

241981

ТАРТУСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. Х. Таранд

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА
ЧЕЛОВЕКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО В ХАРАКТЕРИСТИКЕ
БИОКЛИМАТА ПОБЕРЕЖЬЯ ЭСТОНИИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Diss. Tart.

410846

ТАРТУ 1973

На правах рукописи

Таранд Андрес Хельмутович

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА
ЧЕЛОВЕКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО В ХАРАКТЕРИСТИКЕ
БИОКЛИМАТА ПОБЕРЕЖЬЯ ЭСТОНИИ

11. 00. 09 Климатология

(Диссертация написана на эстонском языке)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

ТАРТУ 1973

Работа выполнена в Таллинском ботаническом саду АН ЭССР.
Научный руководитель – кандидат географических наук, до-
цент А.А. РАЙК.

Официальные оппоненты:

1. Доктор географических наук, профессор Н.С. ТЕМНИКОВА.
2. Кандидат физико-математических наук, доцент Х.Д. МЮРК.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт экспериментальной и клинической медицины Министер-
ства здравоохранения Эстонской ССР.

Автореферат разослан18...^{IV}..... 1978 г.

Защита диссертации состоится 22^V 6 1978 г.

на заседании Совета отделения географии-геологии Биолого-
географического факультета Тартуского государственного
университета, г. Тарту, ул. Юликооли, 18.

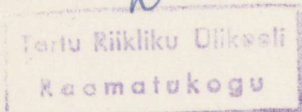
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТГУ.

Отзывы просим присылать в двух экземплярах по адресу:

Эстонская ССР, г. Тарту, ул. Юликооли, 18.

И. Маароос
Ученый секретарь ТГУ

(И. Маароос)



ВВЕДЕНИЕ

Для наиболее эффективного использования природных ресурсов в целях курортологии и организации отдыха широких масс населения одним из центральных вопросов является изучение метеорологических факторов формирования теплового состояния человека. До настоящего времени при оценке термических условий человека использованы многие методы. В Советском Союзе подробнее всего разработан метод эффективных температур. Эффективные температуры применяются в официальной методике: "Методика изучения и схема описания климата курортов", 1964. На основе указанной методики получены хорошие результаты в сравнении климатических условий всей территории Советского Союза, а также во многих специальных вопросах.

Более точные результаты в описании теплового состояния человека обеспечивает метод теплового баланса, разработка которого осуществлена в Главной геофизической обсерватории под руководством М.И. Будыко. Решение уравнения теплового баланса человека невозможно без применения ряда эмпирических физиологических коэффициентов, выбор которых должен соответствовать поставленной задаче.

Основная задача диссертационного исследования заключалась в решении уравнения теплового баланса в таком виде, в котором обеспечивается его применение для описания курортных и рекреационных условий на небольших территориях с использованием стандартной, и оперативно нанесенной в сетевых метеостанциях на механический носитель метеорологической информации, пригодной для машинной обработки и вычисления на ЭВМ. Разработанная методика вычисления теплового баланса применялась для изучения биоклимата побережья Эстонии, имея в виду большое курортологическое и рекреационное значение данного района. Отсюда возникла необходимость в более подробном изучении местных климатообразующих процессов побережья Балтийского моря, обуславливающих разнообразие биоклиматических условий в прибрежной полосе.

Исходные данные, использованные для решения поставлен-

ных задач, получены из фондов ГУГМС и микроклиматических наблюдений, организованных автором на разных участках побережья Эстонии в период 1966-68 гг. Выяснение удельного веса местных климатических различий в среднемесячных значениях метеорологических элементов произведено путем обработки ежедневных данных стандартных метеорологических наблюдений по восьми направлениям ветра за 15 лет по станциям Таллин, Пярну и Вильсанди. Распределение метео данных по направлениям ветра и вычисление средних значений метеорологических элементов исполнены на Новосибирской машинно-счетной фабрике ГУГМС. Оттуда же заказаны ежедневные перфорированные данные для вычисления на ЭВМ теплового баланса человека. Тепловой баланс человека вычислялся для станций Таллин, Куузигу и Пярну на ЭВМ "Проминь-2М"; соответствующая программа разработана автором совместно со старшим преподавателем Таллинского политехнического института К. Тальвик.

