

УДК 551.584.2  
ББК 26.8

Г.Б. Пигольцина

## РЕСУРСЫ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*На основании использования расчётных методов выполнена детальная оценка пространственной изменчивости ресурсов солнечной радиации Ленинградской области. Построены мезоклиматические карты суммарной и фотосинтетически активной радиации, продолжительности солнечного сияния. Приведённое районирование даёт возможность рационально подойти к проблеме оптимального природопользования.*

**Ключевые слова:**

*агроклиматическое районирование, климат, мезоклиматическое районирование, облачность, оптимальное природопользование, радиационный баланс, районирование, солнечная радиация, солнечное сияние, фотосинтетически активная радиация*

Солнечная радиация является одним из важнейших факторов формирования климата. Она обуславливает тепло- и влагообмен, суточный и годовой ход метеорологических элементов, определяет общий приход тепла к земной поверхности и различия в её радиационном нагреве. Наиболее значимым параметром радиационного режима является суммарная радиация и не только потому, что этот элемент характеризует источник энергии атмосферных процессов, но и вследствие того, что он играет главную роль при решении многих научных и прикладных задач. Наряду с суммарной радиацией большое значение имеет радиационный баланс деятельной поверхности, который является ведущим компонентом теплового баланса. Он определяет величину и знак потоков тепла в воздух и почву, суточный ход испарения и конденсации водяного пара. Также важной климатологической характеристикой является продолжительность солнечного сияния. Данные по солнечному сиянию широко используются при выполнении различных научных разработок в гелиоэнергетике, градостроительстве, здравоохранении, сельском и лесном хозяйстве и др.

Климатически обеспеченный уровень энергетических ресурсов и их трансформация в пределах небольших территорий, например, административных областей, оценивается с помощью мезоклиматического районирования<sup>1</sup>. Мезоклиматическое районирование ресурсов солнечной радиации осуществляется в системе среднемасштабного природно-климатического районирования, которое позволяет дифференцировать территорию на районы, отличающиеся особенностями метеорежима, формирующимися под влиянием мезомасштабных неоднородностей деятельной поверхности<sup>2</sup>.

**Продолжительность солнечного сияния.** Продолжительность солнечного сияния зависит как от астрономических факторов, длины дня и высоты солнца, так и от циркуляционных, которые проявляются через облачность и прозрачность

атмосферы. На территории Ленинградской области, подверженной сильному влиянию циклонической деятельности атлантических воздушных масс, распределение продолжительности солнечного сияния заметно отклоняется от широтного. Большая облачность, преобладающая почти в течение всего года, уменьшает продолжительность солнечного сияния, которая составляет всего 35–40 % от возможной продолжительности за год. Число дней без солнца достигает 110–125 дней. В период с ноября по январь, отличающийся преимущественно пасмурной погодой, число дней без солнца превышает 20 дней в месяц, а в декабре даже более 25. В тёплое время года (май–август) дни без солнца бывают редко – всего 1–2 в месяц.

Годовое число часов солнечного сияния изменяется по территории от 1600 до 1900. Наибольшая продолжительность солнечного сияния (более 1800) наблюдается на побережье и островах Ладожского озера, а также на островах Финского залива благодаря уменьшению облачности в тёплое время года и повышенной прозрачности атмосферы в этих районах (рис. 1). Достаточно высокими значениями солнечного сияния (1700–1800) характеризуются районы, расположенные на северо-западе области (Выборгский, Лесогорский, Приозерский), побережье Финского залива, обширная территория, окаймляющая Ладожское озеро, а также самая южная часть области (Лужский район). В условиях большого города (Санкт-Петербург) число часов солнечного сияния уменьшается за счёт большой запылённости атмосферы. По этой же причине наблюдаются довольно низкие значения продолжительности солнечного сияния на юго-западе области (Сланцевский район).

