

Министерство образования и науки Российской Федерации
Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского

С.И.Пряхина, Л.М.Фетисова, С.В.Морозова, Т.Г. Серейчикас

МЕТОД КОСВЕННОГО РАСЧЕТА РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям
для студентов дневного и заочного отделения
специальностей «Метеорология» и «География»

Саратов 2011

УДК 551. 582(083):551.1

Рекомендует к печати:

Кафедра метеорологии и климатологии
Саратовского государственного университета

Пряхина С.И., Фетисова Л.М., Морозова С.В., Серейчикас Т.Г.

Метод косвенного расчета составляющих радиационного баланса. Учебно-методическое пособие к практическим занятиям студентов – метеорологов и географов.

Учебно-методическое пособие содержит общие сведения о радиационном балансе и его составляющих. Приводится метод расчета радиационного баланса с использованием данных справочников по климату.

Содержание

	стр.
Введение	4
1. Солнечная радиация и её преобразование в атмосфере	5
2. Влияние рельефа на радиационный режим	10
3. Теплообмен подстилающей поверхности и атмосферы	11
4. Радиационный режим внутри растительного покрова.....	13
5 Влияние солнечной радиации на жизнедеятельность растений.....	15
Лабораторная работа. Метод косвенного расчёта радиационного баланса	20
Литература	23
Приложение. Данные для расчета радиационного баланса косвенным методом по станциям Саратовской области	24

Введение

Источником энергии атмосферных процессов в основном является солнечное излучение. Именно лучистая энергия Солнца превращается в атмосфере и на земной поверхности в теплоту, энергию движения и другие виды энергии. Солнечные лучи больше нагревают земную поверхность, чем непосредственно воздух, а уже между земной поверхностью и атмосферой происходит оживленный обмен теплом и влагой.

Количественная оценка солнечной радиации, приходящей к деятельной поверхности, где происходит её трансформация, зависит от сезона года, времени суток, рельефа местности и других факторов.

Основной физико-биологической характеристикой, определяющей взаимодействие растительного мира со средой, является лучистая энергия Солнца и её трансформация в приземном слое воздуха и деятельном слое почвы, поэтому повышение урожайности сельскохозяйственных культур тесно связано с учетом тех физико-биологических изменений, которые происходят в растительной среде.

Справочник по климату (часть I) содержит многолетние данные по солнечной радиации, радиационному балансу, продолжительности солнечного сияния и т.д.

Однако число станций, на которых проводятся актинометрические наблюдения, невелико. В случае отсутствия данных наблюдений за радиацией можно провести расчет радиационного баланса косвенным методом на основе информации о значениях метеовеличин, помещённых в климатических справочниках.

В учебно-методическом пособии изложены краткие теоретические сведения, касающиеся радиационного и теплового режимов атмосферы, и приводится метод косвенного расчета радиационного баланса по станциям Саратовской области.

1. Солнечная радиация и её преобразование в атмосфере

Лучистая энергия Солнца является основным и практически единственным источником тепла для поверхности Земли и для ее атмосферы. Радиация, поступающая от звезд и от Луны, ничтожно мала по сравнению с солнечной электромагнитной радиацией. Также ничтожно мал и поток тепла, направленный к земной поверхности и в атмосферу из глубин Земли.

Часть солнечной радиации представляет собой видимый свет. Тем самым Солнце является для Земли источником не только тепла, но и света, важного для жизни на земной поверхности.

Лучистая энергия Солнца превращается в тепло отчасти в самой атмосфере, но главным образом на земной поверхности. Она идет здесь на нагревание верхних слоев почвы и воды, а от них и воздуха. Нагретая поверхность Земли и нагретая атмосфера в свою очередь сами излучают невидимую инфракрасную радиацию. Отдавая эту радиацию в мировое пространство, земная поверхность и атмосфера охлаждаются.

Так как Земля получает тепло, поглощая солнечную радиацию, и теряет тепло путем собственного излучения, то можно заключить, что она находится в лучистом равновесии – приток радиации к ней уравновешивается отдачей радиации в мировое пространство.

Солнечная радиация относится почти целиком к коротковолновой радиации, т.е. длины волн заключаются между 0,1 и 4 мкм. (1 мкм = 10^{-6} м). На этот интервал длин волн приходится 99% всей лучистой энергии Солнца.

Видимый свет занимает в солнечной радиации узкий интервал длин волн всего от 0,40 до 0,75 мкм. Однако в этом интервале заключается почти половина всей лучистой энергии Солнца (47%). Почти столько же приходится на инфракрасные лучи (46%) и всего 7% - на ультрафиолетовые.

Радиацию, приходящую к земной поверхности непосредственно от Солнца называют прямой солнечной радиацией. Солнечная радиация распространяется от Солнца по всем направлениям. Но расстояние от Земли до Солнца так велико, что прямая радиация падает на любую поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящего как бы из бесконечности.

Приток прямой солнечной радиации на земной поверхности или на любом вышележащем уровне в атмосфере характеризуется интенсивностью радиации I , т.е. количеством лучистой энергии, поступающим за единицу времени на единицу площади, перпендикулярной к солнечным лучам. Эту величину называют также потоком радиации. Приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность (I') выражается формулой:

$$I' = I \sin h,$$

где h – высота Солнца.

Приток прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность (I') чаще всего называют инсоляцией. Интенсивность прямой солнечной радиации выражается в Вт/м².

Интенсивность солнечной радиации перед вступлением её в атмосферу называют солнечной постоянной. При среднем расстоянии Земли от Солнца солнечная постоянная примерно равна **1,37** кВт/м².

Проходя сквозь атмосферу, солнечная радиация рассеивается атмосферными газами и примесями и переходит в особую форму - рассеянную радиацию. Частично она поглощается молекулами атмосферных газов и примесями и переходит в теплоту, т.е. идет на нагревание атмосферы.

Нерассеянная и непоглощенная в атмосфере прямая солнечная радиация достигает земной поверхности. Она частично отражается от земной поверхности, а частично поглощается ею. Часть рассеянной радиации также достигает земной поверхности, где отражается или поглощается ею. Другая часть рассеянной радиации уходит вверх, в межпланетное пространство.