Для изучения специальных вопросов генезиса биоклимата побережья наряду с микроклиматическими данными использованы материалы стандартных наблюдений по метеорологии, гидрологии моря, аэрологии и актинометрии из фондов Таллинской гидрометеорологической обсерватории УГМС Эстонской ССР.

Из-за отсутствия данных о режиме солнечной радиации на побережье Эстонии необходимым оказалось его косвенное описание, при этом с учетом литературных данных по соседним областям.

1. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОКЛИМАТА ПОБЕРЕЖЬЯ

В главе первой настоящей работы дана характеристика интегральной солнечной радиации, ультрафиолетовой радиации, температурного режима морской воды, ионизации и химического состава воздуха в прибрежной полосе Эстонии. Для вычисления месячных сумм солнечной радиации на побережье, где систематические актинометрические наблюдения не проводились, применялись уравнения косвенного расчета по количеству облачности, рекомендуемые С.И. Сивковым (1968). Прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность

$$S' = S_0(1 - 0,6N - 0,4n) \quad /1/$$

и суммарная радиация

$$Q = Q_0 \left(1 - k \frac{N + n}{2}\right), \quad /2/$$

где S' и Q — прямая и суммарная радиация,
 S_0 и Q_0 — возможная прямая и суммарная радиация,
 N — количество общей облачности,
 n — количество нижней облачности,
 k — коэффициент.

Значение коэффициента k в Эстонии для летних месяцев, вычисленное на основе многолетних средних данных количества облачности и суммарной радиации равно в среднем 0,66. По уравнениям /1,2/ найдены месячные суммы радиации для прибрежных станций, учитывая ошибку косвенного определения суммарной радиации по измеренным и вычисленным суммам радиации для станций Куузику и Тоома. Получены следующие значения суммарной радиации: в мае 13,5–14,0 ккал/см², в июне — 15,5–16,0 ккал/см², в июле 15,0–15,5 ккал/см², в августе 11,0–11,5 ккал/см² и в сентябре 7,0 ккал/см². В пределах точности косвенного определения эти суммы совпадают с суммами радиации на побережье Эстонии, вычисленными Карингом (1970) при помощи более детальной методики. Все это служит подтверждением факта, что детализация методов косвенного определения сумм солнечной радиации на современном уровне информации об облачности не повышает их точности (Сивков, 1968).

Другим путем определения суммы радиации на побережье Эстонии является использование данных из других областей побережья Балтийского моря. На основании сравнения материалов актинометрических наблюдений прибрежных и расположенных недалеко от них внутренних станций найдены разности сумм радиации летних месяцев для семи пар станций. Сопоставление найденных разностей с косвенно определенными суммами радиации для побережья Эстонии показывает, что наиболее близкие количественные разности радиации между побережьем и внутренними районами Эстонии отражают актинометрические станции Хельсинки и Йокиойнен (Солнечная радиация..., 1970), данные которых использованы для анализа дневного хода радиации в

летнее время. Основная особенность радиационного режима побережья заключается в том, что практически вся радиация, получаемая побережьем больше за счет уменьшения облачности, падает на активно используемые отдыхающими часы (10-18 по местному времени).

Общий фон температурного режима поверхностных вод Балтийского моря дан на основе многолетних наблюдений прибрежных станций Эстонской ССР. Выделено четыре района, различающихся по длительности купального сезона и средним месячными температурам воды.

Эпизодические измерения температуры воды на нескольких пляжах, а также сравнение летних данных станции Паكري с наблюдениями на водо-спасательной станции Клоосга-Ранд показывают, что в температуре воды бухт и открытых берегов существуют большие различия как в разовых (до 8°), так и в средних месячных значениях (в июне 3°). Эти различия связаны с большей степенью закрытости бухт и с ветровыми течениями.

2. ВЕТЕР КАК ФАКТОР, ПЕРЕДАЮЩИЙ ВЛИЯНИЕ МОРЯ

В главе второй выдвинута концепция о решающей роли направления ветра при образовании местных особенностей климата в прибрежной полосе. Обоснованием для этого могут служить существенные количественные различия в биоклиматических факторах среды, обусловленные морскими и береговыми ветрами. Касается это факторов, прямо не связанных с тепловым ощущением человека (распределение интенсивности УФ-радиации, химический состав и уровень природного загрязнения воздуха, ионизация воздуха), свойств морской воды (температура), а также загрязненности моря и метеорологических элементов, влияющих на тепловое состояние (температуры и влажности воздуха, скорости ветра, облачности).

