

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 911.2:551.5

Е. В. МАКСЮТОВА

### ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ГЕОСИСТЕМ МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

*Приведена количественная оценка баланса коротковолновой радиации и радиационного баланса геосистем за годовой и вегетационный периоды, рассмотрена пространственная дифференциация радиационного баланса, выявлено соотношение величин радиационного баланса геосистем и открытых участков.*

*A numerical estimate is made of the short-wavelength radiation balance and radiative balance of the geosystems for an annual and a growth period. The spatial differentiation of the radiative balance is considered. The study revealed a correlation between the values of radiative balance for geosystems and open spaces.*

В условиях возрастающего антропогенного воздействия на природу приоритетными становятся вопросы сохранения и улучшения состояния окружающей среды, во многом связанные с комплексной географической оценкой геосистем, прежде всего с их природной энергетической составляющей. Для количественной оценки природных энергетических ресурсов территории необходимы сведения о радиационном режиме и тепловом балансе.

В многочисленных работах о географических закономерностях преобразования солнечной энергии на поверхности Земли для определения составляющих энергетического баланса использованы данные по актинометрии и расчеты по полуэмпирическим формулам, связывающим составляющие баланса с метеорологическими элементами, наблюдаемыми на основной сети станций и характеризующими открытые участки с травянистой растительностью. Для энергетической характеристики участков с различными ландшафтными условиями необходимо вводить поправки, или допущения, обусловленные их свойствами.

Физиономическим признаком при ландшафтнй индикации выступает растительный покров, поэтому при исследовании теплового и радиационного баланса типов растительного покрова для выделения однородных по отражательной способности контуров используются геоботанические карты [1, 2]. Еще в большей степени при составлении таких карт основой могут служить ландшафтные, являющиеся синтезом отраслевых картографических документов.

Территория исследования — Минусинская котловина — располагается между 52–54° с. ш. и 89–94° в. д. и включает Южно-Минусинскую, Сыдо-Ербинскую котловины, а также южную часть Чулымо-Енисейской (Ширинская степь). В административном отношении в нее входят 15 районов Красноярского края и Республики Хакасия общей площадью 136,4 км<sup>2</sup>.

На территории Минусинской котловины более 30 лет функционировали два стационара Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. За этот период собран, обработан и опубликован обширнейший материал о структуре, динамике и эволюции геосистем и их компонентов. Ряд работ посвящен изучению радиационного режима отдельных районов Сибири и микроклимата в природных системах топологического уровня [3, 4]. В данной работе на основе показателей составляющих радиационного баланса, установленных при помощи расчетных методов по данным метеорологических станций [5] и материалов по отражательной способности различных видов растительного покрова [1], рассмотрен радиационный баланс геосистем Минусинской котловины за годовой и вегетационный периоды.

На основе ландшафтной карты Минусинской котловины [6] выделены интегрированные ареалы геосистем ранга классов фаций (ИГ), однородных по отражательной способности растительного покрова [7]: 1) гольцовые альпинотипные и подгольцовые тундрово-луговые — геосистемы гольцового альпинотипного и подгольцового тундрово-лугового классов фаций; 2) таежные темнохвойные — классы фаций среднегорного темнохвойного редуцированного, среднегорного темнохвойного ограниченного и низкогорного темнохвойного оптимального развития; 3) таежные вторичные смешанные и мелколиственные — низкогорные темнохвойные оптимального развития и долинные классы фаций; 4) подтаежные низкогорные светлохвойные — низкогорные светлохвойные классы фаций; 5) подтаежные смешанные, подгорные и межгорных понижений светлохвойные — низкогорно-котловинные смешанные, подгорные и межгорных понижений светлохвойные классы фаций; 6) подтаежные долинные лиственные и луга — долинные классы фаций подтаежного южносибирского геома; 7) лесостепные — низкогорные, подгорные и равнинные классы фаций лесостепи; 8) лесостепные долинные луга — долинные классы фаций лесостепного южносибирского геома; 9) степные — низкогорные, подгорные, равнинные классы фаций; 10) пахотные — все пахотные агроландшафты.