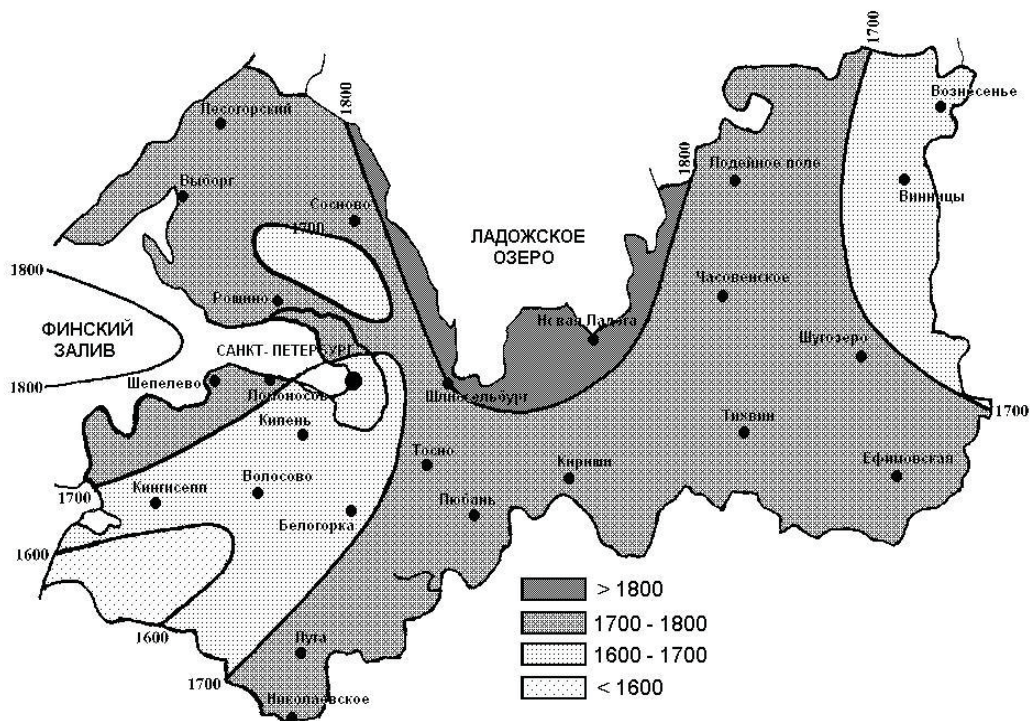


Рис. 1. Продолжительность солнечного сияния (часы). Год.

Солнечное сияние имеет хорошо выраженный годовой ход. Наибольшая продолжительность солнечного сияния наблюдается в тёплый период, с апреля по август, когда она повсеместно превышает 40 % от возможной продолжительности. Максимум часов солнечного сияния наблюдается в июне–июле и составляет 260–330 часов, или 50–60 % от возможной продолжительности (рис. 2). Особенно велика в это время продолжительность солнечного сияния на побережьях и островах крупных водоёмов – около 300 часов в месяц (Гогланд 334; Сухо, маяк 316; Новая Ладога 315; Выборг 297; Приозерск 294; Вознесенье 290).

В восточной и юго-восточной частях области, в меньшей степени подверженных влиянию крупных водоёмов, поле продолжительности солнечного сияния довольно однородно (290–300 час.). В холодный период года (ноябрь–январь), характеризующийся малой продолжительностью дня и наибольшей в году облачностью, число часов солнечного сияния не превышает 40 в месяц и составляет в среднем по территории области 25, 14 и 28 часов, соответственно в ноябре, декабре и январе. В декабре в условиях самого короткого дня наблюдаются минимальные значения продолжительности солнечного сияния, которые составляют всего 5–20 часов, или 3–10 % от возможной продолжительности.