В самой атмосфере поглощается сравнительно небольшое количество солнечной радиации, при этом главным образом в инфракрасной части спектра. Разные газы поглощают радиацию в разных участках спектра в разной степени.

Азот поглощает радиацию только очень малых длин волн в ультрафиолетовой части спектра. Поглощение азотом практически не отражается на интенсивности солнечной радиации, так как энергия в этом участке спектра мала. В большей степени поглощает солнечную радиацию кислород – в двух узких участках видимой части спектра и в ультрафиолетовой его части.

Гораздо более сильным поглотителем солнечной радиации является озон. В результате поглощения озоном в ионосфере и стратосфере в солнечном спектре у земной поверхности не наблюдается волн короче 0,29 мкм.

Сильно поглощает радиацию в инфракрасной области спектра углекислый газ, но его содержание в атмосфере ничтожно мало, и поэтому поглощение им в общем незначительно. Основным же поглотителем инфракрасной радиации в атмосфере является водяной пар, сосредоточенный в тропосфере, и особенно в нижней её части. Из общего потока солнечной радиации водяной пар поглощает значительную долю в инфракрасной

области спектра. Поглощают солнечную радиацию также облака и атмосферные примеси, т.е. твёрдые частицы, взвешенные в атмосфере.

В целом в атмосфере поглощается около 15% радиации, приходящей от Солнца к Земле.

Кроме поглощения, прямая солнечная радиация ослабляется еще путем рассеяния, причем ослабляется более значительно. Рассеянием называется частичное преобразование радиации, имеющей определенное направление распространения, в радиацию, идущую по всем направлениям. Рассеяние происходит в оптически неоднородной среде, какой является атмосферный воздух, содержащий мельчайшие частицы жидких и твердых примесей. Радиация распространяется от рассеивающих частиц таким образом, как если бы они сами были источниками радиации. При этом рассеянная радиация приходит к земной поверхности не от солнечного диска, а от всего небесного свода.

По закону Релея, в чистом воздухе, где рассеяние производится только молекулами газов, рассеяние обратно пропорционально четвертой степени длины волны рассеиваемых лучей:

$$i_{\lambda} = a/\lambda^4 I_{\lambda},$$

где i_{λ} – интенсивность рассеянной радиации с длиной волны λ ;

I_{λ} - интенсивность прямой радиации с той же длиной волны;

a – коэффициент пропорциональности.

Поскольку длина волн красного света почти вдвое больше длины крайних волн фиолетового света, первые лучи рассеиваются молекулами воздуха в 14 раз меньше, чем вторые. Поэтому в рассеянной радиации лучи коротковолновой части видимого спектра, т.е. фиолетовые и синие, будут преобладать по энергии над оранжевыми и красными, а также над инфракрасными лучами.

Около 25% энергии общего потока солнечной радиации переходит в атмосфере в рассеянную радиацию.

Рассеяние более крупными частицами происходит не по закону Релея, а обратно пропорционально меньшим степеням длины волны.

Всю солнечную радиацию, приходящую к земной поверхности называют суммарной радиацией. Под интенсивностью суммарной радиации понимается приток её энергии за одну минуту на один квадратный сантиметр горизонтальной поверхности, помещённой под открытым небом и незатененной от прямых солнечных лучей. Таким образом, интенсивность суммарной радиации равна

$$I_s = I \sin h + i,$$

где I_s – суммарная радиация;

I – интенсивность прямой радиации на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам;

i – интенсивность рассеянной радиации;

h - высота Солнца.

При безоблачном небе суммарная радиация имеет простой суточный ход с максимумом около полудня и простой годовой ход с максимумом летом. Облачность может, как увеличивать, так и уменьшать суммарную радиацию. Частичная облачность, не закрывающая солнечный диск, увеличивает суммарную радиацию по сравнению с безоблачным небом, полная облачность, напротив, ее уменьшает. Падая на земную поверхность, суммарная радиация в большей своей части поглощается в верхнем тонком слое почвы или воды и переходит в тепло, а частично отражается. Величина отражения солнечной радиации земной поверхностью зависит от характера этой поверхности. Отношение количества отраженной радиации к общему количеству радиации, падающей на данную поверхность, называется альбедо.

Альбедо некоторых естественных поверхностей суши представлено в таблице 1.

Таблица 1. Альбедо естественных поверхностей суши

№	Виды поверхностей	Альбедо
1	Устойчивый снежный покров в умеренных широтах менее 60°	0.70
2	Лес при устойчивом снежном покрове	0.45
3	Неустойчивый снежный покров весной	0.38
4	Лес при неустойчивом снежном покрове весной	0.25
5	Неустойчивый снежный покров осенью	0.50
6	Лес при неустойчивом снежном покрове осенью	0.30
7	Степь и лес в период между сходом снежного покрова и периодом среднесуточной температуры воздуха через 10°	0.13
8	Тундра в тот же период	0.18
9	Тундра, степь, лиственный лес в период от весеннего перехода температур через 10° до появления снежного покрова	0.18
10	Снежный лес в тот же период	0.14
11	Леса, сбрасывающие листву в сухое время года саванны, полупустыни	0.24
12	Тоже во влажное время года	0.18
13	Пустыня	0.28

Верхние слои почвы и воды, снежный покров и растительность сами также излучают; это излучение называют собственным излучением земной поверхности. По закону Стефана – Больцмана, интенсивность излучения с каждого квадратного сантиметра абсолютно черной поверхности в калориях за одну минуту при абсолютной температуре T равна

$$E = \sigma T^4$$

где σ - постоянная Стефана – Больцмана, численно равная $5,7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²•К⁴).

Земная поверхность излучает почти так же как абсолютно черное тело. Столь большая отдача радиации с земной поверхности приводила бы к быстрому ее охлаждению, если бы этому не препятствовал обратный процесс – поглощение солнечной и атмосферной радиации земной поверхностью.