Радиация, поступающая от Солнца на Землю, — единственная форма прихода лучистой энергии, определяющей тепловой баланс и термический режим Земли. Представляет интерес та часть инсоляции, которая доходит до подстилающей поверхности в виде прямой ( $S'$ ) и рассеянной ( $D$ ) радиации, сумму которых принято называть суммарной солнечной радиацией:  $Q = S' + D$ .

Расчетные величины коротковолновой радиации [5] позволили оценить количество солнечной радиации, приходящей к выделенным интегрированным ареалам геосистем, однородным по отражательной способности растительного покрова котловины и ее горного обрамления за два периода — годовой и вегетационный (май—сентябрь). В среднем за год на днище котловины, где распространены лесостепные и лесостепные долинные луга, степные и пахотные ИГ, поступает около 4200–4400 МДж/м<sup>2</sup> суммарной радиации (см. таблицу). Интегрированные ареалы геосистем, входящие в состав подтаежного и таежного южносибирских геома, получают 4000–4200 МДж/м<sup>2</sup> радиации. Приход  $Q$  к гольцовым и подгольцовым ИГ рассматривался по расчетным данным метеостанций Оленья Речка и Ненастная, расположенных на выс. 1186 и 1404 м соответственно.

С мая по сентябрь приход солнечной радиации на территорию котловины дифференцируется следующим образом: на гольцовые альпинотипные и подгольцовые тундрово-луговые ИГ приходится около 2700–2770 МДж/м<sup>2</sup>, что составляет 63–66 % годовой суммарной радиации; для ИГ, сосредоточенных в днище котловины (лесостепные, лесостепные долинные луга, степные и пахотные), он равен 2700–2860 МДж/м<sup>2</sup> (61–68 %); в геосистемах подтаежного геома — около 2620–2800, таежного — 2600–2700 МДж/м<sup>2</sup> (соответственно 62–70 % и 62–68 %).

Не вся радиация, поступающая на поверхность Земли, участвует в дальнейшем обороте тепла, довольно существенная ее часть отражается поверхностью в атмосферу. Количество такой радиации зависит от отражательных свойств деятельной поверхности и характеризуются альбедо ( $A$ ) — численным отношением отраженной радиации к суммарной. Нами применены обобщенные результаты всех измерений альбедо различных видов естественной подстилающей поверхности, использовавшиеся для определения поглощенной радиации на территории таежной зоны Сибири [1].

Геосистемы таежного геома, круглый год сохраняющие зеленую хвою, отличаются самой низкой отражательной способностью: их альбедо летом составляет 13–14 %, а за год — 16–20 % (см. таблицу); геосистемы подтаежного геома отражают за год 24 % солнечной радиации, при этом за май—сентябрь — 15–17 %; геосистемы лесостепного и степного геома — 22–23 % за год и 16 % за вегетационный период. В пахотных ИГ годовое альбедо составляет 25 %, в вегетационный период альбедо зерновых культур изменяется от 16–18 % в мае и сентябре до 25 % в августе, в геосистемах гольцовых альпинотипных и подгольцовых тундрово-луговых в среднем за год — 33 %, летом — 14 %.

Разность между суммарной и отраженной радиацией представляет поглощенную радиацию, или баланс коротковолновой радиации  $B_k = Q(1 - A)$ . Максимальные ее значения за год приходятся на таежные темнохвойные ИГ (см. таблицу), минимальное — на гольцовые альпинотипные и подгольцовые тундрово-луговые, где высокие значения альбедо растительности связаны с продолжительным периодом залегания снежного покрова. Поглощенная радиация в летний период вносит наибольший вклад в ее годовую сумму.

Наибольшие различия в годовых суммах поглощенной радиации, рассчитанных для метеорологических станций и ИГ, характерны для таежных темнохвойных и подтаежных — 22 % и 14 % соответственно. Отражательные свойства степных, пахотных и лесостепных геосистем близки к таковым поверхности площадок метеорологических станций, поэтому и различия в величине поглощенной радиации между ними минимальны (2–5 %). Лесостепные долинные луга по величине поглощенной радиации на 6 % превышают таковую для поверхности метеоплощадок.

