

УДК 551.582

Ресурсы солнечной радиации в горно-ледниковом бассейне Актру (Алтай)

Ю.А. Селезнева, Л.М. Севастьянова

Национальный исследовательский Томский государственный университет
(г. Томск, Россия)

Рассмотрены особенности изменения солнечной радиации в горно-ледниковом бассейне Актру на Алтае. Материалом для исследования послужили данные о месячных и годовых суммах суммарной, прямой и рассеянной солнечной радиации на метеорологической станции Актру в период 1974–1985 г. Исследован годовой ход и изменчивость месячных и годовых сумм прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации. Получена тесная линейная зависимость сумм прямой и суммарной солнечной радиации на станции Актру от сумм прямой и суммарной солнечной радиации на станции Кош-Агач. Это позволило привести короткие ряды наблюдений на станции Актру к длинному периоду. Установлена тенденция к уменьшению месячных и годовых сумм прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации в течение 1965–2011 г.

Ключевые слова: солнечная радиация; изменение климата; горно-ледниковый бассейн.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме возможных последствий современного потепления климата для ландшафтов, почвы, ледников, биоразнообразия. Это вызывает большой интерес ученых разных стран. Для оценки влияния изменений климата и выработки стратегии адаптации экосистем к этим изменениям необходимо проведение мониторинга климатических изменений, требующего длительного периода наблюдений.

Солнечная радиация — одна из наиболее важных составляющих формирования не только климата, но и жизни на Земле. Все процессы, происходящие в системе «Земля—атмосфера», неразрывно связаны с этим фактором климата.

Однако изменения солнечной радиации изучены значительно меньше, чем изменения температуры и осадков, особенно в горных районах. Это связано прежде всего с относительно короткими рядами наблюдений за солнечной радиацией и малым количеством актинометрических станций.

В настоящее время увеличивается интерес к изучению горных стран, что связано с усиливающимся процессом освоения горных территорий. Особый интерес вызывает сохранение биоразнообразия в горных районах Алтая в связи с современными климатическими изменениями.

Целью настоящего исследования является изучение динамики солнечной радиации в горно-ледниковом бассейне Актру на Алтае.

Материалы и методика исследования

Материалом для исследования послужили данные о месячных и годовых суммах суммарной, прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, и рассеянной солнечной радиации на метеорологической станции Актру за период с 1974 по 1985 г. Выбранный период исследования объясняется тем, что в другие годы круглогодичные актинометрические наблюдения на станции не проводились.

Для приведения сравнительно короткого ряда наблюдений за солнечной радиацией на станции Актру к длинному периоду использованы данные о месячных и годовых суммах суммарной, прямой и рассеянной солнечной радиации на актинометрической станции Кош-Агач за период с 1965 по 2011 г.

Были рассчитаны основные статистические характеристики по имеющимся исходным материалам, использованы корреляционный и регрессионный анализы. По данным о месячных и годовых суммах прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации рассчитаны следующие статистические показатели: среднее арифметическое, погрешность среднего значения, среднее квадратическое отклонение, его погрешность, коэффициент вариации, минимальные и максимальные значения. Для исследования взаимосвязи между суммами прямой и суммарной солнечной радиации на станциях Актру и Кош-Агач применены линейный регрессионный анализ и корреляционный анализ. Для оценки тесноты линейной зависимости между указанными характеристиками использован парный коэффициент корреляции. Для оценки временных изменений месячных и годовых сумм прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации рассчитаны их линейные тренды. Оценка статистической значимости коэффициентов корреляции и коэффициентов уравнений линейных трендов проведена с помощью *t*-критерия Стьюдента.

Исследуемая территория интересна тем, что метеостанция Актру расположена в репрезентативном горно-ледниковом бассейне, каких на Алтае много, Кош-Агач – единственная актинометрическая станция в Республике Алтай. Уникальность станции Актру заключается в том, что здесь накоплены богатый опыт исследований и результаты длительных метеорологических, гидрологических наблюдений, а также наблюдений за состоянием ледников, прилегающих ландшафтов и экосистем. На территории горно-ледникового бассейна Актру уже более 50 лет работает высокогорная исследовательская станция Томского государственного университета, основанная профессором, выдающимся ученым, создателем школы гляциоклиматологии М.В. Троновым.