Атмосфера нагревается, поглощая как непосредственно солнечную радиацию, так и собственное излучение земной поверхности. Будучи нагретой, атмосфера также излучает атмосферную радиацию, приходящую к земной поверхности. Эту радиацию называют встречным излучением или противоизлучением атмосферы (E_a).

Встречное излучение возрастает с увеличением облачности, поскольку облака сами сильно излучают. Встречное излучение всегда меньше земного. Поэтому ночью, когда солнечной радиации нет, и к земной поверхности приходит только встречное излучение, она теряет тепло за счет положительной разности между собственным и встречным излучением. Эту разность называют эффективным излучением $E_{эф}$. Интенсивность эффективного излучения

$$E_{эф} = E_z - E_a$$

Эффективное излучение представляет собой потерю тепла с земной поверхности ночью. Оно существует и в дневные часы. Но днём оно перекрывается поглощенной суммарной солнечной радиацией. Ночью эффективное излучение остаётся без всякой компенсации, поэтому температура земной поверхности в эту часть суток падает.

Разность между поглощённой суммарной радиацией и эффективным излучением называют радиационном балансом земной поверхности:

$$B = (I \sin h + i) (1-A) - E_{эф}$$

где B – радиационный баланс;

A – альbedo подстилающей поверхности

Основными субстанциями в атмосфере, поглощающей земное длинноволновое излучение, являются водяной пар и углекислый газ. Они являются основной причиной тепличного («парникового») эффекта атмосферы, который выражается в дневном нагревании земной поверхности коротковолновой радиацией и ночном предохранении её от излишней потери тепла.

2. Влияние рельефа на радиационный режим

Влияние рельефа на радиационный режим довольно сложно. В горных районах, на радиационный режим влияют высота над уровнем моря, рельеф и экспозиция склонов.

Проще всего оценить влияние высоты гор на суммарный поток солнечной радиации. С высотой в суммарном потоке увеличивается доля коротковолновой радиации, так как солнечные лучи не проходят самые плотные, имеющие наибольшее влагосодержание слои. Общее уменьшение интенсивности рассеяния солнечной радиации в атмосфере приводит к возрастанию её доли в биологически активной ультрафиолетовой части спектра, что является причиной чистоты воздуха в горах, а также чрезвычайно сильного воздействия горного солнца на растительность и организм человека.

Отношение прямой солнечной радиации к рассеянной на небольших высотах оказывается в среднем за год равным 3, а на больших высотах эта разница возрастает (почти в четыре раза). Значительный перевес прямой солнечной радиации над рассеянной характерен для больших высот.

Заметен с высотой и рост ультрафиолетовой радиации. Исследованиями установлено, что на высоте 2500 м зимой она в 4, а летом в 2 раза больше, чем в низинах.

На приход прямой солнечной радиации оказывает влияние экспозиция и крутизна склонов. Северные склоны во все сезоны и на всех широтах получают наименьшее количество прямой солнечной радиации. Что же касается южных склонов, то до известной их крутизны на них увеличивается приток прямой солнечной радиации по сравнению с горизонтальной поверхностью, особенно зимой, когда Солнце стоит низко над горизонтом. Крутые склоны любой ориентации получают меньше радиации, чем пологие. Разности в получаемых суммах тепла на склонах различной экспозиции и крутизны очень существенны. Так, северные склоны небольшой крутизны получают радиации на 10% - 15% меньше, чем горизонтальная поверхность. Даже летом на крутые северные склоны (более 30°) приходится на 15% - 20% солнечной радиации меньше, чем на горизонтальную поверхность, а зимой они почти не облучаются. Пологие

южные склоны (менее 10°) получают несколько больше тепла, чем горизонтальная поверхность. Весной приход солнечной суммарной радиации к южным склонам примерно на 15% - 20% больше, чем на горизонтальную поверхность. Интенсивнее облучаются крутые склоны (более 30°), ориентированные на юго-запад или юго-восток. Зимой, даже при сравнительно низком положении солнца, на таких склонах приход суммарной радиации в два раза больше, чем на горизонтальную поверхность. Различия в суточных суммах радиации между северными и южными склонами колеблются от 5% до 12% в зависимости от их крутизны (Дроздов, 1989).

Эффективное излучение также подвержено существенным изменениям с высотой. При одной и той же температуре эффективное излучение подстилающей поверхности на больших высотах будет значительно меньше, чем внизу, — за счет уменьшения встречного излучения атмосферы, главным образом вследствие обеднения ее водяным паром. Согласно теоретическим расчетам, эффективное излучение от уровня моря до высоты 3000 м возрастает, а затем несколько уменьшается.

В свободной атмосфере радиационный баланс отрицателен, что особенно ярко проявляется в средней тропосфере на высотах 5—6 км. Радиационный баланс имеет хорошо выраженный годовой ход с максимумом в июле и минимумом в декабре. Летом при ясной погоде и отсутствии устойчивого снежного покрова может наблюдаться некоторое увеличение радиационного баланса с высотой. Зимой он постепенно уменьшается и там, где подстилающая поверхность представлена льдом или снегом, принимает отрицательные значения. В горах радиационный баланс обычно больше, чем в свободной атмосфере на том же уровне и отличается заметными колебаниями в суточном и годовом ходе, особенно существенными на плоскогорьях.

3. Теплообмен подстилающей поверхности и атмосферы

Теплообмен атмосферы и подстилающей поверхности включает в себя затраты тепла на испарение, турбулентный теплообмен и потоки тепла в почву.

В затратах тепла на испарение основную роль играют радиационный баланс B и осадки H . Именно эти величины определяют энергетические возможности испарения и влагозапасы поверхностных слоев почвы.

Обычно условия увлажнения количественно выражают отношением испарения к осадкам (E/H). При E/H равным 1, условия увлажнения средние, т. е. наблюдается соответствие между приходом тепла и влаги. При $E/H > 1$ — испарение превышает количество осадков. Это характерно для

теплого периода в условиях недостаточного увлажнения, где энергетические возможности испаряющей поверхности обычно больше тех, которые необходимы для испарения выпавших осадков. Наконец, соотношение $E/N < 1$ соответствует условиям избыточного увлажнения. В этом случае энергетические возможности испаряющей поверхности заметно меньше тех, которые необходимы для испарения всех выпавших осадков.