**Составляющие баланса коротковолновой радиации в геосистемах Минусинской котловины за вегетационный и годовой периоды, МДж/м<sup>2</sup>**

Геомы	Интегрированные ареалы геосистем	Вид радиации	Период	
			вегетационный (май–сентябрь)	годовой
Гольцовые и подгольцовые южносибирские	1. Гольцовые альпинотипные и подгольцовые тундрово-луговые	Q	2700–2770	4200–4300
		A	14	33
		B <sub>к</sub>	2320–2380	2810–2880
Таежные южносибирские	2. Таежные темнохвойные	Q	2600–2700	4000–4200
		A	13	16
		B <sub>к</sub>	2260–2350	3360–3530
	3. Таежные вторичные смешанные и мелколиственные	Q	2600–2700	4000–4200
		A	14	20
		B <sub>к</sub>	2235–2320	3200–3360
Подтаежные южносибирские	4. Подтаежные низкогорные светлохвойные	Q	2620–2800	4000–4200
		A	15	24
		B <sub>к</sub>	2230–2380	3040–3190
	5. Подтаежные смешанные, подгорные и межгорных понижений светлохвойные	Q	2620–2800	4000–4200
		A	16	24
		B <sub>к</sub>	2200–2350	3040–3190
	6. Подтаежные долинные лиственные и луга	Q	2620–2800	4000–4200
		A	17	24
		B <sub>к</sub>	2175–2325	3040–3190
Лесостепные южносибирские	7. Лесостепные	Q	2700–2860	4200–4400
		A	16	22
		B <sub>к</sub>	2270–2400	3275–3430
	8. Лесостепные долинные луга	Q	2700–2860	4200–4400
		A	16	23
		B <sub>к</sub>	2270–2400	3230–3390
Степные южносибирские	9. Степные	Q	2700–2860	4200–4400
		A	16	22
		B <sub>к</sub>	2270–2400	3275–3430
Агроландшафты	10. Пахотные	Q	2700–2860	4200–4400
		A	20	25
		B <sub>к</sub>	2160–2290	3150–3300

Примечание. Q — суммарная радиация; A — альbedo; B<sub>к</sub> — поглощенная радиация.

Кроме потери части приходящей коротковолновой радиации в связи с ее отражением при расчетах радиационного баланса (B) необходимо учитывать расход тепла за счет эффективного излучения (E<sub>эф</sub>), зависящего от температуры и влажности воздуха и их вертикальных градиентов, температуры подстилающей поверхности и облачности. Такими данными для ИГ мы не располагаем. Следует отметить, что материалов по исследованию эффективного излучения естественных поверхностей, особенно лесов, крайне недостаточно. Как установлено по результатам исследований радиационного режима южной тайги Нижнего Приангарья [8], в летний период величины длинноволнового излучения над таежным темнохвойным лесом и открытой местностью выравниваются, а годовая сумма E<sub>эф</sub> темнохвойного леса на 8–10 % выше, чем на поверхности метеоплощадок.

На основе сказанного эффективное излучение определено как остаточный член из выражения  $E_{эф} = B_k - B$ , где B и B<sub>к</sub> — рассчитанные значения для поверхности метеорологических площадок [5]. Для расчета E<sub>эф</sub> геосистем подтаежного геома принята средняя величина его годовых значений для метеостанций, относящихся к лесной зоне (Оленья Речка, Ненастная, Неожиданный Прииск), — 1615 МДж/м<sup>2</sup>; в геосистемах таежного геома этот показатель на 10 % выше — 1780 МДж/м<sup>2</sup>. За вегетационный период величина E<sub>эф</sub> для геосистем таежного и подтаежного геома составила 800 МДж/м<sup>2</sup>, его годовые и сезонные значения для гольцовых альпинотипных и подгольцовых тундрово-луговых ИГ приняты по результатам наблюдений высокогорной станции Ильчир [9] — соответственно 1850 и 820 МДж/м<sup>2</sup>.

