

Сравнительный анализ прихода суммарной радиации в Западной Сибири по данным реанализа и сетевых наблюдений

И.И. Исполитов¹, С.В. Логинов¹, В.В. Севастьянов^{2*}

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

634021, г. Томск, пр. Академический, 10/3

² Томский государственный университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 2.10.2008 г.

Рассмотрена возможность применения радиационных данных реанализа NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis для задач пространственной интерполяции. Для территории Западной Сибири и Алтая были проанализированы месячные суммы радиации. Показано, что для равнинных актинометрических станций наблюдается хорошее согласие между данными реанализа и наблюдений.

Ключевые слова: солнечная радиация, суммарная радиация, реанализ, картографирование, пространственная и временная изменчивость.

Режим солнечной радиации является ведущим климатообразующим процессом. Мониторинг климатических систем невозможен без учета динамики прихода солнечной радиации. Существующая сеть актинометрических станций в Западной Сибири очень редка. В пределах региона действует только восемь станций. Александровское (север Томской области), Кузедеево (Кемеровская область), Благо-

вешенка (Алтайский край), Огурцово, Баган (Новосибирская область), Кош-Агач, Актру, Яйлю (Республика Алтай). Дополнительно были рассмотрены материалы по суммарной радиации в соседних регионах — Буран (Восточно-Казахстанская обл.), Хакасская (Республика Хакасия), Кызыл (Республика Тыва). Краткая характеристика географического положения актинометрических станций при-

Таблица 1

Краткая характеристика местоположения актинометрических станций

| Станция | Местоположение |
|---|---|
| Александровское 60°26' с.ш., 77°52' в.д., 47 м над у. м. | На востоке Среднесибирской низменности. На расстоянии 1–1,5 км от станции находится река Обь. |
| Огурцово (Баган) 55°54' с.ш., 82°57' в.д., 133 м над у. м. | На востоке Барабинской низменности. На юго-востоке от станции в 1,5 км находится Новосибирское водохранилище. |
| Кузедеево 53°20' с.ш., 87°10' в.д., 291 м над у. м. | На восточном склоне Салаирского кряжа, в северной части Горной Шорши в долине р. Кондомы. |
| Благовещенка 52°57' с.ш., 79°56' в.д., 126 м над у. м. | В 30 километрах от оз. Кулундинского и оз. Кучукского, которые находятся западнее станции. |
| Яйлю 51°46' с.ш., 87°36' в.д., 479 м над у. м. | В северной части побережья Телецкого озера на стыке меридиональной и широтной частей озера, в 250 м от берега и на 43 м выше уровня озера. |
| Актру 50°05' с.ш., 87°44' в.д., 2150 м над у. м. | В высокогорной долине р. Актру в Северо-Чуйском хребте, ориентирована с ЮЗ на СВ. Ширина долины около 300 м. Высота отрогов горных хребтов, ограничивающих долину, составляет 900–1500 м над уровнем станции. |
| Хакасская 53°46' с.ш., 91°29' в.д., 250 м над у. м. | В северо-западной части Минусинской котловины. Степная засушливая зона. Рельеф представляет плоскую равнину, обрамленную горами. |
| Кызыл 51°43' с.ш., 94°30' в.д., 628 м над у. м. | В Тувинской котловине. Долина верхней части р. Енисей. С севера на расстоянии 7 км находятся отроги Западного и Восточного Саяна, с юга — хребет Тану-Ол. |
| Кош-Агач 50°01' с.ш., 88°41' в.д., 1758 м над у. м. | В северной части Чуйской котловины. Окружена со всех сторон горами. Ближайший к ней хребет — Курайский в 5 км к северу. Высота окружающих гор 1800–2300 м над уровнем станции. |
| Буран 48°00' с.ш., 85°12' в.д., 415 м над у. м. | В Зайсанской котловине. На юге Зайсанской котловины поднимаются хребты Тарбагатай (3134 м) и Саур (3816 м). |

* Иван Иванович Исполитов (seo@imces.ru); Сергей Владимирович Логинов (seo@imces.ru); Владимир Вениаминович Севастьянов (sevvv@mail.tomsknet.ru).

ведена в табл. 1, а на рис. 1 показано расположение выбранных станций. Станции расположены в различных географических районах Сибири и Алтая.

Особенностью рассматриваемого участка сети актинометрических станций является разнообразие ландшафта.