Комплексные гляциологические, гидрологические и метеорологические наблюдения в бассейне Актру начались в период проведения программы «Международный геофизический год» (1956–1957 гг.). В последующий период выполнялись «Международная гидрологическая программа», «Международная программа колебания ледников» и ряд других.

В 2011 г. станция Актру получила статус наблюдателя в сетевом проекте Европейского союза INTERACT («International Network for Terrestrial Research and Monitoring in the Arctic»).

Бассейн Актру расположен в юго-восточной части Республики Алтай в восточной части горного узла Биш-Иирду на северном склоне Северо-Чуйского хребта Центрального Алтая. Станция Актру находится в горно-ледниковом бас-

сейне Актру в глубокой долине на высоте 2150 м и имеет координаты 50° 05' с.ш. и 87° 49' в.д. Долина Актру ориентирована с юго-запада на северо-восток. Ширина долины около 300 м. Слева и справа располагаются крутые склоны. Высота отрогов горных хребтов 900–1500 м над уровнем станции. Станция Актру расположена на левом берегу р. Актру на ровной галечниковой площадке.

Метеостанция Кош-Агач расположена на юго-востоке Республики Алтай в широкой межгорной котловине в Чуйской степи на высоте 1758 м, ее координаты 50° 01' с.ш. и 88° 41' в.д. Высота окружающих хребтов 600–800 м над уровнем станции.

Результаты исследования и обсуждение

Приход солнечной радиации, поступающей на земную поверхность, зависит от широты места, высоты солнца над горизонтом, прозрачности атмосферы, наличия облачности, влияния рельефа и закрытости горизонта.

На станции Актру отмечается значительный приход солнечной радиации. Годовые суммы суммарной солнечной радиации в среднем составляют 4205 МДж/м², прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, – 2146 МДж/м², рассеянной радиации – 2059 МДж/м². Однако эти значения меньше, чем на станции Кош-Агач, расположенной на 392 м ниже, что связано с большей закрытостью горизонта на станции Актру.

Известно, что в горах возможные суммы (при отсутствии облачности и полной открытости горизонта) прямой радиации с высотой увеличиваются [1]. Действительные суммы прямой радиации зависят от закрытости горизонта и облачности. Облачность снижает приход солнечной радиации: годовые суммы прямой солнечной радиации при средних условиях облачности на станции Актру уменьшены на 57% по сравнению с прямой радиацией при ясном небе (по данным [2]).

При сравнении месячных и годовых сумм суммарной радиации на станции Актру при безоблачном небе и при действительных условиях облачности видно, что наблюдается уменьшение суммарной радиации вследствие влияния облачности по сравнению с суммарной радиацией при ясном небе [2]. Суммарная радиация при средних условиях облачности составляет примерно 77% от суммарной радиации при безоблачном небе.

При сравнении суммарной радиации при ясном небе на станции Актру и на широте 50° с.ш. в Азиатской части России [3] было обнаружено, что в теплое полугодие (с апреля по сентябрь) суммарная радиация при ясном небе в Актру больше, чем на широте 50° с.ш. в Азиатской части России. Это объясняется более высоким положением станции Актру. В холодный период наблюдается обратное соотношение. Суммы суммарной радиации на станции Актру меньше возможных сумм на широте 50° с.ш. в 1,6 раза. Это связано с большой закрытостью горизонта станции Актру (станция окружена с трех сторон высокими горами) и низким положением солнца.

Вклад прямой радиации в суммарную солнечную радиацию на станции Актру больше в теплый период (52,2–54,8%) и меньше – в холодный (0–36,5%).

По данным о многолетних средних месячных суммах прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации на станции Актру наблюдается простой годовой ход с одним максимумом и одним минимумом (рис. 1).