Поскольку степные ИГ по характеру растительности сходны с поверхностью метеорологических площадок, при расчете радиационного баланса принято среднее значение эффективного излучения

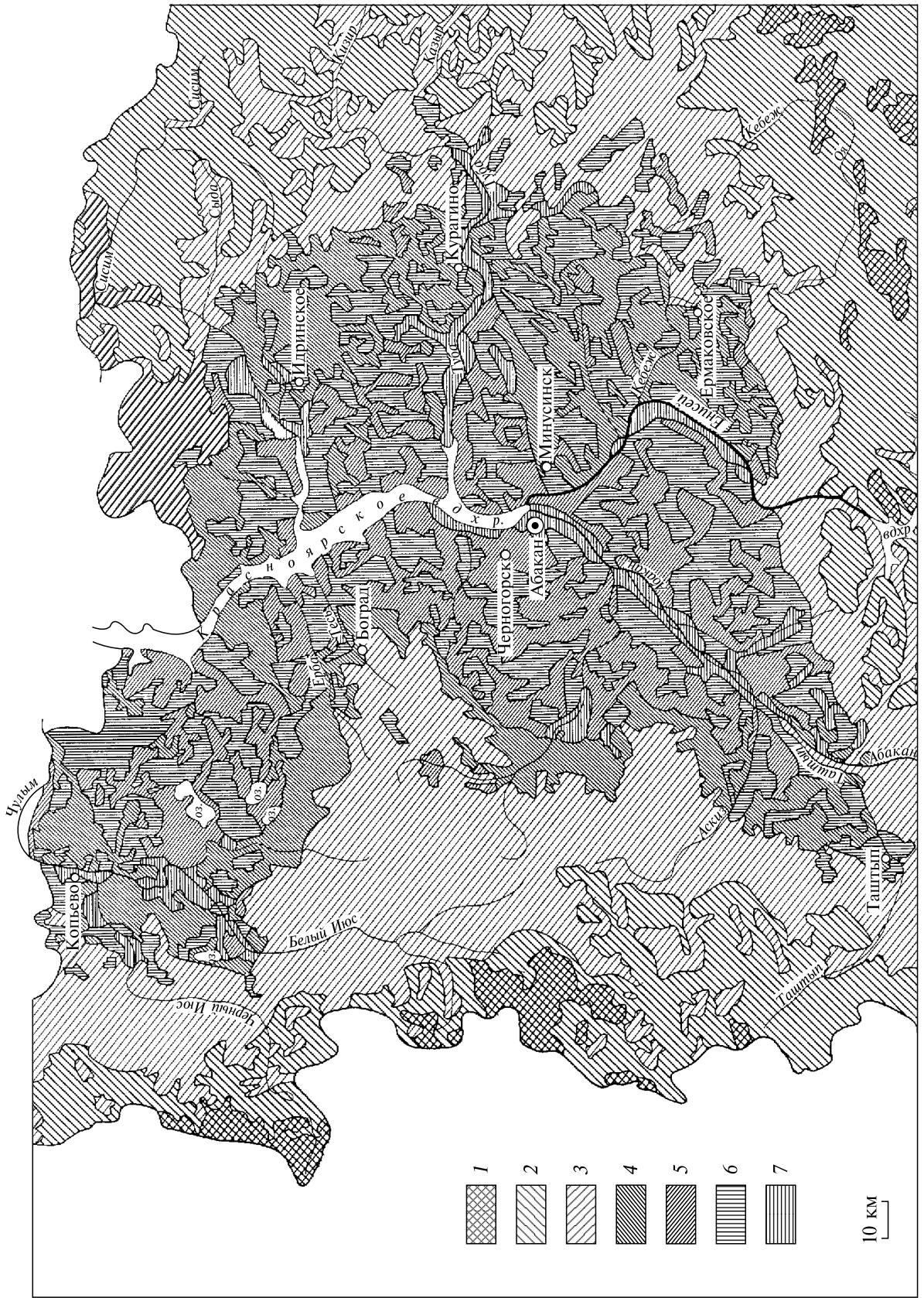


Рис. 1. Пространственная дифференциация радиационного баланса геосистем за год.