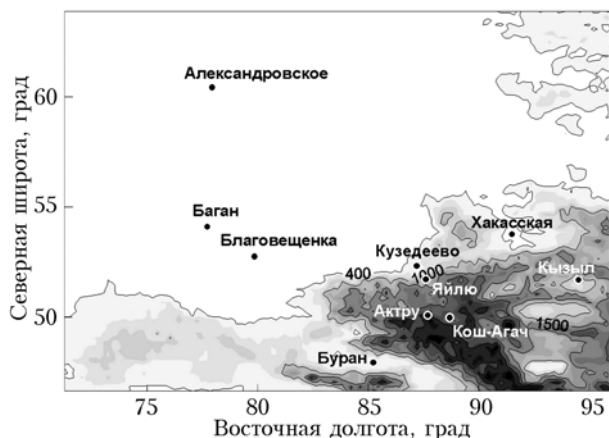


Рис. 1. Географическое расположение актинометрических станций в Сибири

Информация о радиационном режиме Западной Сибири помещена в «Справочники по климату СССР» [1]. В них содержится краткая характеристика пространственного и временного распределения следующих элементов солнечной радиации: радиационного баланса, солнечного сияния, прямой радиации на горизонтальную поверхность, рассеянной и суммарной радиации. Справочники составлены на основе материалов актинометрических наблюдений метеорологических станций Томской, Новосибирской областей и Алтайского края за период 1959–1964 гг. Данные по станции Яйлю взяты из монографии «Телецкое озеро» [2].

Научно-прикладной справочник по климату СССР [3] содержит результаты климатологической обработки наблюдений, проводимых на метеостанциях Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края, с длительными и однородными рядами наблюдений с 1963 до 1980 г. В нем приведены многолетние значения потоков лучистой энергии и их среднеквадратические отклонения.

В последние годы в различных геофизических задачах в качестве источника климатических (геофизических) данных активно применяются данные, получаемые из проектов реанализов [4, 5]. Основным достоинством глобальных баз данных реанализов является пространственно-временная непрерывность.

В реанализе NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis для исследования радиационных процессов выделена группа данных, описывающих потоки солнечной радиации и элементов теплового баланса [6]. Земной шар покрыт сетью с количеством узлов 192×94 по долготе и широте, что задает пространственное разрешение $1,875^\circ \times 1,915^\circ$. Использовались данные 6-часового разрешения за период 1979–2006 гг. По данным реанализа, за каждый срок были построены поля суммарной радиации

(Q_R) над территорией Западной Сибири в пределах от 48 до 63° с.ш. и от 73 до 96° в.д.

Для оценки точности расчетов прихода суммарной радиации сравнивались данные реанализа Q_R с данными фактических наблюдений Q_S на актинометрических станциях, расположенных в различных физико-географических условиях. Для сравнения показателей проводилось двумерное интерполирование на точки с координатами актинометрических станций.

Погрешности определения месячных и годовых сумм суммарной радиации достаточно полно изучены в работе [7], из которых следует, что исходные ряды месячных и годовых сумм радиации, полученные в условиях существующей сети, имеют погрешность измерения 3–5% в теплый период года и значительно большие погрешности 8–10% в холодную часть года. При таких инструментальных погрешностях средние годовые суммы суммарной радиации могут быть рассчитаны с погрешностью 2% [7].

Результаты и обсуждение

В табл. 2 приведены состоятельные средние многолетние значения месячных сумм Q_R , определенных по данным реанализа, и фактических значений месячных сумм Q_S .

Для равнинной части территории – станции Александровское, Огурцово, Баган, Благовещенка, погрешность годовых сумм d составила 12–15%. Максимальные значения d (23–27%) приходятся на апрель и октябрь, минимальные – на зимние месяцы.

Наиболее близкие значения фактических данных о суммарной радиации и данных реанализа (в пределах погрешностей измерения) наблюдаются в горных районах с минимальной облачностью и соответственно с максимальной продолжительностью солнечного сияния. В таких межгорных котловинах формируются засушливые полупустынные и пустынные ландшафты. К таким районам относятся Чуйская (ст. Кош-Агач) и Зайсанская котловины (ст. Бурган).

