше, чем в среднем для соответствующих широт в северном полушарии. Это подтверждает приводимые ранее сведения, что над горными районами прозрачность атмосферы выше, чем на той же высоте в свободной атмосфере [Кондратьев, 1965]. Этому способствует увеличенное, как правило, количество осадков в горах по сравнению с равнинами. Осадки способствуют уменьшению количества аэрозолей в атмосфере в горах.

Изучение пространственного распределения фактора мутности (T) в пределах Алтае-Саянской горной области показало, что он большую часть года возрастает с юга на север в среднем на 0,1 на 100 км. Данный факт отличается от выводов, сделанных К.Я. Кондратьевым [Кондратьев, 1965. С. 267], что прозрачность атмосферы понижается к югу. Это связано с тем, что северная часть предгорий Алтае-Саянской горной области более освоена в промышленном отношении, в то время как на юге территории наблюдается сочетание больших абсолютных высот, засушливости климата и ненарушенных комплексов горных ландшафтов.

Фактор мутности уменьшается в направлении с запада на восток в среднем на 0,01/100 км по мере увеличения высоты местности.

Повышенные значения прозрачности атмосферы в горных районах Алтая и Саян во многом определяют увеличение потенциальных возможностей прихода лучистой энергии.

Прямая солнечная радиация

Алтае-Саянская горная область располагается между 48–56° с.ш. и характеризуется относительно

большой высотой солнца летом (до 66°) и продолжительным светлым временем суток (до 17 ч). Это определяет значительные суммы солнечной радиации в летние месяцы. Зимой приход солнечной радиации значительно меньше (высота солнца только 13–16°).

Большие размеры горной страны в направлении с юга на север определяют существенные различия в приходе радиации. Высота солнца в полдень на северной границе горной области на 8° ниже, чем на южной. Широтные различия продолжительности светлого времени суток увеличивают период инсоляции на 1,5–2,0 ч в южных районах горной области по сравнению с северными. Максимальная продолжительность солнечного сияния наблюдается в юго-западных предгорьях Алтая. На ст. Буран отмечается в среднем 2 778 ч за год. Очень много часов солнечного сияния отмечается в высокогорных котловинах юго-восточного Алтая. На ст. Кош-Агач этот показатель равен 2 634 ч [Научно-прикладной..., 1993]. Значительно меньшие суммы часов продолжительности солнечного сияния наблюдаются на других горных станциях. Увеличенное количество облачности, разная степень закрытости горизонта на большинстве станций ограничивают продолжительность солнечного сияния за год до 1 800–2 200 ч.

Приход прямой солнечной радиации определяется облачностью, степенью закрытости горизонта, прозрачностью атмосферы. Потенциальные возможные годовые суммы прямой радиации при отсутствии облачности на этих широтах могут достигать 5 030–5 870 МДж/м². При действительной облачности годовые суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность в пределах Алтае-Саянской горной области изменяются в очень больших пределах: от 2 120 до 3 654 МДж/м² (табл. 7).

Наибольшие суммы прямой солнечной радиации наблюдаются на ст. Буран (Зайсанская котловина), наименьшие суммы – в северных предгорьях Саян. В высокогорных котловинах (станция Кош-Агач) также наблюдаются большие суммы прямой радиации, хотя и меньшие, чем в южных предгорьях.

На высокогорных станциях (Актру, Ильчир) приход прямой радиации составляет 2 271–2 564 МДж/м² из-за значительного ослабления ее облачностью и закрытости горизонта.

Значительные различия в суммах прямой радиации объясняются не только широтой местности и разностью высот, но и различной продолжительностью солнечного сияния, местными циркуляционными условиями, степенью закрытости горизонта. Для горных районов важным является представление об изменении потоков лучистой энергии с высотой. Использование данных сетевых актинометрических станций для этих целей в большинстве случаев не подходит, так как они расположены довольно редко. Очень ценными в этом отношении являются относительно кратковременные экспедиционные актино-

метрические наблюдения. В период экспедиционных работ определялся вертикальный градиент интенсивности прямой солнечной радиации в разных близлежащих пунктах наблюдений с большим перепадом высот в горноледниковом бассейне Актру [Тронов и др., 1965], а также в бассейнах Мульты и Аккема

[Голешихин, 1985]. Средняя величина вертикального градиента прямой солнечной радиации составляет около 7 (Вт/м²)/100 м. Величина этого показателя в разных горных районах примерно совпадает и изменяется в пределах точности измерений интенсивности прямой солнечной радиации.