Радиационный баланс, МДж/м<sup>2</sup>: 1 — 960–1030 (гольцовые альпинотипные и подгольцовые тундрово-луговые); 2 — 1030–1580 (таежные темнохвойные); 3 — 1425–1575 (таежные вторичные смешанные леса и мелколиственные, подтаежные низкогорные светлохвойные, подтаежные смешанные, подгорные и межгорных понижений светлохвойные, подтаежные долинные лиственные и луга); 4 — 1575–1930 (лесостепные); 5 — 1730–1890 (лесостепные долинных луга); 6 — 1775–1930 (степные); 7 — 1650–1800 (пахотные).

по данным метеостанций, расположенных в степной зоне — Шира, Уйбат, Хакасская, что составило 1500 МДж/м<sup>2</sup> за год и 820 МДж/м<sup>2</sup> за период май–сентябрь. Эффективное излучение геосистем лесостепного геоба принято аналогичным таковому степных геосистем.

Баланс коротковолновой радиации существенно зависит от характера подстилающей поверхности, поэтому и радиационный баланс будет значительно меняться в зависимости от смены растительного покрова и отличаться от его значений, рассчитанных для поверхности площадок метеостанций. В результате радиационный баланс геосистем за годовой период в днище котловины изменяется от 1575 до 1930 МДж/м<sup>2</sup>. В горном обрамлении этот показатель закономерно уменьшается с увеличением высоты местности — от 1425 до 960 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 1).

Радиационный баланс ИГ за год и вегетационный сезон имеет близкие величины, поскольку его отрицательные и положительные значения за «невегетационный» сезон в известной мере компенсируют друг друга. Для гольцовых альпинотипных и подгольцовых тундрово-луговых ИГ этот показатель за май–сентябрь заметно превышает годовую величину и составляет 1500–1560 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 2). Это связано с быстрым ростом здесь температуры весной, в результате чего компенсация между отрицательными и положительными величинами баланса за «невегетационный» период оказывается неполной.

За период вегетации радиационный баланс в днище котловины изменяется от величин, характерных для пахотных ИГ (1340–1470 МДж/м<sup>2</sup>), до свойственных лесостепным, лесостепным долинным лугам и степным ИГ (1450–1580 МДж/м<sup>2</sup>). За счет меньшего альбеда радиационный баланс таежных темнохвойных за май–сентябрь высок и составляет 1460–1550 МДж/м<sup>2</sup>, таежных вторичных смешанных лесов и мелколиственных — 1435–1520 МДж/м<sup>2</sup>. К последней величине близок показатель для подтаежных светлохвойных, подтаежных смешанных и подгорных и межгорных понижений светлохвойных, подтаежных долинных лиственных и лугов (см. рис. 2).

Величины радиационного баланса геосистем за годовой период отличаются от его фоновых значений ( $V_{\phi}$ ), характерных для открытых участков. Соотношение  $V/V_{\phi}$  за год составляет для таежного геоба 1,3–1,4; для подтаежного — 1,4; лесостепного — 1,05–1,1; степного — 1,0. За вегетационный период эти показатели таковы: для таежного и подтаежного геобов — 1,1–1,2; лесостепного — 1,0–1,1; степного — 1,0.

По исследованиям в Центральной Якутии [10] годовая сумма радиационного баланса леса ( $V_{л}$ ) больше, чем безлесной территории ( $V_{б}$ ) для лиственного леса — в 1,46 раза, для березового и соснового леса — в 1,37 и 1,6 раза соответственно. Годовая величина радиационного баланса таежной зоны Восточной Сибири в среднем на 50 % выше, чем на лишенных древесной растительности участках, в том числе и на площадках актинометрических станций [8]. Применительно к равнинам европейской части нашей страны, Западной Сибири и Казахстана в целом за год соотношение  $V_{л}/V_{б}$  для смешанных и хвойных лесов составляет 1,20–1,37 [11]. В целом за год различия в радиационном режиме лесных ландшафтов и безлесных участков в условиях Сибири вследствие длительности зимнего периода значительнее, чем для европейской территории страны [10].