В обширных горных котловинах (Чуйская степь – ст. Кош-Агач; Зайсанская котловина – юго-западный Алтай, ст. Бурган), отличающихся большим числом часов солнечного сияния, небольшой облачностью, наблюдаются минимальные отклонения между расчетными и фактическими значениями. Так, например, на ст. Кош-Агач расхождение годовых сумм составило 1%, а на ст. Бурган несколько больше 4%. Годовой ход Q_R воспроизводит изменения Q_S неплохо – в пределах 15%. При этом для 10 мес, включая летние с максимальным количеством радиации, значения d не превышали 10%. На ст. Кызыл годовой ход Q_R удовлетворительно воспроизводит изменения Q_S . В летние месяцы расхождение Q_R и Q_S минимально (~5–8%), и только в мае погрешность d достигает 21%. Расхождение годовых сумм составило 11%.

Средние месячные и годовые значения суммарной радиации в Западной Сибири, МДж/м²
(рассчитанные по данным реанализа – Q_R и фактические – Q_S)

| Станция | Показатель | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|-----------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| Александровское | Q_R | 31 | 109 | 308 | 520 | 674 | 690 | 652 | 484 | 288 | 143 | 46 | 15 | 3959 |
| | Q_S | 36 | 111 | 302 | 464 | 555 | 615 | 609 | 422 | 231 | 113 | 48 | 20 | 3526 |
| Баган | Q_R | 90 | 186 | 400 | 568 | 692 | 725 | 684 | 550 | 361 | 213 | 106 | 62 | 4637 |
| | Q_S | 87 | 187 | 364 | 449 | 572 | 647 | 609 | 490 | 305 | 174 | 93 | 63 | 4038 |
| Кузедеево | Q_R | 109 | 208 | 424 | 599 | 738 | 749 | 710 | 592 | 403 | 247 | 124 | 79 | 4981 |
| | Q_S | 84 | 163 | 340 | 435 | 513 | 591 | 574 | 464 | 298 | 171 | 90 | 61 | 3784 |
| Благовещенка | Q_R | 108 | 210 | 432 | 595 | 716 | 741 | 709 | 579 | 386 | 234 | 122 | 77 | 4911 |
| | Q_S | 102 | 188 | 373 | 484 | 623 | 684 | 645 | 543 | 358 | 210 | 106 | 77 | 4390 |
| Кош-Агач | Q_R | 140 | 243 | 462 | 641 | 792 | 770 | 712 | 608 | 451 | 298 | 158 | 107 | 5381 |
| | Q_S | 158 | 270 | 471 | 592 | 708 | 710 | 692 | 614 | 470 | 315 | 176 | 123 | 5302 |
| Буран | Q_R | 171 | 275 | 504 | 679 | 848 | 818 | 752 | 657 | 501 | 340 | 189 | 133 | 5865 |
| | Q_S | 184 | 285 | 457 | 586 | 742 | 775 | 763 | 670 | 498 | 323 | 193 | 138 | 5614 |
| Актру | Q_R | 138 | 240 | 460 | 640 | 794 | 767 | 709 | 604 | 447 | 294 | 155 | 105 | 5352 |
| | Q_S | 59 | 179 | 359 | 559 | 669 | 599 | 569 | 494 | 380 | 215 | 119 | 49 | 4250 |
| Яйлю | Q_R | 116 | 216 | 434 | 610 | 752 | 752 | 709 | 595 | 413 | 259 | 131 | 85 | 5072 |
| | Q_S | 92 | 172 | 369 | 415 | 419 | 515 | 494 | 411 | 314 | 189 | 105 | 75 | 3570 |
| Хакасская | Q_R | 94 | 190 | 406 | 586 | 722 | 733 | 699 | 571 | 378 | 228 | 109 | 65 | 4782 |
| | Q_S | 69 | 149 | 313 | 437 | 539 | 639 | 609 | 483 | 313 | 174 | 84 | 51 | 3860 |
| Кызыл | Q_R | 120 | 223 | 439 | 622 | 784 | 745 | 683 | 578 | 418 | 274 | 137 | 88 | 5112 |
| | Q_S | 105 | 199 | 410 | 525 | 647 | 692 | 640 | 550 | 402 | 231 | 124 | 79 | 4604 |

Наибольшие различия между фактическими данными о суммах суммарной радиации и расчетными по реанализу наблюдаются в горных местностях. Относительные погрешности d в эти месяцы составили: 79% на ст. Яйлю в мае и 44% на ст. Кузедеево в мае и октябре. Аномально высокие значения d отмечаются на ст. Актру (Северо-Чуйский хребет) в зимний период (134% в январе и 114% в декабре). В целом сезонный ход d на ст. Актру характеризуется значительными величинами: для 9 мес в году $d > 20\%$, т.е. годовая сумма Q_R , определенная по данным реанализа, превышает более чем на 20% фактическую годовую сумму Q_S .