Таблица 7

Средние месячные и годовые суммы прямой солнечной радиации
на горизонтальную поверхность, МДж/м²

Table 7

Average monthly and annual amounts of direct solar radiation to a horizontal surface, MJ/m²

Станции	Высота, м	Месяцы				Сумма за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	21	232	382	88	2120
Кузедеево	290	30	240	396	75	2144
Ильчир	2083	86	318	284	167	2564
Кызыл	626	42	313	414	147	2812
Кош-Агач	1757	103	410	462	224	3623
Актру	2150	0	294	341	117	2271
Буран	409	92	385	528	210	3654

Величины вертикальных градиентов годовых сумм прямой радиации имеют ограниченное применение. В литературе, посвященной изучению лучистой энергии в горах, отмечено, что существует большой разброс в величинах этих градиентов. Например, в восточной части Закавказья средняя величина вертикального градиента составляет 40 (МДж/м²)/100 м [Шихлинский, 1966], в Карпатах – 80 (МДж/м²)/100 м [Тепловой..., 1985]. На Алтае и в Саянах в зависимости от выбранных пар станций значения вертикального градиента годовых сумм прямой радиации могут меняться от 15 до 73 (МДж/м²)/100 м. Найти пары станций, расположенных на разных высотах, в сходных условиях рельефа и находящихся близко друг к другу, невозможно при современной плотности сети станций. Поэтому следует отметить ограниченные возможности использования расчетных методов для оценки сумм поступающей прямой солнечной радиации. В реальных условиях необходимо проведение специализированных микроклиматических наблюдений.

Рассеянная радиация

Вклад рассеянной радиации является существенным в общем поступлении солнечной энергии. В вы-

сокогорных областях в среднем за год эта доля составляет около 36–40%. Суммы рассеянной радиации отличаются относительно большой изменчивостью. Максимальные значения рассеянной радиации на большинстве станций наблюдаются в летние месяцы. На высокогорных станциях (Актру, Ильчир) наибольшие ее значения наблюдаются весной. Наименьшие значения рассеянной радиации отмечаются в зимний период (табл. 8). Годовые суммы рассеянной радиации на исследуемой территории изменяются в пределах 1 816–2 432 МДж/м². Это примерно на 10–20% больше, чем на равнине, что объясняется увеличением облачности в горных условиях.

По мере увеличения высоты местности суммы рассеянной радиации имеют тенденцию к увеличению. Это связано прежде всего с возрастанием степени открытости горизонта, большим количеством облаков на небосводе, более длительным залеганием снежного покрова, которое способствует вторичному отражению потоков лучистой энергии за счет повышенных значений альбедо подстилающей поверхности.

Относительно малые значения сумм рассеянной радиации фиксируются в горных котловинах из-за уменьшенной облачности над ними и малых сумм осадков. В котловинах, как правило, наблюдается малая высота снежного покрова.

Таблица 8

Средние месячные и годовые суммы рассеянной солнечной радиации, МДж/м²

Table 8

Average monthly and annual amounts of scattered solar radiation, MJ/m²

Станции	Высота, м	Месяцы				Сумма за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	55	212	230	104	1816
Кузедеево	290	73	254	265	113	2108
Ильчир	2083	77	324	287	148	2432
Кызыл	626	85	214	268	126	2148
Кош-Агач	1757	86	236	263	127	2099
Актру	2150	59	261	248	130	2062
Буран	409	93	203	237	115	1962

На интенсивность рассеянной радиации оказывает большое влияние облачность, причем не только количество, но и ее форма. В среднем при ясной погоде величина рассеянной радиации составляет около 10% от величины прямой радиации. При облачности верхнего и среднего ярусов ее величина значительно возрастает, более чем в два раза. При сплошной низкой облачности ее интенсивность вновь уменьшается и лишь немного превышает значения при ясном небе.

В ясную погоду при малых значениях рассеянной радиации особенно заметно влияние различной экспозиции склонов на приход солнечной радиации.

Наибольшие значения интенсивности рассеянной радиации наблюдаются при наличии облачности и снежного покрова. Они могут достигать в летнее время в условиях высокогорья 630 Вт/м².

В ясные дни интенсивность рассеянной радиации убывает с высотой вследствие уменьшения массы атмосферы и, следовательно, рассеивающих элементов. Такая же закономерность наблюдается на Кавказе

[Борзенкова, 1965], в Заилийском Алатау [Ледник Туюксу, 1984] и в других горных странах. Суточные суммы рассеянной радиации колеблются в очень больших пределах: от 4 МДж/м² в абсолютно ясную или пасмурную ненастную погоду до 17–18 МДж/м² в дни с облачностью 5–6 баллов.

Суммарная радиация

Величина сумм суммарной солнечной радиации тесно связана с аналогичными показателями прямой солнечной радиации, так как именно она вносит основной вклад в суммарную. Суммы прямой солнечной радиации имеют большую изменчивость по территории, чем суммы рассеянной радиации.

Для Алтае-Саянской горной области доля прямой солнечной радиации составляет 53–64% от величины суммарной радиации. В северных предгорьях Саян это соотношение составляет 46–50%. Средние месячные и годовые суммы суммарной радиации приведены в табл. 9.