При рассмотрении турбулентного потока тепла важное значение имеет приземный слой, высота которого в среднем до 100 м от поверхности земли. Внутри этого слоя выделяют припочвенный слой, под которым понимают самый нижний, прилегающий к почве слой воздуха толщиной около 2 м. Именно в этом слое наблюдаются самые большие градиенты температуры и влажности. С физической точки зрения этот слой характеризуется тем, что деятельная поверхность оказывает непосредственное влияние на протекающие в нем процессы.

Движение воздуха вблизи почвы носит неупорядоченный, случайный, вихревой характер, именуемый турбулентным. Наличие турбулентности обуславливает движение вихрей из одного горизонта в другой, вследствие чего происходит перенос количества тепла или влаги от почвы в воздух, и наоборот.

Турбулентный теплообмен между деятельной поверхностью и атмосферой играет важную роль в процессах формирования физических свойств приземного слоя воздуха, погоды и микроклимата. Это наиболее мощный фактор теплопередачи между атмосферой и поверхностью земли. Особенно больших значений турбулентный теплообмен достигает в районах с сухим континентальным климатом.

Интенсивность турбулентного теплообмена в приземном слое воздуха зависит от радиационного баланса подстилающей поверхности, температурной стратификации приземного слоя и скорости ветра. Косвенно на величину турбулентного теплообмена в приземном слое влияют широта места, время года, облачность, влажность воздуха и почвы, шероховатость подстилающей поверхности и ряд других факторов.

Вследствие того, что в каждый данный момент деятельная поверхность имеет температуру, отличную от температуры окружающего ее воздуха, возникает процесс теплообмена между ними. Так, в теплое время года деятельная поверхность днем теплее приземного воздуха, а ночью холоднее. Эта разница уменьшается к вечеру и к утру. Зимой же различия между температурами обеих сред очень малы.

Интенсивность теплообмена, т. е. численная величина потока тепла, связанная с этим процессом, зависит от разности температур между деятельной поверхностью и приземным воздухом, от шероховатости

поверхности, от скорости и направления ветра в приземном слое. Механизм этого теплообменного процесса носит турбулентный характер.

Вследствие наличия в каждый данный момент градиента температуры в почве по глубине происходит процесс распространения тепла путем теплопроводности по вертикали. Величина теплового потока в почву зависит от ряда факторов: температуры поверхности, теплоемкости и теплопроводности почв, которые, в свою очередь, зависят от типа почвы, ее структуры, влажности, плотности и механического состава.

Тепловой поток может быть направлен от поверхности вглубь почвы (летом, днем) или, наоборот, из глубины к поверхности (зимой, ночью). Величина теплового потока имеет суточный максимум (днем) и минимум (ночью). Зимой суточный ход теплового потока выражен крайне слабо. В годовом ходе величина теплового потока имеет максимум летом и минимум зимой.

Величина теплового потока, направленного в глубину почвы, зависит от градиента температуры и коэффициента теплопроводности почвы вблизи самой поверхности. Исследованиями установлено, что уплотнение и увлажнение почвы приводит к увеличению коэффициента теплопроводности и усиленному потоку тепла в глубину почвы в дневное время и потоку тепла к охлаждающейся поверхности из глубоких слоев, в течение ночи. Рыхление и осушение вызывает уменьшение теплопроводности и теплового потока в почву.

Таким образом, поток тепла в почву зависит от её влагосодержания и температуры.

4. Радиационный режим внутри растительного покрова

Лучистая энергия Солнца — один из важнейших факторов внешней среды, определяющих закономерности жизнедеятельности растений.

Радиационные процессы, протекающие в деятельном слое фитоценоза, являются энергетической основой фотосинтеза, определяют жизнедеятельность и развитие растительности.

Лучистая энергия Солнца, поступающая на верхнюю границу растительности, поглощается листвой и стеблями и расходуется на транспирацию с поверхности зеленой массы, частично превращается в тепло, идущее на нагревание воздуха, заполняющего пространство между растениями, и на нагревание самих растений и, наконец, некоторая ее часть реализуется в процессе фотосинтеза. Эта трансформация солнечной энергии осуществляется на любом уровне в среде растений.

Естественно, что затенение поверхности почвы под растениями обуславливает значительное уменьшение прихода суммарной радиации по сравнению с приходом ее на открытую поверхность почвы. Как показали исследования, закономерности ослабления прихода радиации по мере продвижения вглубь растительного покрова различны для разных растений. В такой растительности, как соя, картофель, свекла, хлопок, наблюдается довольно резкий спад прихода радиации по мере углубления внутрь травостоя. Для таких растений, как подсолнечник, кукуруза, пшеница, овес, характерно медленное убывание прихода радиации с увеличением глубины погружения в растительный покров.

Величина пропускания радиации вглубь травостоя находится в зависимости от вида травостоя высоты растений. Так, установлено, что при высоте растений около 45 см до поверхности почвы доходит всего 20% прямой солнечной радиации, достигшей поверхности растений, а при высоте 80 см только 10%. Таким образом, величина радиации, приходящей к поверхности почвы, существенно уменьшается по мере развития и роста растений. С окончанием вегетационного периода по мере усыхания растений и уменьшения зеленой массы величина радиации, достигающей поверхности почвы, возрастает. Естественно, что главной причиной, обуславливающей уменьшение прихода радиации к почве, является увеличение степени затенения поверхности почвы развивающейся растительностью. В течение вегетационного периода величина степени затенения увеличивается, доходя до 70-80% в период их полного развития.