Подобное поведение d характерно для ст. Кузедеево, Яйлю и Хакасская, причем для ст. Кузедеево относительная погрешность d превышала 25% в течение всего года. Значительные расхождения на горных станциях объясняются закрытостью горизонта и увеличенной облачностью в горных долинах.

На ст. Актру в зимние месяцы солнце поднимается над долиной только на очень короткое время, а в декабре не появляется вовсе. Можно считать, что в горах данные реанализа характеризуют приход суммарной радиации на открытых водораздельных участках. На склонах, на дне долин следует учитывать их экспозицию, крутизну, продолжительность солнечного сияния и ряд других географических характеристик [8, 9].

Исследование зависимости средних многолетних сумм солнечной радиации на пяти актинометрических станциях (Александровское, Кузедеево, Благовещенка, Огурцово, Баган, Кош-Агач) от сумм, рассчитываемых по данным реанализа в ближайших узлах сетки, показало, что зависимость имеет линейный характер с высокой теснотой связи – коэффициент детерминации 0,97.

Самые большие различия между значениями суммарной радиации, определяемыми по данным реанализа, и фактическими отмечаются на всех станциях в весеннее время (апрель, май) и осенью – октябрь. В переходные периоды происходит перестройка общей циркуляции атмосферы.

Пространственные распределения средних многолетних значений Q_R в январе, июле и за год приведены на рис. 2. В январе на рассматриваемой территории приход суммарной радиации значительно увеличивается с севера на юг – от 40 до 200 МДж/м² и носит зональный характер. В июле значения суммарной радиации увеличиваются с севера на юг – от 650 до 800 МДж/м². Над горными территориями юга Сибири зональность распределения суммарной радиации заметно искажается. Отметим, что западная часть Горного Алтая получает больше солнечной радиации, чем его восточная часть, а также Салаирский кряж и Кузнецкий Ала-тау. Наибольшие отклонения происходят в теплый период (май–август). Нарушение зональности происходит вдоль переходной зоны от равнинной части Западной Сибири к ее горной части. Связано это с усилением циклонической деятельности в горах, образованием облачных систем и изменением соотношения составляющих суммарной радиации. Распределение годовых сумм суммарной радиации изменяется от 4000 до 6000 МДж/м² и имеет характер, близкий к зональному.

С целью исследования временной изменчивости прихода суммарной радиации за период с 1979 по 2003 г. был проведен корреляционный анализ месячных сумм радиации Q_R и Q_S , который показал сложный и неоднозначный характер связей. Поэтому данные реанализа по суммарной радиации целесообразно использовать только для средних многолетних величин.