Таблица 9

Средние месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации, МДж/м²

Table 9

Average monthly and annual amounts of total solar radiation, MJ/m²

Станции	Высота, м	Месяцы				Сумма за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	77	444	612	192	3936
Кузедеево	290	103	494	661	188	4250
Ильчир	2083	163	642	571	315	4790
Кызыл	626	127	556	683	273	4997
Кош-Агач	1757	188	646	725	352	5724
Актру	2150	59	555	589	247	4331
Буран	409	186	585	764	324	5615

Следует отметить, что в высокогорных районах отмечается большая изменчивость сумм суммарной радиации. В горных долинах можно выделить склоны, на которых образуется локальная конвективная или слоистая облачность. Эти участки склонов получают значительно меньше солнечной радиации по сравнению с окружающей территорией. В таких местах уменьшение прихода солнечной радиации благоприятствует сохранению снежников и ледников (например, снежник и ледник Учитель в бассейне Актру), в то время как другие ледники в этом районе отступали [Севастьянов, 1978].

По данным многолетних актинометрических наблюдений были рассчитаны значения градиентов средних месячных сумм суммарной радиации в широтном и меридиональном направлениях. Значения суммарной радиации на разных станциях были приведены к 500 м абсолютной высоты. Горизонтальные градиенты найдены методом наименьших квадратов с учетом корреляционных зависимостей между суммарной радиацией и географическими широтой и долготой. Значения горизонтальных градиентов средних месячных сумм суммарной радиации за центральные месяцы сезонов года приведены в табл. 10.

Таблица 10

Горизонтальные градиенты месячных сумм суммарной радиации (МДж/м²/100 км) с запада на восток (А) и с юга на север (В)

Table 10

Horizontal gradients of monthly totals of total radiation (MJ/m²)/100 km from west to east (A) and from south to north (B)

Горизонтальные градиенты	Месяц			
	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Градиент А	–9	–13	–20	–16
Градиент В	–19	–39	–16	–34

Анализ характеристик полей суммарной радиации показал, что наименьшие значения горизонтального градиента с юга на север наблюдаются в летний период. В июле его величина составляет минус -16 (МДж/м²)/100 км. В январе величина градиента увеличивается до -19 (МДж/м²)/100 км. В переходные сезоны года уменьшение суммарной радиации в направлении с юга на север происходит вдвое быстрее.

Значения горизонтального градиента сумм суммарной радиации с запада на восток изменяются в течение года несколько меньше, чем в меридиональном направлении. В течение всего года западные районы Алтае-Саянской горной области получают больше суммарной радиации, чем восточные. Знак «минус» значений градиентов означает убывание сумм суммарной радиации с юга на север и с запада на восток соответственно.

Для оценки погрешностей расчетов сравнивались расчетные суммы и действительные значения суммарной радиации по независимым данным. На ст. Кош-Агач средняя величина погрешностей составила около 3% (наибольшая в январе – 6% и минимальная в июле – 0,5%). Это позволяет сделать вывод, что погрешности расчетов не превышают точности измерений.

В высокогорных долинах Актру и Мульта действительные величины суммарной радиации на 25–35% меньше, чем расчетные. Завышенные результаты расчетных сумм суммарной радиации в долинах закономерны в связи с увеличенным количеством облаков и закрытостью горизонта.

Самые большие различия наблюдаются зимой. Так, на ст. Актру в декабре и январе солнце совсем не показывается из-за высоких крутых вершин и склонов. При этом прямая солнечная радиация не поступает на дно долины, а рассеянная радиация очень мала. Следовательно, выявленные пространственные закономерности распределения сумм суммарной радиации в пределах региона распространяются на открытые относительно ровные пространства. Для характеристики радиационного режима в долинах, на склонах необходимо учитывать степень закрытости горизонта и особенности развития локальной облачности.

Альбедо

Альбедо подстилающей поверхности в Алтае-Саянской горной области, так же как и в других районах с умеренным климатом, имеет ярко выраженный годовой ход. Минимальные значения альбедо наблюдаются в летнее время и в начале осеннего периода и чаще всего не превышают 22%. Наибольшие значения альбедо наблюдаются зимой: 66–70%. Основное влияние на временной ход значений альбедо оказывает продолжительность устойчивого снежного покрова. С увеличением абсолютной высоты в горах возрастает количество твердых осадков, способствующих увеличению средних значений альбедо, а следовательно, и возрастанию доли отраженной солнечной радиации.

Таблица 11

Альбедо различных поверхностей склонов и дна типичной высокогорной долины в теплый период, %

Table 11

Albedo of various surfaces of slopes and bottom of a typical high-mountain valley during the warm period, %

Типы подстилающей поверхности	Альбедо
Трава на дне долины	22–27
Кустарник (ивы, карликовые березы)	16–20
Альпийские луга	17–22
Сглаженные скалы	12–15
Каменистые склоны с редкой травой	13–14
Осыпи с крупным обломочным материалом	12–16

Для Алтае-Саянской горной области свойственны различные ландшафтные зоны: хвойные леса, степи, снежно-ледовый пояс, в котором на снежных и каменистых поверхностях круглогодично преобладает снежный покров. Средние величины отражающей способности склонов и днищ горных долин в летний период приведены в табл. 11.

Поглощенная радиация

Величины поглощенной солнечной радиации являются важной характеристикой, необходимой для исследования составляющих теплового баланса и решения научных и прикладных задач. Поглощенная радиация

представляет собой приходную часть радиационного баланса, его изменение с высотой во многом определяет формирование ландшафтно-климатических зон.