После обсуждения репрезентативности исходных данных о скорости и направлении ветра приведены наиболее типичные примеры о влиянии морского и берегового ветров на дневной ход метеорологических элементов по данным микроклиматических наблюдений на побережье Эстонии в 1966-68 гг. Морскому

ветру свойственен сглаженный ход температуры воздуха и относительной влажности с соответствующим уменьшением суточной амплитуды. Дневной ход упругости водяного пара при береговом ветре имеет два максимума (главный — утром и вторичный — вечером), а при морском ветре максимумы наблюдаются после полудня. Последнее обусловлено непрерывной адвекцией водяного пара с моря и объясняет исчезновение минимума после полудня в многолетних средних значениях упругости пара на островных станциях.

Анализируется также ход метеорологических элементов на побережье при смене берегового направления ветра на морское. Резкие скачки в ходе температуры воздуха (снижение до 10°) и относительной влажности (повышение свыше 30 %) сопровождаются изменением направления ветра во второй половине дня. При изменении направления ветра утром скачков не наблюдается, однако отсутствует характерный летним солнечным дням быстрый рост температуры воздуха и уменьшение относительной влажности, т.е. о скачках метеоэлементов можно говорить относительно теоретической кривой дневного хода этих элементов. Микроклиматические наблюдения на пляже Клоога-Ранд позволяют сравнивать синхронные значения метеоэлементов в двух близких пунктах, с различным расположением относительно береговой линии. В качестве опорных данных использованы стандартные наблюдения на метеорологической станции Пакри, расположенной на полуострове в 11 км к западу от Клоога-Ранд и примерно на 6 км в сторону моря по береговой нормали. Максимальные разности между этими пунктами (температура воздуха на Клоога-Ранд на 9° выше, относительная влажность на 30 % ниже) зарегистрированы 7-го сентября 1967 г., когда фронт бриза прошел Пакри утром до девяти часов, а Клоога-Ранд — в 14 часов по местному времени. Приведены средние разности температуры и влажности воздуха девяти дней синхронных наблюдений для дневных сроков (от 6 до 21 часа) и результаты анемометрических съемок. Отмечено, что средние коротких периодов наблюдений не отражают полностью действительных разностей в средних месячных значениях между

пунктами с различным расположением относительно конфигурации и ориентации береговой линии.

Для решения этой задачи вычислены средние значения метеорологических элементов (давление на уровне моря, температура воздуха, относительная влажность, упругость водяного пара, количество общей и нижней облачности, скорость ветра) в 13 часов по восьми направлениям ветра за период 1950–64 гг. для станций Таллин, Пярну и Вильсанди и за период 1959–64 гг. для станций Кунда и Айнажи (для Кунда и Айнажи перфорированных данных до 1959-года не имеется).

При анализе средних значений метеорологических элементов по направлениям ветра выявлены факторы трех масштабов:

1) макромасштабные – влияние воздушных масс, размеры которых превышают площадь наблюдаемой территории в десятки раз и трансформация которых из-за небольшого расстояния между станциями данной территории незначительная;

2) мезомасштабные – влияние Балтийского моря или его заливов соответственно конфигурации и ориентации береговой линии или распределению суши и моря (наличие островов, размеры однородной подстилающей поверхности);

3) условия местной защищенности метеоплощадки, которая в отдельных случаях особенно заметно отражается на средних значениях скорости ветра по направлениям.

Влияние воздушных масс отражается в средних суточных температурах воздуха по направлениям ветра (Назарова, 1964) и подтверждается распределением давления воздуха по направлениям ветра.

При сопоставлении данных отдельных румбов для станций с различной ориентацией в отношении береговой линии определено местное влияние моря на средние значения метеорологических элементов для всех рассматриваемых станций. В таблице I приведены средние разности шести метеорологических элементов Таллин – Пярну для двух групп направлений ветра:

1) южные и юго-западные ветры (морской ветер в Пярну, береговой в Таллине);

2) северо-западные, северные и северо-восточные ветры

(морской ветер в Таллине, береговой в Пярну).