Листья различных растений, как правило, полупрозрачны, поэтому поток лучистой энергии, падающей на листовую поверхность, не только отражается ею, но и, во-первых, поглощается веществом листа и, во-вторых, частично проходит сквозь него. Поглощательная способность листьев в два раза превосходит их отражательную и пропускательную способность. Осенние пожелтевшие листья по своим радиационным свойствам коренным образом отличаются от летних зеленых листьев. Последние характеризуются сравнительно малой отражательной и пропускательной способностью и интенсивным поглощением. Пожелтевшие осенние листья, наоборот, сравнительно мало поглощают, но интенсивнее отражают и пропускают лучистую энергию (Ф.А.Белецкий, 1981).

Заметное влияние на радиационные свойства листьев оказывает их влагосодержание. Листья, содержащие большой запас влаги, сравнительно слабо отражают и пропускают, но сильно поглощают радиацию. При недостатке влаги в листьях отражательная и пропускательная способность их значительно возрастает, а поглощательная способность соответственно уменьшается.

В лесу приход суммарной радиации значительно меньше, чем на открытой местности. Затенение поверхности почвы деревьями обуславливает

существенное уменьшение продолжительности облучения и, следовательно, притока радиации. Очевидно также, что условия притока радиации в лесу должны в сильной степени зависеть от типологических особенностей, определяющих условия затенения поверхности под пологом леса.

Измерения суммарной радиации, выполненные под пологом леса различных типов, приводят к заключению о наличии значительных колебаний величин суммарной радиации под пологом леса даже для одного и того же типа древесной растительности. Так, наиболее благоприятные условия проникновения радиации под полог леса наблюдаются в молодом сосняке. В сосновом бору, отличающемся более густым верхним ярусом или наличием второго яруса, наблюдаются значительные уменьшения прихода суммарной радиации под полог леса.

Исследованиями установлено, что это уменьшение прихода радиации не является монотонным. Так, например, приход суммарной радиации в сосняке по сравнению с приходом суммарной радиации на открытом месте в зависимости от возраста лесонасаждений характеризуется следующими данными: 15-летний молодняк – 36%; 30-летний – 16%; 70-летние насаждения 23%; столетние насаждения – 31%. Как видно из этих данных, минимальный приход суммарной радиации наблюдается в лесонасаждениях в 25-35 летнем возрасте, что объясняется наибольшей густотой и сомкнутостью полога леса в этой стадии развития.

Природные лесонасаждения бывают обычно многоярусными, причем в нижних ярусах встречается древесная растительность иных пород, чем в среднем ярусе. Результаты наблюдений свидетельствуют о весьма существенном уменьшении прихода суммарной радиации при наличии второго древесного яруса.

В лиственных лесонасаждениях приход суммарной радиации существенно изменяется в зависимости от времени года. В течение летнего сезона, когда лес одет листвой, имеет место сильное уменьшение прихода суммарной радиации под пологом леса.

5 Влияние солнечной радиации на жизнедеятельность растений

Любое растение, если оно растет на открытом месте, находится сверху донизу в потоке лучистой энергии равной её интенсивности. Это равенство радиационных условий возрастает еще больше в случае наличия только рассеянной и отраженной солнечной радиации. Рассеянная и отраженная радиация, направляясь от всех точек атмосферы и от земной поверхности, освещает растение равномерно со всех сторон.

Совсем по-иному распределяется энергия прямой солнечной радиации. Только в момент положения Солнца в зените его лучи равномерно распределяются по поверхности растения, находящегося под открытым небом. В другое время суток, особенно в утренние и вечерние часы, Солнце, находясь под определенным углом к горизонту, освещает растения односторонне, т. е. на стороне растения, обращенной в данное время к Солнцу, приток солнечной энергии всегда более высок по сравнению с тем, который приходит к противоположной стороне растения.

В процессе длительной эволюции у растительных организмов возник ряд приспособлений к самопроизвольному регулированию собственного светового режима. Сюда относятся такие биологические явления, как движение листьев и цветов, изменяющее их положение в пространстве и позволяющее растениям следовать за потоком радиации или, наоборот, уходить от него. Интересно отметить, что вообще прямая солнечная радиация, достигающая поверхности растений в околополуденные часы, используется растениями незначительно, потому что лучи падают на листья под малым углом и благодаря этому мало поглощаются. При малой высоте Солнца радиация падает на листья под углом, наиболее близким к прямому, что способствует интенсивному ее поглощению. Вследствие благоприятного сочетания угла падения прямой солнечной радиации на листья и положения листьев вечернее облучение оказывается весьма полезным для растений. Можно считать несомненным, что растения полнее всего используют солнечную радиацию в послеполуденные и вечерние часы.

Интенсивность и продолжительность облучения имеют чрезвычайно большое значение для жизнедеятельности растений. Они характеризуют общее количество лучистой энергии, получаемой растениями за определенное время. Интенсивность лучистого потока характеризует количество лучистой энергии, получаемой растением в единицу времени. Продолжительность облучения дает представление о длительности радиационного воздействия.

У всех видов фотосинтезирующих растений от интенсивности лучистой энергии зависит их продуктивность, начиная с накопления сухой растительной массы и кончая урожаем плодов и семян. Именно из-за недостатка облучения многие виды растительности не могут обитать в лесах, в густых травостоях и зимою в теплицах (С.И.Пряхина, 1974).

Что же касается продолжительности облучения, то этот фактор помимо общего количественного влияния на продуктивность растений имеет и свое специфическое воздействие на весь ход развития.

Ежесуточное чередование света и темноты, являющееся в природе одним из самых постоянных географических факторов, определяет всю жизнедеятельность зеленых растений. В различных условиях облучения

неодинаково формируются растительные организмы, что приводит к широко распространенной изменчивости растений. Хорошо известны факты, когда северные виды и сорта плодовых деревьев и кустарников оказываются совершенно непригодными для культуры в южных широтах.

Различиями в режимах интенсивности и продолжительности облучения объясняются такие важные признаки, как морозоустойчивость и зимостойкость многолетних растений. Известно, что многие древесные виды растений у себя на родине выдерживают значительные морозы и в то же время, будучи перенесенными в более высокие широты, начинают вымерзать при менее низких температурах.