Величина поглощенной солнечной радиации распределяется в границах Алтае-Саянской горной области неравномерно. В зимний период в северных районах горной области суммы поглощенной радиации меняются в пределах 26–29 МДж/м². В высокогорных районах значения поглощенной радиации изменяются в пределах 21–29 МДж/м² (ст. Актру, Мульта). В юго-западных районах Алтая (Зайсанская котловина, ст. Буран) в связи с более южным положением величина поглощенной радиации увеличивается до 70–80 МДж/м².

Летом наблюдаются наибольшие величины поглощенной радиации. Их значения достигают 500–600 МДж/м² в месяц. В переходные сезоны года величины поглощенной радиации на северных окраинах горной области составляют 260–270 МДж/м² (ст. Хакасская, Кузедеево). В юго-западном районе Горного Алтая на ст. Буран – до 400 МДж/м².

Эффективное излучение

Минимальные значения эффективного излучения за год приходится на зимний период, наибольшие потери радиационного баланса за счет эффективного излучения наблюдаются летом (табл. 12).

Суммы эффективного излучения за год изменяются в сравнительно небольших пределах (1 421–2 166 МДж/м²). Прослеживаются закономерности изменения величин эффективного излучения с высотой.

Летние и годовые суммы эффективного излучения увеличиваются до высоты 1 700–1 800 м, а выше

они начинают медленно уменьшаться. В зимний период увеличение эффективного излучения продолжается до большей высоты.

На севере Алтае-Саянской области отмечаются наименьшие годовые суммы эффективного излучения. Это связано с тем, что в данных районах наблюдается активная циклоническая деятельность с увеличенной облачностью, повышенной влажностью воздуха, значительными осадками. В южных районах Алтая длинноволновое излучение подстилающей поверхности значительно больше. Годовая величина эффективного излучения в Зайзанской котловине на ст. Буран составляет 1 945 МДж/м².

Наибольшие значения эффективного излучения отмечаются в высокогорных котловинах, например, в Чуйской степи на ст. Кош-Агач – 2 166 МДж/м². Этому благоприятствуют уменьшенная плотность атмосферы на больших высотах, небольшая облачность, малое количество жидких и твердых атмосферных осадков.

Таблица 12

Средние месячные и годовые суммы эффективного излучения, МДж/м²

Table 12

Average monthly and annual amounts of effective radiation, MJ/m²

Станции	Высота, м	Месяцы				Сумма за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	55	164	194	127	1543
Ильчир	2083	139	181	156	135	1817
Кызыл	626	39	164	169	143	1421
Кош-Агач	1757	93	248	227	177	2166
Буран	409	91	188	227	152	1945

В теплый период года в горноледниковых бассейнах величина эффективного излучения существенно меньше. Так, на ст. Мульта оно не превышает 82–90 МДж/м² [Голецких, 1985]. Еще меньше его значения на поверхностях снежно-ледовых образований – 40–60 МДж/м².

Радиационный баланс

Величина радиационного баланса является очень изменчивым показателем в горах. Его измерение представляет наибольшие трудности на актинометрических станциях. В настоящее время на многих станциях этот показатель совсем не измеряется из-за

отсутствия приборов [Максютова, 2002; Севастьянов, Севастьянова, 2007; Пигольцина и др., 2011]. Тем не менее радиационный баланс является одним из основных климатообразующих факторов. Его величиной определяется в значительной мере распределение температуры почвы и воздуха. Годовые суммы радиационного баланса в пределах Алтае-Саянской области меняются в пределах 1 279–2 095 МДж/м² (табл. 13).

В северных районах Алтая и Саян величина радиационного баланса за год не превышает на ст. Кузедеево 1 480 МДж/м². В степях и высокогорных долинах его значения возрастают до 2 014 МДж/м² (Кызыл), но на водоразделах уменьшаются.

Таблица 13

Средние месячные и годовые суммы радиационного баланса, МДж/м²

Table 13

Average monthly and annual amounts of the radiation balance, MJ/m²

Станции	Высота, м	Месяцы				Сумма за год
		I	IV	VII	X	
Хакасская	250	–33	222	360	47	1739
Кузедеево	290	–50	171	356	35	1480
Ильчир	2083	–82	223	286	9	1279
Кызыл	626	–12	268	370	72	2014
Кош-Агач	1757	–43	241	338	66	1741
Буран	409	–24	269	386	106	2095

Период с отрицательными значениями радиационного баланса на всех станциях продолжается с начала ноября по конец февраля. В верхнем поясе гор период с отрицательной величиной радиационного баланса может продолжаться дольше.

Изменение солнечной радиации

В последние десятилетия большое внимание уделяется региональному мониторингу метеорологических величин с целью исследования современного изменения климата. Особенно большое внимание привлекает изменение режима температуры воздуха. Можно однозначно говорить о повышении температуры как в глобальном масштабе, так и в Сибири. Особенно отчетливо этот факт прослеживается в холодный период года. Делаются попытки объяснить повышение температуры антропогенными и природными факторами.