Приведенные в таблице разности отчетливо показывают непосредственное влияние моря на метеорологические элементы в прибрежной зоне. Охлаждающее влияние моря выражено наиболее сильно весной. Зимой влияние Рижского залива слабее влияния Финского залива, что объясняется большей покрытостью льдом первого. Средние значения упругости водяного пара при морском ветре выше в течение всего года с максимальными разностями летом, что подтверждает подчеркнутую выше роль адвекции водяного пара в формировании своеобразного суточного хода упругости пара на прибрежных станциях. Значительный рост относительной влажности объясняется охлаждающим действием морского ветра и одновременной адвекцией водяного пара. Отмеченное И.А. Бересневой (1969) уменьшение суточной амплитуды относительной влажности на прибрежных станциях является, таким образом, следствием влияния морского ветра. Мезомасштабное влияние моря на количество облачности выражено сильнее летом и в начале зимы. При этом решающую роль в увеличении облачности зимой и в уменьшении ее летом играет нижняя облачность. Средняя скорость морского ветра заметно повышает скорость берегового. Исключением является морской ветер летом в Таллине, где уменьшение скоростей ветра с северных румбов объясняется, в частности, местной защищенностью флюгера.

Расчлененность береговой линии позволяет выбрать пары метеорологических станций, по данным которых с учетом направления ветра можно изучать, какое пространство должен пройти ветер с моря над сушей (полуостровом) или ветер с суши над водой (заливом), чтобы поток воздуха в приземном слое приобрел новые свойства. Анализ показывает, что непосредственное влияние моря проявляется в полосе примерно в 15–20 км от берега. Разумеется, такое определение относится только к многолетним средним значениям метеорологических элементов.

В конечном итоге степень континентальности или морской характер климата в мезомасштабе в условиях сложной конфигурации береговой линии Эстонии определяется соотношением пов-

Т а б л и ц а - I
Средние разности метеорологических элементов Таллин - Пярну
при морском и береговом ветрах

Элемент	Ветер	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха (°C)	I	-0,8	1,5	0,9	3,8	2,0	1,5	-0,3	-0,2	-1,0	-0,4	-0,5	-0,5
Упругость пара (мб)	2	2,5	0,2	-1,3	-0,8	-2,0	-1,6	-1,2	-1,1	-0,5	-0,1	-0,6	-1,8
Относительная влажность (%)	I	-0,3	0,4	-0,1	-0,1	-0,4	-1,0	-1,7	-1,6	-0,4	-0,5	-0,4	-0,6
Общая облачность (баллы)	2	0,6	0,8	0,2	0,5	1,0	1,8	1,6	1,2	0,5	0,4	0,1	0,3
Нижняя облачность (баллы)	I	-3	-6	-12	-20	-12	-11	-6	-4	-4	-6	-2	0
Скорость ветра (м/сек)	2	4	5	9	10	14	18	13	10	8	5	-1	-2
	I	0,2	0,0	-0,9	-0,2	1,0	1,2	1,6	1,8	0,3	-1,7	-0,1	-0,6
	2	1,8	2,4	-0,3	-3,0	-1,2	-1,4	-1,7	-1,7	0,2	0,7	0,7	1,0
	I	-0,1	-0,4	1,8	1,1	1,9	1,4	2,4	2,0	0,8	0,3	-0,2	-1,0
	2	3,3	2,5	0,1	-2,1	-1,8	-0,5	-1,8	-1,2	-0,8	0,6	0,9	1,9
	I	-3,4	-2,0	-0,8	-1,2	-1,4	-2,2	-2,2	-3,2	-2,1	-2,8	-3,7	-3,2
	2	2,0	0,5	0,3	-0,9	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	0,4	0,6	3,4	3,2

I - ветер с ЮЗ и Ю; 2 - ветер с СЗ, С и СВ.

торяемости морского и берегового ветров. В силу исторических причин формирования прибрежной сети метеостанций в Эстонии, большинство из них расположено на маленьких островках или на полуостровках, протянутых далеко в море. Следовательно, описания климата побережья, опирающиеся на данные таких станций, носят более морской характер, чем биоклимат пляжей, которые обычно находятся на берегу более закрытых бухт.