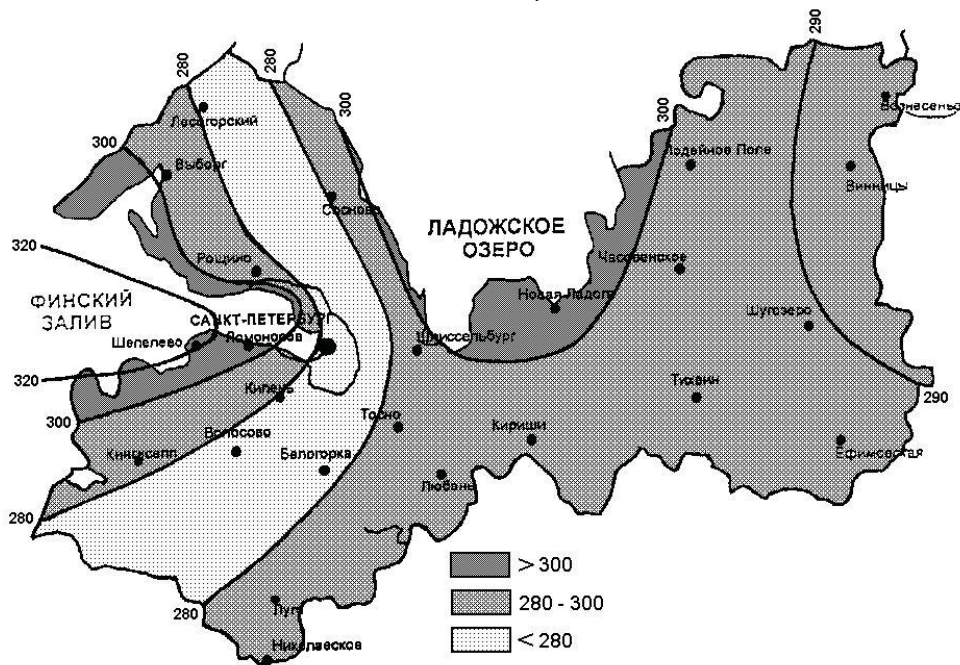


Рис. 2. Продолжительность солнечного сияния (часы). Июнь.

Нарушение широтной зависимости продолжительности солнечного сияния под влиянием циркуляционных факторов хорошо иллюстрирует гистограмма годового хода продолжительности солнечного сияния, построенная для трёх станций, характеризующих меридиональный разрез (рис. 3). Это станции Приозерск и Николаевское, расположенные соответственно на севере и юге области, и ст. Санкт-Петербург, занимающая промежуточное положение по широте. В Приозерске продолжительность солнечного сияния в течение всего года больше, чем в Санкт-Петербурге. В целом за год превышение составляет 154 часа. В тёплый

период года (март–сентябрь) продолжительность солнечного сияния на северной станции Приозерск имеет более высокие значения не только по сравнению с Санкт-Петербургом, но и по сравнению с самой южной станцией Николаевское. В осенне-зимние месяцы (октябрь–февраль) наибольшая продолжительность солнечного сияния наблюдается на ст. Николаевское.

В отдельные годы, вследствие изменчивости циркуляционных процессов и связанных с ними условий облачности, могут наблюдаться значительные отклонения продолжительности солнечного сияния от средних многолетних значений. Среднее квадратическое отклонение (межгодовая изменчивость) месячной продолжительности солнечного сияния в летний период (июнь–июль) составляет 40–55 часов, в зимние месяцы (декабрь–январь) – 10–20 часов. Среднее квадратическое отклонение годовой суммы солнечного сияния достигает 120–170 часов.

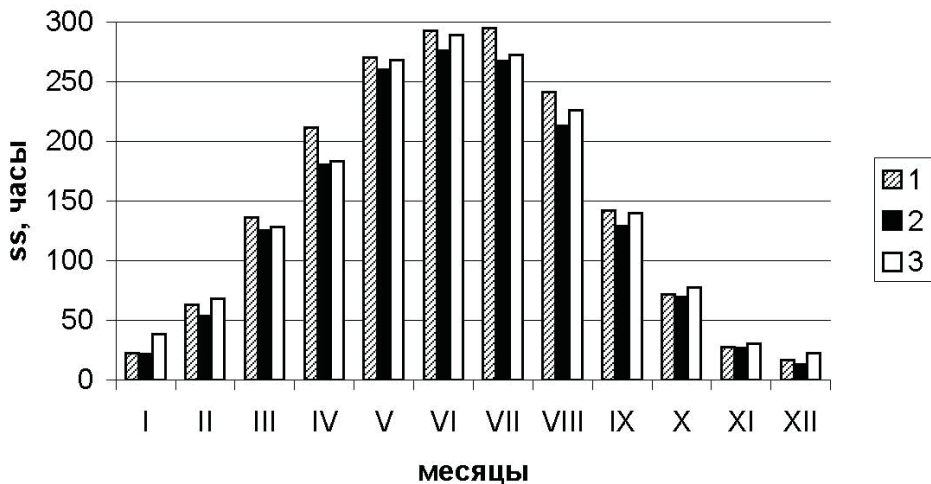


Рис. 3. Средние месячные суммы продолжительности солнечного сияния (ss) на станциях Приозерск (1), Санкт-Петербург (2), Николаевское (3)

Суточный ход продолжительности солнечного сияния аналогичен годовому ходу – с увеличением высоты солнца число часов солнечного сияния за месяц увеличивается. Однако в летний период максимум солнечного сияния наблюдается не в полдень, а в первую половину дня, что особенно заметно в районах, отдалённых от побережий. Это происходит под влиянием конвективной облачности, которая развивается над сушей во вторую половину дня. Наибольшее число часов солнечного сияния наблюдается в интервале от 11 до 12 час. и составляет 18–20 часов, а на побережье крупных водоёмов более 20 часов за месяц. В холодный период года наибольшая продолжительность солнечного сияния наблюдается после полудня (от 12 до 13 час.) и составляет в декабре–январе всего 2–5 часов.