Определенный интерес представляет выявление взаимных региональных связей между тенденцией роста температуры воздуха и динамикой радиационного режима в горных районах Сибири.

Для анализа современного изменения характеристик солнечной радиации были использованы данные о прямой, рассеянной и суммарной радиации за период с 1965 по 2015 г. по некоторым сетевым актинометрическим станциям южной части Сибири.

Исследование колебаний солнечной радиации затруднено не только редкой сетью станций, но и тем,

что в наличии имеются относительно короткие ряды наблюдений, которые не позволяют в полной мере выявить долгопериодные колебания.

В ряде исследований [Сивков, 1968; Севастьянов, Севастьянова, 2007; Пигольцина и др., 2011] выявлены статистически значимые зависимости между потоками лучистой энергии и продолжительностью солнечного сияния, которая, в свою очередь, зависит от количества облачности и особенностей циркуляции атмосферы.

Наличие тесных достоверных связей позволяет с высокой степенью надежности восстановить величины месячных сумм прямой, рассеянной и суммарной радиации по данным о продолжительности солнечного сияния, что дает возможность удлинить ряды наблюдений за солнечной радиацией.

В теплый период приход солнечной радиации от года к году меняется в более широких пределах, чем в холодный период. Наибольшие колебания испытывает прямая солнечная радиация. На всех станциях годовые суммы суммарной радиации испытывают периодические колебания, но в целом имеют тенденцию к уменьшению. Средняя величина линейного тренда суммарной радиации приведена в табл. 14. Существенно убывают суммы прямой радиации, при этом несколько возрастают суммы рассеянной радиации. Сходные выводы сделаны из анализа динамики потоков лучистой энергии для южной части Восточной Сибири [Густокашина, 2003].

Таблица 14

Коэффициенты наклона линейных трендов месячных и годовых сумм суммарной радиации за 10 лет, МДж/м²

Table 14

Slope coefficients of linear trends of monthly and annual amounts of total radiation for 10 years, MJ/m²

Станции	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Кош-Агач	-2,5	-3,2	-3,6	0,7	-3,3	-0,6	-3,7	-7,0	-2,2	-3,2	-2,8	-2,0	-4,5
Актру	1,1	-3,8	-5,3	-8,9	-7,2	1,2	-0,8	-1,6	-0,4	-1,9	-4,6	-1,3	-8,0

Таблица 15

Коэффициенты наклона линейных трендов месячных и годовых сумм радиационного баланса за год, МДж/м²

Table 15

Slope coefficients of linear trends of monthly and annual amounts of the radiation balance for the year, MJ/m²

Станции	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Кузедеево	1,0	0,5	0,2	0,8	-1,3	-1,5	-1,1	-0,1	0,0	0,6	0,6	1,0	-0,6
Кош-Агач	0,2	0,7	3,2	2,7	2,1	2,7	1,4	2,5	2,5	0,9	0,3	0,6	19,8

Статистический анализ коэффициентов наклона линейных трендов месячных и годовых сумм суммарной солнечной радиации показал, что они статистически незначимы на уровне значимости 0,05, т.е. изменение солнечной радиации в исследуемый период находилось в пределах ее естественной изменчивости. Аналогичные выводы были получены и для других районов,

например для Москвы [Абакумова, 2000], для большей части территории Предбайкалья [Густокашина, 2003].

Изменения радиационных потоков на разных равнинных станциях в целом совпадают. Отмеченные колебания годовых сумм потоков лучистой энергии близки по продолжительности к одиннадцатилетним циклам солнечной активности.

Исследование временной изменчивости месячных и годовых сумм радиационного баланса подстилающей поверхности проводилось для ст. Кузедеево и Кош-Агач. Были определены линейные тренды радиационного баланса, которые позволяют установить наличие положительной или отрицательной тенденции в многолетнем ходе сумм радиационного баланса. Значения коэффициентов наклона линейного тренда месячных и годовых сумм радиационного баланса, характеризующих скорость его изменения в рассматриваемый период, приведены в табл. 15.

Анализ коэффициентов наклона линейного тренда величин радиационного баланса показал, что они по-разному проявляются в различных частях Алтае-Саянской области.

Выводы

Территория Алтае-Саянской горной области отличается высокой прозрачностью атмосферы, что в сочетании с южным положением способствует приходу повышенных сумм суммарной радиации, особенно над горными котловинами. Максимальные суммы суммарной радиации наблюдаются в юго-западной части Горного Алтая. Ее величина уменьшается в восточном направлении в течение всего года. Особенно быстро суммы суммарной радиации уменьшаются в летний и осенний периоды, что связано с особенностями циркуляции атмосферы. В меридиональном направлении наибольшая изменчивость суммарной радиации наблюдается в переходные сезоны. Горные долины получают суммарной ради-

ации на 25–30% меньше, чем котловины из-за закрытости горизонта и большей облачности.

Распределение потоков лучистой энергии в пределах Алтае-Саянской горной страны носит достаточно пестрый характер в связи со сложным влиянием рельефа и связанными с ним мезо- и микроклиматическими особенностями разных местностей.