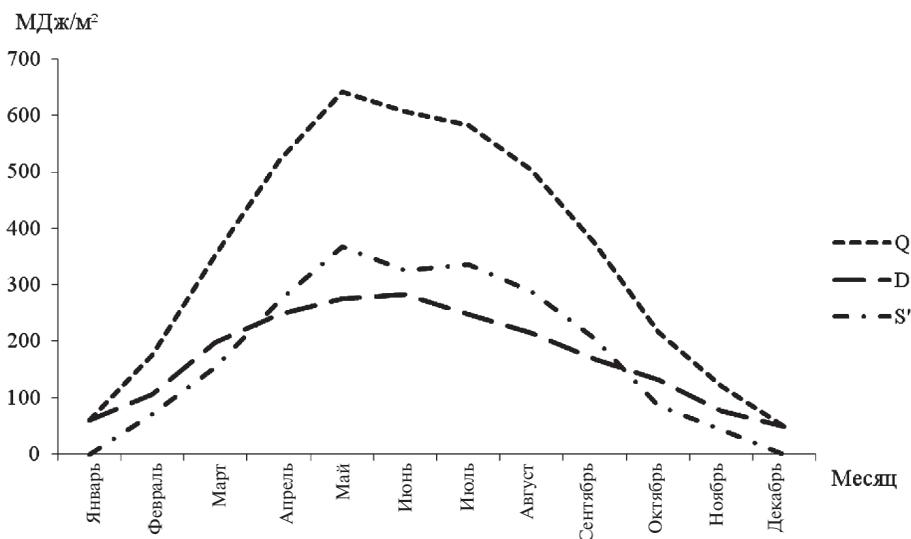


Рис. 1. Годовой ход прямой (S'), рассеянной (D) и суммарной (Q) солнечной радиации на станции Актру

Наступление максимума прямой и суммарной радиации наблюдается в мае, рассеянной — в июне. Увеличение прихода солнечной радиации в годовом ходе связано в основном с увеличением высоты солнца и продолжительности дня, а убывание — с их уменьшением. Смещение максимума прямой и суммарной радиации на май объясняется увеличением облачности в июне — июле. Минимальные значения суммарной и рассеянной радиации зафиксированы в декабре. Приход прямой радиации в декабре и январе уменьшается до нуля, так как солнце не поднимается над гребнями гор.

Исследование межгодовой изменчивости месячных сумм прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации показало, что средние квадратические отклонения имеют наименьшие значения в холодный период. Наибольшая изменчивость месячных сумм указанных видов радиации отмечается летом. Средние квадратические отклонения сумм прямой радиации колеблются от 12,6 МДж/м² в ноябре до 79,4 МДж/м² в июне, сумм рассеянной радиации — от 8,2 МДж/м² в январе до 57,0 МДж/м² в июне, сумм суммарной радиации — от 8,3 МДж/м² в январе до 57,3 МДж/м² в июле. Среднее квадратическое отклонение годовых сумм прямой радиации составляет 157,4 МДж/м², рассеянной радиации — 132,0 МДж/м², суммарной радиации — 108,5 МДж/м². Наиболее изменчивой является прямая радиация. Её приход зависит от состояния диска Солнца и наличия облачности. Летом прямая радиация наибольшая в случае отсутствия облаков на диске Солнца и в зоне радиусом 5° вокруг него. В случае сплошной облачности прямая радиация будет отсутствовать. Этим объясняется большое среднее квадратическое отклонение сумм суммарной радиации в летнее время. Зимой высота Солнца небольшая, следовательно, прямая радиация будет мала, поэтому значения средних квадратических отклонений месячных сумм радиации тоже невелики.

Значения сумм прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации на станции Актру сильно различаются от года к году. Самые большие колебания

сумм рассматриваемых видов солнечной радиации наблюдаются в летние месяцы, наименьшие — в зимние. В табл. 1 приведены минимальные и максимальные значения прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации на станции Актру за период 1974–1985 гг.

Таблица 1. Минимальные и максимальные значения солнечной радиации на станции Актру, МДж/м²

Вид солнечной радиации	Абсолютный максимум	Абсолютный минимум
Суммарная	721 май 1974 г.	37 декабрь 1980 г.
Прямая	465 май 1974 г.	0 декабрь — январь каждого года
Рассеянная	352 июнь 1985 г.	37 декабрь 1980 г.

Между приходом солнечной радиации на станциях Актру и Кош-Агач были получены тесные линейные зависимости, которые позволили привести месячные суммы прямой и суммарной солнечной радиации на станции Актру к длинному периоду. Тесноту связи показывают высокие парные коэффициенты корреляции (0,72–0,96) между суммами прямой и суммарной солнечной радиации на станциях Актру и Кош-Агач (табл. 2).