**Суммарная радиация.** В распределении по территории области поступающей к земной поверхности солнечной радиации много общего с распределением солнечного сияния, так как обе эти характеристики тесно связаны и определяются в основном одними и теми же факторами. Общий приход солнечной энергии на деятельную поверхность определяется суммарной радиацией, которая представляет собой сумму прямой и рассеянной радиации.

Как известно, актинометрическая сеть очень редкая и по данным актинометрических станций невозможно дать детальное пространственное распределение



Меньше всего солнечной энергии Ленинградская область получает с ноября по февраль. В эти месяцы суммарная радиация не превышает 100 МДж/м<sup>2</sup>мес даже в самом южном Лужском районе (рис. 5). Минимум радиации поступает в декабре – менее 30 МДж/м<sup>2</sup>мес. В феврале заметен существенный рост величин суммарной радиации по сравнению с январём (на 40–70 МДж/м<sup>2</sup>мес). Резкое увеличение месячных сумм суммарной радиации (на 130–190 МДж/м<sup>2</sup>) наблюдается от февраля к марту, что определяется быстрым возрастанием высоты солнца над горизонтом, значительным увеличением продолжительности дня, сравнительно небольшой облачностью и лучшей прозрачностью атмосферы в марте.

Наибольшие суммы суммарной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, приходится на июнь–июль (550–650 МДж/м<sup>2</sup>мес). Сравнительно низкие значения суммарной радиации в Санкт-Петербурге (рис. 5) объясняются большой запылённостью атмосферы в течение всего года. Понижение прозрачности атмосферы в основном уменьшает приход прямой радиации и в свою очередь суммарной радиации, особенно значительно в зимние месяцы.

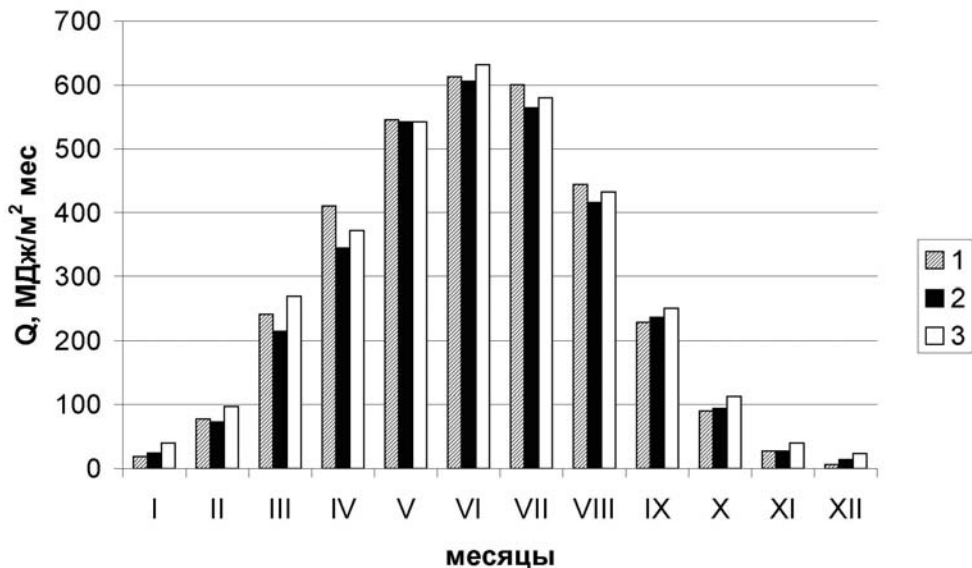


Рис. 5. Годовой ход суммарной радиации ( $Q$ ) на станциях Приозерск (1), Санкт-Петербург (2), Николаевское (3)

В отдельные годы в зависимости от погодных условий соотношение прямой и рассеянной радиации и общий приход суммарной радиации могут значительно отличаться от приведённых выше средних многолетних величин. Среднее квадратическое отклонение месячных сумм суммарной радиации в зимнее время составляет 5–20 МДж/м<sup>2</sup>, в летний период достигает 50–80 МДж/м<sup>2</sup>, в целом за год рассеяние погодических данных относительно средней многолетней величины составляет 160–210 МДж/м<sup>2</sup>год.