Выявлена региональная особенность показателей прозрачности атмосферы в горных районах Сибири. В частности, степень прозрачности воздуха имеет тенденцию роста ее значений в направлении с севера на юг.

Современные тенденции уменьшения прихода годовых сумм суммарной радиации над Западной Сибирью не приводят к понижению температуры воздуха. Наблюдающееся повышение температуры в настоящее время в Сибири позволяет сделать предположение, что оно связано, прежде всего, с динамикой циркуляционных процессов.

В высокогорных котловинах (ст. Кош-Агач) в течение всего года наблюдается положительный значимый тренд сумм радиационного баланса, причем темпы роста его значений в теплый период года значительно выше, чем в холодный. В Горной Шории (ст. Кузедеево) в холодный период года наблюдаются положительные тенденции радиационного баланса, а в теплое время года отмечается уменьшение его величин. В целом имеется тенденция уменьшения годовых сумм радиационного баланса, но величина изменений находится в пределах его естественной изменчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-7000 р-а).

ЛИТЕРАТУРА

- Абакумова Г.М. Тенденция многолетних изменений прозрачности атмосферы, облачности, солнечной радиации и альбедо подстилающей поверхности в Москве // Метеорология и гидрология. 2000. № 9. С. 51–63.
- Атлас ветрового и солнечного климатов России / под ред. М.М. Борисенко, В.В. Стадник. СПб., 1997. 173 с.
- Борзенкова И.И. К методике расчета суммарной радиации для условий горного плато // Тр. / ГГО. 1965. Вып. 179. С. 98–107.
- Голещихин В.П. Радиационный режим внутриконтинентальной горной области (Алтай, Саяны) Ч. 2 // Гляциология Сибири. Томск, 1985. Вып. 2 (17). С. 14–74.
- Густокашина Н.Н. Многолетние изменения основных элементов климата на территории Предбайкалья. Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003. 107 с.
- Дроздов О.А. О расчетных формулах влагосодержания атмосферы // Тр. / ГГО. 1966. Вып. 198. С. 27–29.
- Зверева С.В. Об ослаблении солнечной радиации в полярных районах // Тр. / ААНИИ. 1969. Вып. 287. С. 171–187.
- Кондратьев К.Я. Актинометрия. Л. : Гидрометеиздат, 1965. 691 с.
- Ледники Актру (Алтай) / В.П. Галахов, Ю.К. Нарожный и др.; под ред. Д.А. Буракова. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 118 с.
- Ледник Туяксу (Северный Тянь-Шань) / К.Г. Макаревич, Е.Н. Вилесов, Р.Г. Головкина и др. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 171 с.
- Максютова Е.В. Особенности радиационного режима Минусинской котловины // География и природные ресурсы. 2002. № 3. С. 76–83.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. СПб. : Гидрометеиздат, 1990–1993. Ч. 1–6, вып. 18, 20–23.
- Новый аэроклиматический справочник пограничного слоя атмосферы над СССР. М. : Гидрометеиздат, 1986. Т. 1–2, кн. 1–10.
- Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 335 с.
- Пигольцина Г.Б., Зиновьева Н.А., Савкина А.О. Микроклиматическая изменчивость радиационного баланса в условиях горного рельефа (на примере территории проведения зимних олимпийских игр «Сочи–2014») // Общество. Среда. Развитие. СПб. : Астерион, 2011. С. 216–219.
- Природные ресурсы Республики Тыва. Новосибирск : Гарамонд, 2018. Т. 1. 488 с.

- Ревякин В.С., Галахов В.П., Голещихин В.П. Горноледниковые бассейны Алтая. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1979. 309 с.
- Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. Л. : Гидрометеиздат, 1973. 223 с.
- Севастьянов В.В. Опыт изучения локальных свойств облачности в горноледниковом бассейне Актру // Гляциология Алтая. Томск, 1978. Вып. 14. С. 125–129.
- Севастьянов В.В., Севастьянова Л.М. Зависимость радиационного баланса в Сибири от климатических и географических факторов // Седьмое Сибирское совещание по климатологическому мониторингу : материалы рос. конф. Томск, 2007. С. 113–116.
- Севастьянов В.В. Климатические ресурсы Горного Алтая и их прикладное использование. Томск : Изд-во ТГПУ, 2009. 252 с.
- Севастьянова Л.М., Никольченко Ю.Н. Потенциальные ветро- и гелиоэнергетические ресурсы в Алтайском крае // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 365. С. 187–193.
- Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л. : Гидрометеиздат, 1968. 231 с.
- Смирнов Б.М. Физика глобальной атмосферы. Парниковый эффект, атмосферное электричество, эволюция климата. Долгопрудный : Интеллект, 2017. 256 с.
- Справочник по климату СССР : в 34 вып., в 5 ч. Л. : Гидрометеиздат, 1965–1970. Вып. 18, 20–23.
- Тепловой и водный режим Украинских Карпат / под ред. Л.И. Сакали. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 363 с.
- Тронов М.В., Тронова Л.Б., Белова Н.И. Основные черты климата горно-ледникового бассейна Актру // Гляциология Алтая. Томск, 1965. Вып. 4. С. 3–49.
- Шихлинский Э.М. О тепловом балансе Кавказа // Современные проблемы климатологии. Л. : Гидрометеиздат, 1966. С. 130–146.