Зимостойкость растений зависит в значительной степени от радиационных условий, имевших место в течение вегетационного периода и роста. Зимостойкими оказываются только те растения, которые в данных радиационных условиях закончили свое развитие до наступления холодов.

Действие солнечной лучистой энергии на растения многообразно. Поэтому, говоря о значении спектрального состава солнечного излучения, нельзя сводить его роль к одному какому-нибудь физиологическому процессу, хотя бы даже и к такому важному, как фотосинтез. В конце концов, физиологическое состояние растений определяется не одним фотосинтезом, а всем комплексом физиологических процессов, обязательных для жизни растений. Вероятно, жизнь растений в целом нормальнее всего протекает при наличии в потоке лучистой энергии всех участков спектра, характерных для солнечной радиации.

Исследования радиационных условий различных физико - географических районов свидетельствуют о том, что последние далеко не равноценны на севере и юге, в континентальных и приморских областях, горных и долинных районах. Мало того, сами растения меняют эти радиационные условия, образуя сложные и разнообразные сообщества. Даже листья одного растения, особенно древесного, находятся в самых разнообразных радиационных условиях, как с количественной, так и с качественной сторон. Учитывая большую сложность взаимосвязей факторов, обуславливающих нормальное развитие растения, нетрудно предположить, что едва ли многочисленные виды, фотосинтезирующих растений нуждаются в одном универсальном и наиболее монохроматическом излучении.

Большой теоретический и практический интерес представляет вопрос о влиянии спектрального состава солнечной радиации на накопление растительной массы и, в частности, на образование сухого вещества. Данные исследований говорят о преимущественном влиянии на накопление сухой растительной массы красно-оранжевого участка спектра солнечной радиации. Имеются также данные, свидетельствующие о том, что накопление сухого вещества при облучении растений сине-фиолетовым участком спектра

шло столь же энергично или даже лучше, чем в условиях облучения красным участком спектра. Эти факты говорят о том, что, по-видимому, красно-оранжевый участок спектра оказывает наиболее активное действие в первичной фазе фотосинтеза, т. е. в синтезе углеводов, а сине-фиолетовый участок спектра, наоборот, более активен во второй фазе превращения и усвоения веществ.

Принято считать, что из огромного спектра солнечного излучения необходимой, для жизни растений является лишь узкая область, воспринимаемая человеческим глазом.

Первым, понявшим неправильность такого взгляда на значение для растений солнечного излучения, был К. А. Тимирязев. Именно он ввел в ботаническую литературу общее понятие о лучистой энергии, включая в него не только видимую область солнечного излучения, но также инфракрасную и ультрафиолетовую радиацию. При этом он указывал, что для растений могут быть существенными и эти области излучений. К. А. Тимирязев допускал участие инфракрасной радиации в процессе фотосинтеза (И.Г. Грингоф, 2006).

Исследования показали, что различные растения неодинаково реагируют на инфракрасную радиацию. У одних видов растений она мешает течению темновых реакций, необходимых для их нормального развития, а у других, так же как и темнота, задерживает их развитие. Отсюда следует, что всякая лучистая энергия, в том числе и инфракрасная, поглощаемая тканями растения, очевидно, устраняет темновые реакции. В других случаях развитие задерживает не темнота сама по себе, а отсутствие достаточно мощного потока лучистой энергии определенного спектрального состава.

Инфракрасная радиация оказывает на растения определенное влияние и не может быть по своему воздействию полностью приравнена к видимому спектральному участку, а тем более к темноте. Поглощаясь тканями растений, она прежде всего способствует их нагреванию, которое в зависимости от других условий, окружающих растение, бывает полезным или вредным. Так, многочисленные опыты свидетельствуют о том, что инфракрасная радиация вредна для растений не сама по себе, а только в определенных температурных условиях. Например, при относительно высоких температурах воздуха порядка 25—30°C наблюдается перегрев растений.

Вредное действие ультрафиолетового излучения на растительные организмы быстро усиливается по мере уменьшения волны от 0,3 до 0,2 мкм. Лучи с длиной волны больше 0,3 мкм, находящиеся в солнечном спектре у поверхности Земли, считаются безвредными и даже, наоборот, необходимыми для жизни растений. О них принято говорить, что они имеют некоторое значение для формирования и химического состава растений..

Хорошо известно бактерицидное действие ультрафиолетового излучения Солнца. Опыты показывают, что кратковременное облучение плодов ультрафиолетовыми лучами не только ликвидирует очаги поражений, но и в дальнейшем препятствует их заражению при хранении в обычных плодохранилищах. В этом отношении ультрафиолетовое излучение может быть очень интересным и важным практически.

В литературе имеются указания на влияние ультрафиолетовой радиации с длиной волны 0,29 мкм на процесс поступления в растения минеральных веществ, на образование витамина Д. Имеются данные, свидетельствующие о том, что облучение этими лучами растительный корм, а также и сами лучи оказывают антирахитное действие на живые организмы.

В естественных условиях на температуру листьев, кроме интенсивности потока лучистой энергии и температуры воздуха, оказывают значительное влияние такие факторы, как количество водяных паров в атмосфере и особенно скорость движения воздуха. Они воздействуют на транспирацию и теплообмен растений и тем понижают температуру листьев.

В природе все факторы среды, необходимые для жизни растений, всегда в любых условиях действуют сопряженно. Стоит измениться одному, фактору в сторону уменьшения или увеличения, как очень скоро изменится количественная потребность растения и в других факторах. Что касается интенсивности потока лучистой энергии и температуры воздуха, то их влияние на растения неотделимы, так как оба эти фактора определяют температуру листьев растений, от которой зависят многие процессы жизнедеятельности растений. Сочетание действия потока лучистой энергии и температуры среды, окружающей растение, должно быть таково, чтобы в результате их совместного действия на растение последнее имело бы температуру самую благоприятную для его роста и развития.