**Фотосинтетически активная радиация.** Фотосинтетически активная радиация (ФАР) – часть коротковолновой солнечной радиации, которая ограничена длинами волн 0,38–0,71 мкм и равна примерно половине суммарной радиации ( $Q$ ):

$$Q_{\phi} = 0,43S + 0,57D, \quad (1)$$

где  $Q_{\phi}$  – суммарная фотосинтетически активная радиация,  $S$  – прямая солнечная радиация,  $D$  – рассеянная радиация.

Фотосинтетически активная радиация является фактором, непосредственно воздействующим на основные физиологические процессы жизнедеятельности растений. Для большинства сельскохозяйственных культур периодом активной вегетации является период со средней суточной температурой воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ . От накопления сумм суммарной ФАР за этот период зависит рост и развитие выращиваемых культур, степень их вызревания и урожайность, поэтому оценка обеспеченности радиационным теплом различных районов области за вегетационный период очень важна для решения практических задач сельскохозяйственного производства и растениеводства в целом.

На рис. 6 приведено мезоклиматическое районирование Ленинградской области по суммам суммарной ФАР за период с температурой воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ . Наличие крупных водоёмов, близость Балтики и значительная вытянутость территории области в широтном направлении создают большие различия теплоэнергетических ресурсов западных и восточных районов области. Суммы ФАР за вегетационный период изменяются от  $930 \text{ МДж/м}^2$  в северо-восточном районе (Вознесенье) до  $1090 \text{ МДж/м}^2$  на крайнем юге области (Николаевское). Также велики значения сумм ФАР на побережьях и островах Ладожского озера и Финского залива (более  $1050 \text{ МДж/м}^2$ ).

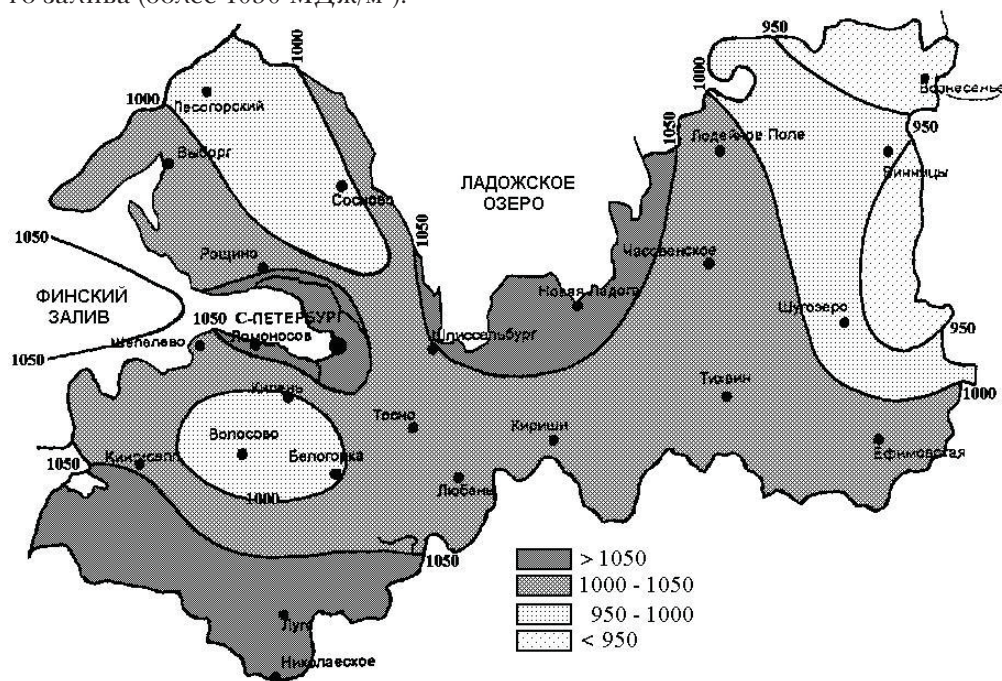


Рис. 6. Суммы ФАР за период с температурой воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$

Как видно из приведённых материалов, ресурсы ФАР на территории области изменяются в широких пределах. Однако, суммы ФАР за период активной вегетации растений, т.е. за период с температурой воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ , обычно принимаемые в качестве основного показателя энергетических ресурсов произрастания сельскохозяйственных культур, недостаточно детально выделяют

климатические различия разных частей области. В условиях неоднородной подстилающей поверхности продолжительность периода активной вегетации может существенно сокращаться заморозками, что влечёт за собой сокращение сумм ФАР, которые могли быть производительно использованы растениями. Это приводит к невызреванию сельскохозяйственных культур, их повреждению, а иногда и гибели. Таким образом, суммы ФАР, рассчитанные за безморозный период, гораздо надёжнее отражают запасы энергетических ресурсов для сельскохозяйственных растений.