Таблица 2. Значения коэффициентов корреляции между суммами суммарной солнечной радиации и суммами прямой солнечной радиации на станциях Актру и Кош-Агач

Вид солнечной радиации	Коэффициент корреляции	
	теплый период (апрель — сентябрь)	холодный период (октябрь — март)
Суммарная	0,89	0,96
Прямая	0,72	0,90

Проверка коэффициентов корреляции на значимость относительно нуля по таблице, приведенной в [4], показала, что рассчитанные коэффициенты корреляции больше критического значения 0,23, т.е. коэффициенты корреляции статистически значимы на уровне значимости 0,05. Погрешность коэффициентов корреляции мала и составляет 0,01–0,06. Выборочный порог достоверности коэффициентов корреляции изменяется в пределах 12–96. Он существенно больше табличного значения t-критерия Стьюдента на уровнях значимости 0,05 и 0,01. Это говорит о том, что коэффициенты корреляции надежно отражают зависимость коррелируемых признаков.

Для получения длинного ряда месячных и годовых сумм рассеянной солнечной радиации их значения были рассчитаны как разность между суммарной и прямой солнечной радиацией, поступающей на горизонтальную поверхность.

На основе рассчитанного длинного ряда сумм прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации на станции Актру был проведен анализ линейных трендов этих видов солнечной радиации. Коэффициенты наклона линейных трендов прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации показали, что на станции Актру (как и на станции Кош-Агач) в период 1965–2011 гг. наблюдается тенденция к уменьшению их месячных и годовых сумм. Скорость уменьшения годовых

сумм суммарной солнечной радиации на станции Актру составляет 7,65 МДж/м² за 10 лет, прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, – 1,5 МДж/м² за 10 лет, рассеянной радиации – 3,0 МДж/м² за 10 лет. На станции Кош-Агач скорость уменьшения суммарной солнечной радиации – 8,6 МДж/м² за 10 лет, прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, – 4,8 МДж/м² за 10 лет, рассеянной радиации – 2,5 МДж/м² за 10 лет. Коэффициенты наклона линейных трендов месячных и годовых сумм прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации статистически не значимы на уровне значимости 0,05, т.е. изменения солнечной радиации находились в пределах ее естественной изменчивости. Аналогичный вывод был получен и за более ранний период на станции Кош-Агач [5].

Однако даже небольшие изменения сумм солнечной радиации могут сказаться на общем приходе коротковолновой радиации к земной поверхности, что в итоге может повлиять на различные природные процессы, например на развитие и химический состав отдельных видов растений, так как живые организмы чутко реагируют на изменение солнечной радиации.

Тенденция к уменьшению годовых сумм прямой и суммарной солнечной радиации носит не только локальный характер. Такая тенденция отмечена и в других районах, например Москве [6], на большей части территории Предбайкалья [7]. Полученные выводы об уменьшении сумм рассеянной радиации в юго-восточной части Горного Алтая сходны с выводами Н.Н. Густокашиной для отдельных станций Предбайкалья [7]. Однако тенденция к уменьшению прихода рассеянной солнечной радиации не характерна для Москвы, где для годовых сумм рассеянной радиации тренд отсутствует [6].

Заключение

Проведенное исследование показало, что в долине Актру отмечается значительный приход солнечной радиации. Полученные результаты исследования могут быть использованы для оценки возможности применения солнечной радиации как альтернативного источника энергии для снабжения электроэнергией туристических баз и баз отдыха, для оценки благоприятных условий в рассматриваемом районе для развития различных видов рекреации и планирования туристско-рекреационной деятельности. Для выявления влияния изменения прихода солнечной радиации на изменения температуры воздуха, таяние ледников, растительность, почвы и другие природные ресурсы необходимы совместные исследования климатологов, гляциологов, биологов.

Для изучения изменения климата в горно-ледниковом бассейне Актру нужна организация рациональной сети пунктов метеорологических и актинометрических наблюдений на различных высотах, в разных формах рельефа и на разных подстилающих поверхностях.

Для того чтобы оценить в полной мере изменения, происходящие с компонентами окружающей среды в связи с изменениями климата, необходимо продолжать наблюдения за состоянием атмосферы и солнечной радиацией в частности.