В самых лучших радиационных и температурных условиях продуктивность растений будет низкой, если растения не получат необходимого количества воды и всех других элементов, из которых и при помощи которых строится их тело. Главное место в группе этих факторов принадлежит, конечно, воде, так как она не только составляет 90% живой растительной массы, но и затрачивается растением в больших количествах в процессе транспирации. Последняя является очень важным фактором в теплообмене растений с внешней средой и предохраняет ткани от перегрева и гибели.

Лабораторная работа

« Метод косвенного расчёта радиационного баланса»

Как уже указывалось, Справочник по климату (часть I) содержит многолетние данные по солнечной радиации, радиационному балансу, продолжительности солнечного сияния и т. д. Однако число станций, на которых проводятся актинометрические наблюдения, не велико. В случае отсутствия данных наблюдений за радиацией можно произвести расчет радиационного баланса по средним многолетним данным метеозаписей. Методика расчета предложена М. И. Будыко в Главной Геофизической Обсерватории.

Задание: рассчитать месячные значения радиационного баланса. Расчёт выполнить по формуле:

$$R = Q(1-A) - E_{эф},$$

где $Q(1 - A)$ - поглощенная радиация,

$E_{эф}$ - эффективное излучение,

A - альbedo подстилающей поверхности, в долях единицы.

1. Определить месячные значения суммарной радиации при реальных условиях облачности по формуле:

$$Q = Q_0(1 - an - bn^2),$$

где Q_0 - значение суммарной радиации при безоблачном небе (табл. 1),

n - среднее месячное количество общей облачности (в долях единицы), взятое из Справочника по климату СССР, ч. V,

a - коэффициент, зависящий от широты станции (табл. 2),

$b = 0.38$

Таблица 1. Суммарная радиация при безоблачном небе (МДж/м²)

Широты	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
60	71	180	411	603	834	897	855	670	440	235	84	42
56	117	226	461	645	838	897	859	700	482	297	142	84
52	168	272	515	670	838	897	863	729	528	356	193	138
48	218	327	553	696	859	897	880	754	578	411	251	189
44	272	365	587	721	880	901	880	779	620	440	306	247

Таблица 2. Среднеширотные изменения коэффициента «а»

φ	85	80	75	70	65	60	55	50	45
a	0.14	0.15	0.16	0.18	0.27	0.36	0.38	0.40	0.39

2. Определить эффективное излучение, которое является расходной частью радиационного баланса, зависит от облачности, температуры подстилающей поверхности, температуры воздуха, упругости водяного пара и определяется по формуле:

$$E_{эф} = E_0(1-cn),$$

где E_0 - эффективное излучение при безоблачном небе, которое может быть определено с помощью таблицы 3 по значению средних месячных температур и парциального давления водяного пара, взятых из справочника по климату СССР ч. II, IV;

n - облачность в долях единицы;

c - коэффициент, характеризующий влияние облачности и зависящий от широты (табл. 4).

Таблица 3. Эффективное излучение при безоблачном небе (МДж/м²)

t, °С	Парциальное давление водяного пара, гПа														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
-20	197	197													
-18	201	201													
-16	205	205													
-14	214	214													
-12	218	218													
-10	226	210													
-8	230	218													
-6	235	222	210												
-4	243	230	218												
-2	256	235	226	210											
0	260	243	230	218											
2	272	251	235	222	214										
4	277	256	243	230	218	205									
6	285	268	251	235	226	214	205								
8	293	272	256	243	230	218	210	201							
10	302	281	264	251	239	226	218	205	197						
12	310	289	272	256	243	235	222	214	205	193					
14	318	297	281	264	251	239	230	218	210	180	184				
16	327	306	289	272	256	247	235	226	218	205	189	172			
18		314	293	281	268	256	243	230	222	214	193	176	159		
20		323	306	289	272	260	251	239	226	218	201	180	163	151	
22			314	297	281	268	256	243	235	226	205	189	172	155	138
24			323	308	289	277	264	251	243	230	210	193	176	159	142
26			327	310	297	281	272	256	247	235	218	197	180	163	147
28				318	306	289	281	264	251	243	222	201	184	168	151

Таблица 4. Среднеширотные изменения коэффициента «с»

φ	85	80	75	70	65	60	55	50	45
с	0.85	0.84	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70

3. Заполнить таблицу 5 на основании проведенных расчетов.

Таблица 5. Значения рассчитываемых величин для каждого месяца

Характеристика	Месяцы				
	I	II	III	...	XII
Q_0					
n					
$Q = Q_0(1 - an - bn^2)$					
A					
$1 - A$					
$Q(1-A)$					
$t, ^\circ C$					
$e, \text{гПа}$					
E_0					
$1 - cn$					
$E_{\text{эф}} = E_0(1 - cn)$					
$R = Q(1 - A) - E_{\text{эф}}$					

В приложении приведены данные для различных метеостанций из справочников по климату, необходимые для расчета радиационного баланса косвенным методом.

В заключение построить графики годового хода рассчитанных величин радиационного баланса и его составляющих: суммарной радиации при безоблачном небе - Q_0 , суммарной радиации при реальных условиях облачности - Q , альбедо подстилающей поверхности - A , поглощенной радиации - $Q(1-A)$, эффективного излучения - $E_{\text{эф}}$, радиационного баланса - R .

Литература:

1. Белецкий Ф.А. Радиационный климат Поволжья. Саратов: изд-во Саратовский СХИ, 1981-70 с.
2. Грингоф И.Г. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2006-550 с.
3. Дроздов О.И. и др. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989 – 568 с.
4. Пряхина С.И. Значение ультрафиолетовой радиации для жизнедеятельности человека. – Сб. Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья, вып. 3(10). Изд-во Сарат. Ун-та, 1974. С. 59-57.
5. Справочник по климату СССР вып. 12, ч.1. Л.: Гидрометеиздат, 1966- 75с.
6. Справочник по климату СССР вып. 12, ч.2. Л.: Гидрометеиздат, 1965-344с.
7. Справочник по климату СССР вып. 12, ч.5. Л.: Гидрометеиздат, 1968-246с.
8. Хромов С.П. Метеорология для географических факультетов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 456 с.