На рис. 7 представлено мезоклиматическое районирование Ленинградской области по суммам фотосинтетически активной радиации за безморозный период. Суммы ФАР за безморозный период изменяются в пределах области от 700 до 1200 МДж/м<sup>2</sup>. Меньше всего радиационного тепла (700–800 МДж/м<sup>2</sup>) получает наиболее континентальная восточная часть области. В центральной части области и на Карельском перешейке приход ФАР увеличивается до 1000 МДж/м<sup>2</sup>. Самые высокие суммы ФАР за безморозный период (до 1200 МДж/м<sup>2</sup>) наблюдаются на побережьях и островах крупных водоёмов, что связано с увеличением длительности безморозного периода и уменьшением облачности в этих районах.

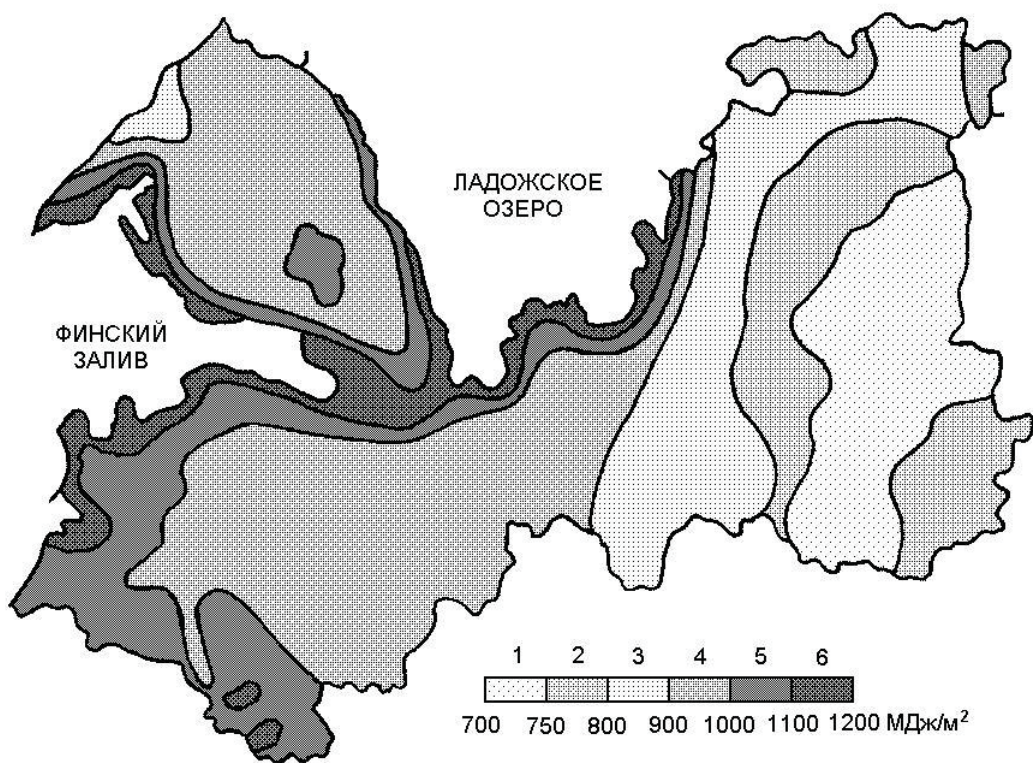


Рис. 7. Суммы ФАР за безморозный период

Диапазон изменчивости сумм ФАР за безморозный период по территории области составляет 500 МДж/м<sup>2</sup>, а за вегетационный период – только 160 МДж/м<sup>2</sup>, что в 3 раза меньше (табл. 1).

Приведённые карты мезоклиматического районирования ФАР (рис. 6 и 7) наглядно показывают, что в пределах Ленинградской области, характеризующейся



достаточно «спокойным» слабовсхолмлённым рельефом, имеют место значительные изменения ресурсов ФАР, что в конечном счёте приводит к колебаниям урожайности сельскохозяйственных культур.

Таблица 1.