Учитывая положительные биоклиматические качества морских бризов, указанные многими авторами, в настоящей работе отдельно рассматривается до настоящего времени мало изученный вопрос о возникновении и характеристиках бризовой циркуляции на побережье Эстонии. По показателю периодичности ветра Бурмана (1961) дана общая характеристика частоты появления бризов на разных участках побережья. Для детального анализа бризов использованы материалы наблюдений трех ближайших метеостанций: Таллина (на береговой линии), Таллин-Юлемисте (в среднем в 5 км в сторону суши) и Найссаар (островная станция с расстоянием от береговой линии суши около 15 км и от береговой линии острова 40 м). Используются также данные микроклиматических наблюдений. Основными признаками в определении дней с бризами считали суточную периодичность направления ветра и изменение направления ветра с высотой в противоположную сторону, которые являются главными морфологическими признаками бризов (Бурман, 1969). Дополнительно учитывали количество общей и нижней облачности, продолжительность солнечного сияния, скорость ветра, разность температуры морской воды и температуры воздуха днем и ночью, разность температуры воды и поверхности почвы и суточные амплитуды температуры воздуха и поверхности почвы. Приведено среднее число дней с бризами на трех станциях (на станциях Таллин и Таллин-Юлемисте с апреля до сентября по 4-5 дней ежемесячно, на острове Найссаар 1-2 дня в месяц). Установлено, что на острове Найссаар существует независимая от побережья материка бризовая циркуляция. Распространение морских бризов в сторону суши в 90 % случаев больше 5 км, а в остальных случаях имеют место фронтальные бризы. Максимальное распространение морских бризов - 20 км. По данным аэро-

логической станции Таллина в вертикальном разрезе морской бриз охватывает днем слой воздуха в среднем толщиной 450–500 м (максимально 1000 м) и береговой бриз – 100–200 м. Изучен суточный ход скорости и направления бризов. Повторяемость появления бризов в Таллине в различных барических системах следующая: в антициклоне или гребне его – 44 %, в безградиентном поле 31 %, в седловине – 12 %, в циклоне – 12 %. В последнем случае бризы возникали исключительно на периферии ложбины циклона, в 200–300 км от фронта. Некоторые средние характеристики дней с бризами приведены в таблице 2.

Средние значения метеорологических элементов в бризовые дни образуются под влиянием двух факторов. С одной стороны, влияют характеристики погод, благоприятных для развития бризов (фоновые), а с другой, характеристики бриза как морского ветра днем и берегового – ночью. По сравнению с месячными нормами суточные данные (амплитуда температуры, солнечное сияние и т.д.) близки к средним значениям малооблачных дней. На побережье Эстонии бризы образуются в солнечные дни, когда температура воздуха в приземном слое заметно выше нормы. Хотя начало морского бриза и сопровождается понижением температуры, все же средняя температура остается выше нормы (около 2°). Средние значения относительной влажности близки к норме.

3. ОПИСАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

После краткого обзора факторов, влияющих на тепловое состояние человека, описаны основные методы, использованные в изучении среды с точки зрения теплового состояния (специальные приборы и биометеорологические индексы).

Преимущество метода теплового баланса выражается в следующем:

1) в единой основе для изучения энергетической стороны взаимоотношений человека и среды;

2) выражение результатов в общепонятных единицах физики позволяет количественно связать разные науки (физику, физиологию, гигиену) с биоклиматологией и разные отрасли биоклиматологии тепловых;

Т а б л и ц а 2

Средние характеристики бризовых дней в Таллине^{х)}

	IV	V	VI	VI	VII	VIII	IX
Температура воздуха в 13 ч. (°C)	9,4	14,0	18,8	20,8	19,6	14,1	
Отн. влажность в 13 ч. (%)	68	64	74	75	74	75	
Общая облачность в 13 ч. (баллы)	3,0	4,6	5,6	5,5	4,4	3,4	
Нижняя облачность в 13 ч. (баллы)	0,6	1,7	3,8	2,7	1,4	1,2	
Амплитуда температуры воздуха (°C)	10,6	10,3	9,5	9,3	8,7	6,0	
Амплитуда температуры поверхности почвы (°C)	30	32	33	30	28	21	
Отн. продолжительность солнечного сияния (%)	80	70	66	72	66	73	
Разность температуры воздуха/температура воды							
днем	8,9	12,4	7,6	5,1	4,7	0,2	
ночью	-1,7	-1,3	-1,8	-4,4	-4,2	-7,1	

х) По данным 106 дней с бризами.