Приложение

Новоузенск ($\varphi=50^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-12.8	-12.3	-6.0	6.4	15.6	21.0	23.5	21.6	14.5	5.9	-2.4	-9.1
n	0.69	0.66	0.66	0.60	0.55	0.50	0.47	0.46	0.50	0.64	0.70	0.75
e, гПа	2.7	2.8	3.9	7.1	10.1	13.1	14.0	12.9	9.7	7.2	5.1	3.2
A, %	80	75	55	23	18	19	19	19	16	20	45	80

Петровск ($\varphi=53^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-12.9	-12.6	-7.0	4.1	13.5	17.8	20.0	18.4	11.7	4.2	-3.5	-9.5
n	0.75	0.70	0.69	0.64	0.62	0.55	0.56	0.54	0.61	0.73	0.77	0.79
e, гПа	2.5	2.5	3.6	6.3	9.3	13.2	15.2	13.6	10.1	6.9	4.7	2.9
A, %	80	75	75	22	13	16	19	16	14	16	60	80

Ершов ($\varphi=52^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-13.2	-12.7	-6.6	5.5	15.0	20.1	22.5	20.7	13.8	5.3	-3.0	-9.7
n	0.70	0.67	0.67	0.62	0.57	0.52	0.49	0.48	0.52	0.66	0.72	0.77
e, гПа	2.4	2.3	3.5	6.4	9.3	13.1	14.1	12.8	9.6	7.2	4.8	2.9
A, %	80	75	55	23	18	19	19	19	16	20	45	80

Пугачев ($\varphi=52^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-13.3	-12.8	-6.6	5.4	14.8	19.9	22.3	20.5	13.5	5.2	-3.0	-9.8
n	0.70	0.67	0.67	0.62	0.57	0.52	0.49	0.48	0.52	0.66	0.72	0.77
e, гПа	2.4	2.3	3.5	6.4	9.3	13.1	14.1	12.8	9.6	7.2	4.8	2.9
A, %	80	75	60	25	16	18	19	16	16	16	60	80

Хвалы́нск ($\varphi=53^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-13.2	-12.5	-6.9	4.0	13.3	17.8	19.9	18.3	11.8	3.9	-3.9	-10.1
n	0.74	0.70	0.70	0.62	0.59	0.53	0.52	0.51	0.56	0.71	0.74	0.80
e, гПа	2.4	2.5	3.4	6.1	8.5	11.7	14.0	13.0	9.2	6.3	4.3	3.2
A, %	80	75	75	22	13	16	19	16	14	16	60	80

Карабулак ($\varphi=52^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-12.5	-11.9	-5.5	6.9	16.0	21.4	23.8	21.8	14.8	6.2	-2.1	-8.8
n	0.69	0.66	0.66	0.60	0.55	0.50	0.47	0.46	0.50	0.64	0.70	0.75
e, гПа	2.7	2.8	3.9	7.1	10.1	13.1	14.0	12.9	9.7	7.2	5.1	3.2
A, %	80	75	55	23	18	19	19	19	16	20	45	80

Маркс ($\varphi=51^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-12.2	-11.9	-5.8	6.0	15.5	20.3	22.4	20.7	14.0	5.6	-2.2	-8.8
n	0.70	0.67	0.67	0.62	0.56	0.52	0.48	0.47	0.52	0.65	0.71	0.77
e, гПа	2.5	2.5	3.7	6.8	9.5	12.8	13.9	12.0	9.3	7.2	4.8	3.1
A, %	80	75	70	25	14	18	19	16	14	16	60	80

Александров-Гай ($\varphi=50^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-13.1	-12.7	-6.6	4.4	13.2	17.8	20.4	18.8	12.5	4.4	-3.8	-10.3
n	0.74	0.67	0.69	0.63	0.61	0.53	0.52	0.50	0.61	0.73	0.75	0.77
e, гПа	2.1	2.3	3.3	6.3	9.1	12.8	14.0	12.7	9.3	6.7	4.3	2.7
A, %	80	75	75	22	13	16	19	16	14	16	60	80

Балашов ($\varphi=53^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-11.0	-10.7	-5.1	5.5	14.5	18.7	20.9	19.3	12.9	5.4	-2.1	-7.9
n	0.75	0.70	0.69	0.64	0.62	0.55	0.56	0.54	0.61	0.73	0.77	0.79
e, гПа	2.5	2.5	3.6	6.3	9.3	13.2	15.2	13.6	10.1	6.9	4.7	2.9
A, %	80	75	75	22	13	16	19	16	14	16	60	80

Красный Кут ($\varphi=52^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-12.5	-12.2	-6.0	5.9	15.2	20.1	22.6	21.0	14.1	5.7	-2.4	-9.0
n	0.73	0.71	0.69	0.63	0.58	0.51	0.50	0.49	0.52	0.69	0.73	0.79
e, гПа	2.5	2.4	3.6	6.6	9.4	11.8	13.5	12.2	8.9	6.5	4.7	3.4
A, %	80	75	55	23	18	19	19	19	16	20	45	80

Ростоши ($\varphi=50^\circ$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-11.7	-11.3	-5.6	5.0	14.1	18.2	20.4	19.0	12.5	4.9	-2.4	-8.4
n	0.69	0.66	0.66	0.60	0.55	0.50	0.47	0.46	0.50	0.64	0.70	0.75
e, гПа	2.7	2.8	3.8	6.5	9.1	12.4	14.3	13.4	9.5	6.6	4.7	3.4
A, %	76	75	71	20	20	19	21	18	20	21	40	70

Саратов ($\varphi=51^\circ30'$)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Значение												
t, °C	-12.1	-11.5	-5.7	5.6	14.5	19.0	21.3	19.7	13.4	5.4	-2.7	-8.8
n	0.73	0.70	0.68	0.62	0.57	0.50	0.48	0.47	0.52	0.68	0.73	0.77
e, гПа	2.5	2.5	4.0	6.4	9.3	12.7	15.2	12.5	9.6	6.9	4.8	2.9
A, %	80	75	70	25	14	18	19	16	14	16	60	80