Литература

- [1] Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. 299 с.
- [2] Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3: Многолетние данные. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. Вып. 20: Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. Ч. 1–6. 717 с.

- [3] *Атмосфера* : справочник (справочные данные, модели). Л. : Гидрометеиздат, 1991. 510 с.
- [4] *Львовский Е.Н.* Статистические методы построения эмпирических формул. М. : Высш. шк., 1988. 240 с.
- [5] *Севастьянова Л.М., Севастьянов В.В.* Радиационный режим Чуйской котловины в Горном Алтае // *Геоэкология Алтае-Саянской горной страны* : ежегод. междунар. сб. науч. ст. Горно-Алтайск : РИО ГАГУ, 2005. Вып. 2. С. 150–155.
- [6] *Абакумова Г.М.* Тенденция многолетних изменений прозрачности атмосферы, облачности, солнечной радиации и альbedo подстилающей поверхности в Москве // *Метеорология и гидрология*. 2000. № 9. С. 39–63.
- [7] *Густокашина Н.Н.* Многолетние изменения основных элементов климата на территории Предбайкалья. Иркутск : Изд-во Ин-та геогр. СО РАН, 2003. 107 с.

Сведения об авторах

Севастьянова Людмила Михайловна – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: lms40849@gmail.com

Селезнева Юлия Александровна – магистрант кафедры метеорологии и климатологии Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: jaselezneva29@gmail.com

L.M. Sevastyanova, V.V. Sevastyanov

National Exploratory Tomsk State University, Tomsk, Russia

CLIMATIC RESOURCES OF THE AKTRU MOUNTAINOUS-GLACIAL REPRESENTATIVE BASIN (ALTAI)

In this article the meteorological and aerological observations in the Aktru mountainous-glacial basin in Altai are summarized. The peculiarities of cloudiness alteration, air temperatures, relative air humidity, steam tension, and local winds are examined. They are studied according to supervisions at the Aktru and Uchitel stations, on glaciers and on slopes. Numerous characteristics are received for mountainous-valley, glacial winds and foehns. Interaction of local winds with the characteristics of temperature and air humidity has been studied in the Aktru basin. The air temperature lapse rates in the atmosphere over the Aktru valley according to the results of stationary radiosondes are analysed. The comparative observations revealed the peculiarities of microclimates formation at various hours of a day, for separate synoptic periods and for different types of local air circulation in the atmosphere.

Keywords: glaciology; mountainous-glacial basin; meteorological observations; aerological observations; climate.

Reference

- [1] Alisov B.P., Poltarau B.V. *Klimatologiya*. M. : Izd-vo Mosk. un-ta, 1974. 299 p.
- [2] *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR*. Ser. 3: *Mnogoletnie dannye*. SPb. : Gidrometeoizdat, 1993. Vyp. 20: Tomskaya, Novosibirskaya, Kemerovskaya oblasti, Altayskiy kray. Ch. 1–6. 717 p.
- [3] *Атмосфера* : справочник (справочные данные, модели). Л. : Гидрометеиздат, 1991. 510 с.
- [4] *Л'вовский Е.Н.* *Staticheskies metody postroeniya empiricheskikh formul*. M. : Vyssh. shk., 1988. 240 p.
- [5] *Sevast'yanova L.M., Sevast'yanov V.V.* *Radiatsionnyy rezhim Chuyskoy kotloviny v Gornom Altae // Geoekologiya Aliae-Sayanskoy gornoy strany* : ezhegod. mezhdunar. sb. nach. st. Gorno-Altaysk : RIO GAGU, 2005. Vyp. 2. P. 150–155.
- [6] *Abakumova G.M.* *Tendentsiya mnogoletnikh izmeneniy prozrachnosti atmosfery, oblachnosti, solnechnoy radiatsii i al'bedo po-dstilyayushchey poverkhnosti v Moskve // Meteorologiya i gidrologiya*. 2000. No. 9. P. 39–63.
- [7] *Gustokashina N.N.* *Mnogoletnie izmeneniya osnovnykh elementov klimata na territorii Predbaykal'ya*. Irkutsk : Izd-vo In-ta geogr. SO RAN, 2003. 107 p.