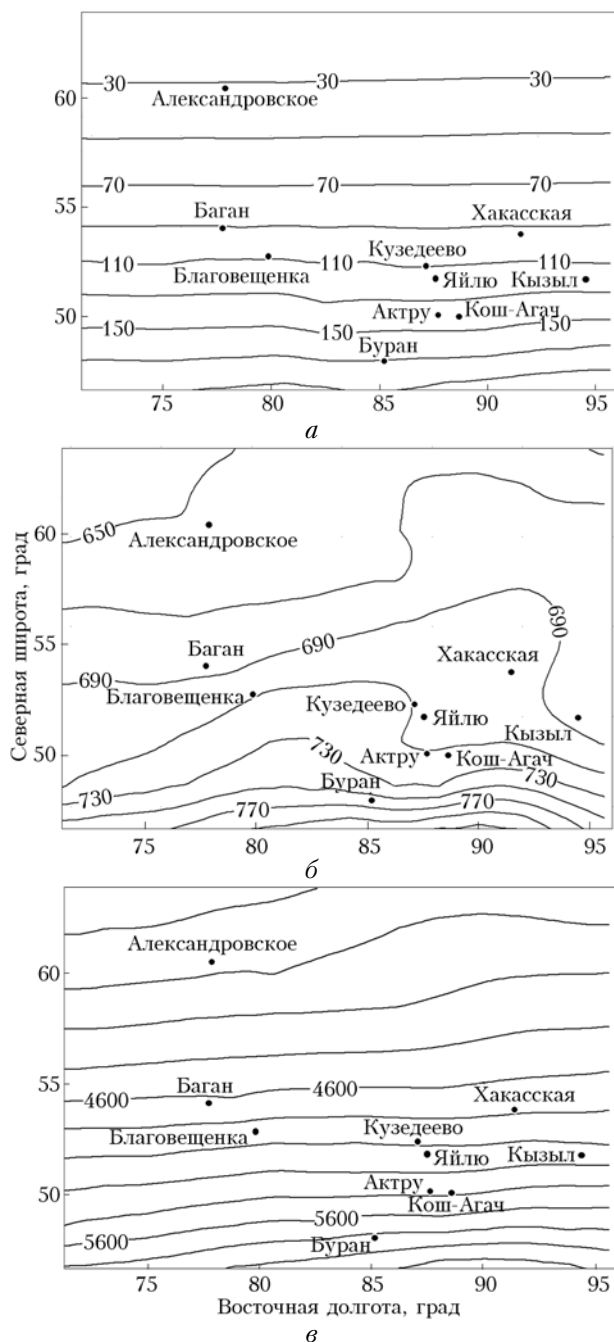


Рис. 2. Средние суммы суммарной солнечной радиации, рассчитанные по данным реанализа Q_R , МДж/м²: а – январь, б – июль, в – год

Заключение

Таким образом, радиационный блок NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis в целом удовлетворительно воспроизводит сезонный ход средних месячных сумм суммарной радиации. Данные реанализа объективно характеризуют распределение суммарной радиации над Западной Сибирью, в том числе и над

горными районами. Они достаточно хорошо отражают взаимодействие основных климатообразующих процессов и географических факторов.

В котловинах горных районов юга Сибири данные реанализа по суммарной солнечной радиации практически совпадают с данными актинометрических станций.

Среднегодовые значения суммарной радиации Q_R для равнинных территорий Западной Сибири следует уменьшать на 12–15% в связи с некорректным учетом методикой реанализа прихода рассеянной радиации.

В горных районах данные по суммарной радиации следует относить к открытым водораздельным пространствам. Для учета сумм суммарной радиации на склонах, в долинах, на ледниках следует учитывать экспозицию, продолжительность солнечного сияния и другие географические факторы. Уменьшение сумм Q_R может составить от 30 до 40% и более.

Применение данных реанализа позволяет учитывать региональные особенности распределения суммарной радиации, учитывающие влияние общей циркуляции атмосферы и ее взаимодействие с орграфическими условиями.

Работа была выполнена в рамках проекта фундаментальных исследований СО РАН на 2007–2009 гг. № 7.10.1.1 «Исследование климатообразующих атмосферных процессов с учетом воздействия глобальных и региональных факторов».

1. *Справочник по климату СССР*: В 34 вып., в 5 ч. Л.: Гидрометеонздат, 1965–1970. Вып. 10, 13–15, 18, 20–23.
2. *Селегей В.В., Селегей Т.С.* Телецкое озеро. Л.: Гидрометеонздат, 1978. 141 с.
3. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. Серия 3. Многолетние данные. Вып. 20. Ч. 1–6. СПб.: Гидрометеонздат, 1993. 717 с.
4. *Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1996. V. 77. N 3. P. 437–471.
5. *Рубинштейн К.Г., Стерин А.М.* Сравнение результатов реанализа с аэрологическими данными // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2002. Т. 38. № 3. С. 301–315.
6. <http://www.cdc.noaa.gov/PublicData/> (дата обращения: 22/07/2008).
7. *Пивоварова З.И.* Радиационные характеристики климата СССР. Л.: Гидрометеонздат, 1977. 335 с.
8. *Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П.* Радиационный режим наклонных поверхностей. Л.: Гидрометеонздат, 1978. 215 с.
9. *Пигольцина Г.Б.* Учет влияния закрытости горизонта при оценке радиационного режима в условиях сложного рельефа // *Гидрологические исследования в Сибири*. Томск: Изд-во ТГУ, 1997. С. 67–68.

I.I. Ippolitov, S.V. Loginov, V.V. Sevast'yanov. Comparative analysis of total radiation in West Siberia by Reanalysis data and network observations.

A possibility of using the radiation data of Reanalysis NCEP/DOE AMIP-II for problem of spatial interpolation is considered. The monthly sums of accumulated radiation for West Siberia and Altaj was analyzed. A good accordance between Reanalysis data and data of actinometrical stations is observed.