За вегетационный период в Приангарье радиационный баланс леса больше, чем открытой местности на 15–20 % [8]; в условиях Центральной Якутии  $V_{л}/V_{б}$  для соснового и елового леса — 1,3–1,4, березового и смешанного — 1,1–1,2 [10]; для различных лесов европейской территории — 1,05 [11]. Согласно энергетической оценке равнинных районов Прииртышья с учетом разнообразия растительного покрова [2], в июле это соотношение для леса и открытой местности составляет для темнохвойного и соснового леса — 1,4–1,15; березового и осинового — 1,05–1,06; для сельскохозяйственных земель — 0,94.

Получена количественная оценка радиационного режима геосистем за годовой и вегетационный периоды, однако при этом учитывались условия только горизонтальной поверхности, хотя для горных территорий типичны не горизонтальные, а наклонные поверхности различной ориентации. Расположение склонов по отношению к основному направлению влагопереноса (циркуляционная экспозиция) и к приходящей солнечной радиации (радиационная экспозиция) может вызывать ландшафтную асимметрию склонов.



*Рис. 2.* Пространственная дифференциация радиационного баланса геосистем за вегетационный период.

Радиационный баланс, МДж/м<sup>2</sup>: 1 — 1340–1470 (пахотные); 2 — 1375–1525 (подтаежные долинные лиственные и луга); 3 — 1400–1470 (подтаежные смешанные, подгорные и межгорных понижений светлохвойные); 4 — 1430–1580 (подтаежные низкогорные светлохвойные); 5 — 1435–1520 (таежные вторичные смешанные и мелколиственные); 6 — 1450–1580 (лесостепные, лесостепные долинные луга и степные); 7 — 1460–1550 (таежные темнохвойные); 8 — 1500–1560 (гольцовые альпинотипные и подгольцовые тундрово-луговые).

---

Фактор циркуляционной экспозиции проявляется главным образом на макросклонах и косвенно учитывается при рассмотрении радиационного индекса сухости как показатель годовых осадков [7]. Учет влияния экспозиции требует знания радиационных характеристик для каждого конкретного склона, а также исследований на топологическом уровне. В региональном масштабе экспозиционные различия учесть трудно, и они будут меньше, чем высотные, которые приводятся в пределах колебаний этих величин. Полученные значения годовых сумм радиационного баланса в дальнейшем позволяют перейти к изучению структуры теплового баланса геосистем исследуемой территории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буфал В. В., Григорьев Г. Н., Линевиц Н. Л. и др. Радиационный баланс таежной зоны Сибири // Климатические условия и микроклимат таежных геосистем Сибири. — Новосибирск: Наука, 1980.
2. Природа таежного Прииртышья. — Новосибирск: Наука, 1987.
3. Буфал В. В., Бальжинова Л. Б., Дурнев В. В. Микроклимат и радиационный баланс // Природные режимы степей Минусинской котловины. — Новосибирск: Наука, 1976.
4. Природные режимы степей Минусинской котловины (на примере Койбальской степи). — Новосибирск: Наука, 1976.
5. Максютова Е. В. Особенности радиационного режима Минусинской котловины // География и природ. ресурсы. — 2002. — № 3.
6. Лысанова Г. И. Ландшафтный анализ агроприродного потенциала геосистем. — Иркутск, 2001.
7. Максютова Е. В. Региональные особенности предрасположенности геосистем Минусинской котловины к засушливости // Устойчивое землепользование в экстремальных условиях. — Улан-Удэ, 2003.
8. Григорьев Г. Н. Радиационный режим южной тайги нижнего Приангарья // Климатические условия и микроклимат таежных геосистем Сибири. — Новосибирск: Наука, 1980.
9. Справочник по климату СССР. — М., 1967. — Вып. 21, ч. 1.
10. Павлов А. В. Энергообмен в ландшафтной сфере Земли — Новосибирск: Наука, 1984.
11. Раунер Ю. Л. Тепловой баланс растительного покрова. — Л.: Гидрометеиздат, 1972.