3) в принципе в возможности употребления для описания теплового состояния во всех условиях — в разные сезоны года и в разных климатических условиях, в естественной или искусственной среде;

4) наряду с физическими факторами учитывается целый ряд физиологических факторов, влияющих на тепловое состояние человека, оценка среды соответствует теплопродукции организма;

5) его можно употреблять на основе средних показателей определенных групп населения, а также на основе индивидуальных показателей;

6) в возможности оценить роль всех видов теплообмена в тепловом балансе и сравнить различные типы климата до уровня микроклиматических различий.

Обзор о принципиальном выражении уравнения теплового баланса и о развитии решения его отдельных компонентов дан в недавно изданной работе Т.Н. Лиопо и Г.В. Циценко (1971).

В настоящем случае, когда целью являлось описание летних термических условий вне помещения в интересах курортологии и рекреации, использовано уравнение для человека, не защищенного одеждой:

$$R + M = L \rho d (e_s - e) a + (\rho c_p d + 4 s \sigma T^3) (T_n - T) + H, \quad /3/$$

где R — радиационный баланс человека, M — теплопродукция, L — скрытая теплота испарения, ρ — плотность воздуха, d — коэффициент турбулентной диффузии, e_s — удельная влажность воздуха при температуре T_n , e — удельная влажность воздуха, a — коэффициент, характеризующий испарение с поверхности тела, c_p — теплоемкость воздуха при постоянном давлении, s — относительный коэффициент излучения, σ — постоянная Стефана-Больцмана, T — температура воздуха, T_n — средняя температура поверхности тела, H — затраты тепла на дыхание.

Неучитывание коэффициента теплопроводности одежды d' сопровождается несущественными ошибками в описании летних условий отдыха на побережье. С другой стороны, это повышает точность вычисления теплового баланса, так как значения коэффициента d' недостаточно точны по сравнению с реальными разнообразными теплоизоляционными свойствами одежды.

Для основных расчетов теплового баланса в настоящей работе использована модель человека со средними физиологическими параметрами, т.е. т.н. средний человек. Это - здоровый, взрослый, пребывающий в покое молодой мужчина со средним ростом и весом. Специальные расчеты проведены с физиологическими коэффициентами, пределы которых приводятся ниже.

Для определения площади поверхности тела применялась формула Дюбуа (Winslow, Herrington, 1949)

$$S = l^{0,725} \cdot p^{0,425} \cdot 71,84, \quad /4/$$

где l - рост, p - вес, и антропологические данные (Ауль, 1964; Ауль, 1970). Общая площадь поверхности тела среднего человека $S = 1,84 \text{ м}^2$, откуда деятельная поверхность для стоящего человека ($0,8 S$) $S_1 = 1,5 \text{ м}^2$. Отклонения от средней площади рассмотрены в пределах $S_1 = 1,5 \text{ м}^2 \pm 0,4 \text{ м}^2$.

Теплопродукция при разных видах действий определялась по таблице, составленной на базе литературных источников (Winslow, Herrington, 1949; Оппл, Йокл, 1962; Кандроп, 1968). Для среднего человека $H = 100$ ккал/час. Средняя температура поверхности тела при комфортном самочувствии равна 33° . Альбе́до кожи европеоидов определено по К. Бюттнеру (Büttner, 1952) в пределах $0,30-0,40$, учитывая большой удельный вес блондинов в населении (Ауль, 1964), со средним значением $0,37$. Коэффициенты s, d и a взяты из работы Будыко и Циценко (1960). Альвеолярная вентиляция (A) для подсчета теплотерь при дыхании найдена по специальным таблицам (Агапов, 1963).

При вычислении теплового баланса на основе данных микроклиматических наблюдений в уравнение введены значения метеорологических элементов на уровне 150 см. Из стандартных данных без приведения использованы значения температуры и влажности воздуха, актинометрические данные и, разумеется, количества облачности и температуры поверхности почвы. Средний коэффициент приведения скорости ветра на высоту

I м, равный 0,4, вычислен при сравнении данных анемометрических съемок на пляжах с синхронно измеренными скоростями ветра на ближайших метеорологических станциях.