Автор:

Севастьянов Владимир Вениаминович, доктор географических наук, профессор, кафедра метеорологии и климатологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
E-mail: vvsl87@mail.ru

Geosphere Research, 2020, 1, 102–155. DOI: 10.17223/25421379/14/8

V.V. Sevastyanov

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

RADIATION FACTORS CLIMATE FORMATION IN THE ALTAI-SAYAN MOUNTAIN REGION IN MODERN CLIMATE CHANGE PERIOD

Long-term (1965–2015) observations of actinometric stations were used to characterize the solar radiation regime in the Altai-Sayan Mountain Region. The paper presents the results of expedition actinometric observations in the Aktru Mountain Glacial Basin (the North-Chui Ridge) and the Multa Basin (the Katun Ridge). It is necessary to take into account climate resources for the development of mountain areas in Siberia and effective use in economic activities. The use of renewable sources of solar energy is becoming relevant for economic activities in the modern period. The regional feature of the indicators of atmospheric transparency in the mountainous regions of Siberia is revealed. The transparency of the air increases in the direction from north to south. Distribution's regularities the sums of direct, scattered, total solar radiation, effective radiation and radiation balance are considered.

The Altai-Sayan Region is characterized by a high transparency of the atmosphere. This factor is combined with the position of the region in the south of Russia, and contributes to the arrival of increased amounts of total radiation. The annual total radiation in the northern regions of the Altai and the Sayan mountains is 3900 MJ/m² per year, in the southern regions – 5600–5700 MJ/m² per year. Maximum values of total radiation are observed in mountain basins. Mountain valleys receive 25–30% less total radiation than basins due to the closed horizon and greater cloud cover. Average monthly amounts of total radiation decrease from west to east. The greatest changes are observed in summer and autumn. This is due to the features of atmospheric circulation. The largest increase in monthly amounts of total radiation in the north-south direction is observed in the spring and autumn.

The article deals with current trends in the incoming solar radiation. In the modern period, the amount of direct radiation decreases, but the amount of scattered radiation increases. There is a tendency to decrease the annual total radiation amounts at all actinometric stations. In mountain valleys, a positive significant trend in the amount of radiation balance is observed throughout the year. In the warm period of the year, the growth rate of its values is much higher than in the cold period. In the Gornaya Shoria, positive trends in the radiation balance are observed during the cold period of the year. In the warm season, there is a decrease in the values of the radiation balance. There is a tendency to decrease the annual amounts of the radiation balance in the Altai-Sayan Region. The magnitude of trends in the radiation balance is within the limits of natural variability.

Keywords: solar radiation, albedo, radiation balance, actinometry, orography.

REFERENCES

- Abakumova G.M. Trends of Atmospheric Transparency, Cloudiness, Solar Radiation, and Surface Albedo in Moscow // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2000. № 9. pp. 51–63. In Russian
- Atlas vetrovogo i solnechnogo klimatov Rossii* [Atlas of wind and solar climates of Russia] / edit by M.M. Borisenko, V.V. Stadnik. St-Petersburg: 1997. 173 p. In Russian