**Суммы ФАР (МДж/м<sup>2</sup>) за безморозный и вегетационный периоды и их изменчивость (ΔФАР) на территории Ленинградской области**

Период	Суммы ФАР		ΔФАР
	Наименьшая	Наибольшая	
Вегетационный	930	1090	160
Безморозный	700	1200	500

**Радиационный баланс.** Радиационный баланс (R) земной поверхности представляет собой алгебраическую сумму приходных и расходных составляющих радиации. Для горизонтальной поверхности уравнение радиационного баланса имеет следующий вид:

$$R = Q \cdot (1 - A) - F, \quad (2)$$

где R – радиационный баланс; Q – суммарная радиация; A – альbedo земной поверхности; F – эффективное излучение.

Значения годовых сумм радиационного баланса изменяются на территории Ленинградской области от 1250 до 1440 МДж/м<sup>2</sup>, что составляет 37–43 % от годовой величины суммарной радиации. Годовой радиационный баланс естественной поверхности в Санкт-Петербурге, несмотря на уменьшенный приход коротковолновой (суммарной) радиации, больше по сравнению с балансом такой же поверхности в пригороде в среднем на 4–5 %. Это объясняется меньшим расходом радиации на отражение, так как в Санкт-Петербурге значение альbedo в течение всего года меньше, чем в пригороде.

Период с положительным радиационным балансом составляет 7–8 месяцев. Переход радиационного баланса от отрицательного к положительному в среднем происходит в первой-второй декаде марта, в Санкт-Петербурге – в третьей декаде февраля (рис. 8). Смена знака радиационного баланса осенью отмечается в третьей декаде октября.

Наибольшие средние месячные суммы радиационного баланса наблюдаются в июне и составляют 280–360 МДж/м<sup>2</sup>. На севере и северо-востоке области (Лесогорский, Вознесенье) максимум сумм радиационного баланса может смещаться на июль. В мае и июле радиационный баланс также достаточно велик и отличается от максимальных значений не более чем на 45 МДж/м<sup>2</sup>, что составляет 13 %. В эти три месяца на долю радиационного баланса приходится 50–60 % от месячных значений суммарной радиации. В апреле наблюдается быстрый рост радиационного баланса, особенно резкое возрастание отмечается в Санкт-Петербурге, что связано с уменьшением альbedo земной поверхности вследствие более раннего схода снежного покрова. К осени, наряду с понижением прихода солнечной радиации, уменьшается и доля радиационного баланса в потоке суммарной радиации. Так в августе он составляет 45–55 %, в сентябре – 35–45 %. В октябре, в связи с увеличением альbedo поверхности и дальнейшим снижением суммарной радиации, происходит резкое уменьшение месячных сумм баланса – он не превышает 20 % от суммарного прихода коротковолновой радиации. Наибольший отрицательный радиационный баланс отмечается в декабре–январе. В эти ме-

сяцы он достигает величины  $-45 \text{ МДж/м}^2\text{мес.}$ , изменяясь по территории от  $-27$  до  $-45 \text{ МДж/м}^2\text{мес.}$  Сумма радиационного баланса за весь период, когда он отрицателен, составляет  $-110$  –  $-150 \text{ МДж/м}^2$ , в Санкт-Петербурге –  $-95 \text{ МДж/м}^2$ .

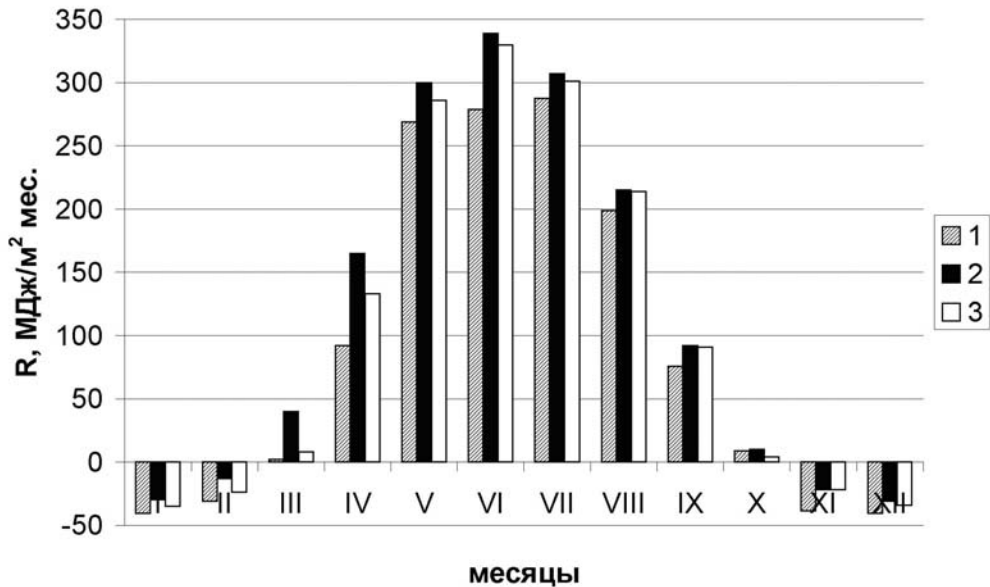


Рис. 8. Годовой ход радиационного баланса ( $R$ ) на станциях Лесогорский (1), Санкт-Петербург (2), Николаевское (3)