- Borzenkova I.I. *K metodike rascheta summarnoj radiacii dlya uslovij gornogo plato* [On the methodology for calculating the total radiation for mountain plateau conditions] // Tr. GGO. 1965. Vyp. 179. pp. 98–107. In Russian
- Goleshchihin V.P. *Radiacionnyj rezhim vnutrikontinental'noj gornoj oblasti (Altaj, Sayany)* Ch. 2. [The radiation regime of the inland mountain region (Altai, Sayan Mountains)] // Glyaciologiya Sibiri. Tomsk. 1985. Vyp. 2 (17). pp. 14–74. In Russian
- Gustokashina N.N. *Mnogoletnie izmeneniya osnovnykh elementov klimata na territorii Predbaikal'ya* [Long-term changes in the basic elements of climate in the territory of the Prebaikalia]. Irkutsk: Izd-vo In-ta geografii SO RAN, 2003. 107 p. In Russian
- Drozhdov O.A. *O raschetnykh formulakh vlagosoderzhaniya atmosfery* [About the calculated formulas of atmospheric moisture content] // Tr. GGO. 1966. Vyp. 198. pp. 27–29. In Russian
- Zvereva S.V. *Ob oslablenii solnechnoj radiacii v polyarnykh rajonah* [On the weakening of solar radiation in the polar regions] // Tr. AANIL. 1969. Vyp. 287. pp. 171–187. In Russian
- Kondrat'ev K.Ya. *Aktinometriya* [Actinometry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. 691 p. In Russian
- Ledniki Aktru (Altaj) [Glaciers Aktru (Altai)] / V.P. Galahov, Yu.K. Narozhnyj i dr.; edit by D.A. Burakova. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 118 p. In Russian
- Lednik Tuyuksu (Severnij Tyan'-Shan') [Tuyuksu Glacier (Northern Tien Shan)] / K.G. Makarevich, E.N. Vilesov, R.G. Golovkova i dr. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 171 p. In Russian
- Maksyutova E.V. *Osobennosti radiacionnogo rezhima Minusinskoj kotloviny* [Features of the radiation regime of the Minusinsk depression] // Geografiya i prirodnye resursy. 2002. № 3. pp. 76–83. In Russian
- Nauchno-prikladnoj spravocnik po klimatu SSSR. Seriya 3. *Mnogoletnie dannye* [Scientific-applied reference on the climate of the USSR. Series 3. Perennial data] Ch. 1–6. Vyp. 18, 20–23. St-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1990–1993. In Russian
- Novyj aeroklimaticheskij spravocnik pogranichnogo sloya atmosfery nad SSSR [A new aeroclimatic guide to the atmospheric boundary layer over the USSR.]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1986. T. 1–2, kn. 1–10. In Russian
- Pivovarov Z.I. *Radiacionnye harakteristiki klimata SSSR* [Radiation characteristics of the climate of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 335 p. In Russian
- Pigol'cina G.B., Zinov'eva N.A., Savkina A.O. *Mikroklimaticheskaya izmenchivost' radiacionnogo balansa v usloviyah gornogo rel'efa (na primere territorii provedeniya zimnih olimpijskih igr «Sochi–2014»)* [Microclimatic variability of the radiation balance in mountainous terrain (on the example of the territory of the Sochi-2014 Winter Olympic Games)] // Obshchestvo. Sreda. Razvitie. St-Petersburg: CNTI «Asterion» 2011. pp. 216–219. In Russian
- Prirodnye resursy Respubliki Tyva. Tom I [Natural resources of the Republic of Tuva. Volume I.]. Novosibirsk: Izd-vo «Garamond», 2018. 488 p. In Russian
- Revyakin V.S., Galahov V.P., Goleshchihin V.P. *Gornolednikovye bassejny Altaya* [Altai Glacial Pools]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1979. 309 p. In Russian
- Rukovodstvo gidrometeorologicheskimi stanciyam po aktinometricheskimi nablyudeniyam [Guide to hydrometeorological stations for actinometric observations]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. 223 p. In Russian
- Sevastyanov V.V. *Opyt izucheniya lokal'nykh svoystv oblachnosti v gornolednikovom bassejne Aktru* [The experience of studying the local properties of clouds in the Aktru mountain-glacial basin] // Glyaciologiya Altaya. Tomsk. 1978. Vyp. 14. pp. 125–129. In Russian
- Sevastyanov V.V., Sevastyanova L.M. *Zavisimost' radiacionnogo balansa v Sibiri ot klimaticheskikh i geograficheskikh faktorov* [Dependence of the radiation balance in Siberia on climatic and geographical factors] // Sed'moe Sibirskoe soveshchanie po klimatologicheskomu monitoringu: Mat-ly Ros. konf. Tomsk. 2007. pp. 113–116. In Russian
- Sevastyanov V.V. *Klimaticheskie resursy Gornogo Altaya i ih prikladnoe ispol'zovanie* [Climatic resources of the Altai Mountains and their application]. Tomsk: Izd-vo TGPU, 2009. 252 p. In Russian
- Sevastyanova L.M., Nikol'chenko Yu.N. Potential wind and solar power resources in Altai Krai // Tomsk State University Journal. 2012. № 365. pp. 187–193. In Russian
- Sivkov S.I. *Metody rascheta harakteristik solnechnoj radiacii* [Methods for calculating the characteristics of solar radiation]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968. 231 p. In Russian
- Smirnov B.M. *Fizika global'noj atmosfery. Parnikovyyj effekt, atmosfernoe elektrichestvo, evolyuciya klimata* [Physics of the global atmosphere. Greenhouse effect, atmospheric electricity, climate evolution]. Dolgoprudny: Izd-vo «Intellekt», 2017. 256 p. In Russian
- Spravocnik po klimatu SSSR: V 34 vyp., v 5 ch [Handbook of the USSR Climate: In 34 issues, in 5 parts]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965–1970. Vyp. 18, 20–23. In Russian
- Teplovoj i vodnyj rezhim Ukrainskih Karpat [Thermal and water regime of the Ukrainian Carpathians] / edit by L.I. Sakali. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 363 p. In Russian
- Tronov M.V., Tronova L.B., Belova N.I. *Osnovnye cherty klimata gornolednikovogo bassejna Aktru* [The main climate features of the Aktru mountain-glacial basin] // Glyaciologiya Altaya. Tomsk. 1965. Vyp. 4. pp. 3–49. In Russian
- Shihlinskij E.M. *O teplovom balanse Kavkaza* [About the heat balance of the Caucasus] // Sovremennye problemy klimatologii. Leningrad: Gidrometeoizdat 1966. pp. 130–146. In Russian

Author:

Sevastyanov Vladimir V., Dr. Sci. (Geography), Professor, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.
E-mail: vvs187@mail.ru