В отдельные годы и месяцы могут наблюдаться отклонения от описанного режима радиационного баланса в зависимости от сочетания суммарной радиации и эффективного излучения, обуславливаемых главным образом облачностью и альбедо поверхности. Среднее квадратическое отклонение месячных сумм радиационного баланса в зимнее время (когда баланс отрицательный) составляет в среднем  $10$ – $15 \text{ МДж/м}^2$ , изменяясь по территории области от  $8$  до  $16 \text{ МДж/м}^2$ . В период максимальных значений сумм радиационного баланса (май, июнь, июль) среднее квадратическое отклонение достигает  $30$ – $50 \text{ МДж/м}^2$ , пространственная изменчивость отмечается в пределах от  $25$  до  $80 \text{ МДж/м}^2$ . Рассеяние годовых сумм радиационного баланса относительно средней многолетней величины составляет в среднем для Ленинградской области  $110 \text{ МДж/м}^2$ , изменяясь по территории от  $80$  до  $140 \text{ МДж/м}^2$ .

В суточном ходе радиационный баланс меняет знак в период с положительными месячными значениями радиационного баланса. В эти месяцы переход радиационного баланса от отрицательного к положительному происходит после восхода солнца (при высоте около  $7^\circ$ ) и от положительного к отрицательному перед заходом солнца (при высоте  $9$ – $10^\circ$ ). В зимние месяцы средний месячный радиационный баланс в дневные часы отрицателен. Интенсивность радиационного баланса ночью при ясном небе, т.е. в условиях, наиболее благоприятных для излучения (выхолаживания), составляет зимой  $-40$  –  $-50 \text{ Вт/м}^2$ , летом – несколько ниже ( $-55$  –  $-65 \text{ Вт/м}^2$ ), что находится в соответствии с более высокой температурой деятельной поверхности в летние месяцы. Ночной радиационный баланс при средних условиях облачности выше, чем баланс при ясном небе, вследствие уменьшения эффективного излучения. В среднем он изменяется по территории

в месяцы со снежным покровом от -15 до -35 Вт/м<sup>2</sup>, в тёплую часть года от -30 до -42 Вт/м<sup>2</sup>.

**Заключение.** Оценка мезоклиматической изменчивости радиационного режима административных областей позволяет детализировать энергетические ресурсы территории. Выделение оптимальных по приходу солнечной радиации районов даёт возможность выявить дополнительные ресурсы тепла, учёт которых в регионах, где тепло является лимитирующим фактором, в том числе и в Ленинградской области, имеет большое значение для климатозависимых отраслей экономики. Полученные данные могут непосредственно использоваться при решении широкого круга научных и прикладных задач, и в первую очередь в сельскохозяйственном производстве.

Районирование Ленинградской области по суммам ФАР показало, что границы при мезоклиматическом районировании ФАР не совпадают с границами агроклиматических районов<sup>5</sup>. Это указывает на то, что в комплекс климатических показателей, используемых при агроклиматическом районировании территории должны входить радиационные характеристики, т.е. на современном уровне хозяйственного освоения климата при оценке тепловых ресурсов конкретных территорий необходимо использовать данные расчётов радиационных показателей. Учёт изменчивости теплоэнергетических ресурсов в мезомасштабе позволяет более чётко и обоснованно подойти к агроклиматическому районированию небольших территорий, мало различающихся по макроклиматическим условиям.

---

<sup>1</sup> Пигольцина Г.Б. Внутризональная изменчивость ресурсов солнечной радиации и принципы её учёта в экономике // Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей. – СПб., 2005. – С. 88–99.

<sup>2</sup> Пигольцина Г.Б. Радиационные факторы мезо- и микроклимата. – СПб., 2003. – 200 с.

<sup>3</sup> Сивков С.И. Методы расчёта характеристик солнечной радиации. – Л., 1968. – 232 с.

<sup>4</sup> Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 3. – Л., 1988. – 692 с.

<sup>5</sup> Агроклиматические ресурсы Ленинградской области. – Л., 1971. – 119 с.