Решение уравнения теплового баланса выполнено по компонентам, позволяющим оценить роль метеорологических элементов и некоторых природных факторов в тепловом ощущении.

Вычисление термического эквивалента солнечного излучения при наличии актинометрических данных произведено по уравнению (Будыко, Циценко, 1960)

$$R = \left[S' \frac{\cos t \cdot h_o}{\pi} + 0,5D + (S' + 0,5D)\alpha_o \right] (1 - \alpha), \quad /5/$$

где S' - прямая радиация на горизонтальную поверхность, h_o - высота солнца, D - рассеянная радиация, α_o - альbedo подстилающей поверхности, α - альbedo кожи.

Для случаев, когда актинометрических данных не имеется, использованы уравнения приближенного расчета солнечной радиации /1,2/, имея в виду, что $D = Q - S'$. На основе уравнения /5/ получаем

$$R = R_o (1 - 0,4N - 0,4n), \quad /6/$$

где R_o - возможный радиационный баланс человека. Из справочного материала (Справочник ... вып. 4, ч. I, 1966) вычислены значения в летние месяцы для разных альbedo поверхности земли. Путем проверки уравнения /6/ с часовыми суммами радиации в Тарту получено эмпирически исправленное выражение приближенного уравнения радиационного баланса человека (Tarand , 1972)

$$R = R_o (1 - 0,3N - 0,3n). \quad /7/$$

Ввиду нелинейной зависимости солнечной радиации от количества облаков расчеты по уравнению /7/ не могут дать сравнимых по точности результатов с уравнением радиационного баланса /5/, однако применение его является необхо-

димым из-за отсутствия актинометрических данных из приборной зоны Эстонии.

Теплообмен путем длинноволнового излучения выражается уравнением (Будыко, Циценко, 1960)

$$I = 0,5I_0 - 2\epsilon_0 T^3 (T_m - T) + 4\epsilon_0 T^3 (T_n - T), \quad /8/$$

где I - теплообмен длинноволновым излучением, I_0 - эффективное излучение поверхности земли, T_m - температура поверхности почвы.

Для определения I_0 в настоящей работе использовано уравнение, предложенное Берлянд М. и Берлянд Т. (1952), которое дает наилучшие результаты для различных типов подстилающей поверхности (Гирдюк, 1969)

$$I_0 = \epsilon_0 T^4 (0,39 - 0,058\sqrt{\epsilon}), \quad /9/$$

где ϵ - упругость водяного пара.

Коэффициент, учитывающий влияние облачности на излучение, определен по работе Будыко, Ефимова, Мухенберг, Строкина (1961): $I - cN$, со значением коэффициента c для Эстонии 0,76.

Конвективный теплообмен (C) и потери тепла испарением пота (E) определены соответственно (Будыко, Циценко, 1960):

$$C = c_p d (T_n - T) \quad /10/$$

и

$$E = L_0 d_a (\epsilon_s - \epsilon). \quad /11/$$

Теплопотери при дыхании вычислены по И.С. Кандрору (1968)

$$H = A_p c_p (t' - t) + \Delta L_2 (\epsilon' - \epsilon), \quad /12/$$

где t' — температура выдыхаемого воздуха, e' — упругость пара выдыхаемого воздуха, $z = 0,001$.

При помощи вышеприведенных физиологических коэффициентов, выбранных соответственно задаче, и при переводе единиц измерений метеорологических элементов в принятые при метеорологических наблюдениях тепловый баланс вычислен по принципиальной схеме:

$$M + R \pm I \pm C - E \pm H = \pm B \quad /13/$$

в которой $\pm B$ — приход или уход тепла в теплообмене человека со средней относительно к комфортному самочувствию ($t_{\text{н}} = 33^{\circ}$). По известным автору данным такое применение теплового баланса осуществлено впервые. Физиологическим обоснованием метода служит обстоятельство, что при мало отличающихся от оптимальных условий температурах (до 5°) физиологические сдвиги в организме незначительны, и фиксирование физиологических параметров константами не вызывает больших ошибок. Как известно, летние условия характеризуются в Прибалтике прохладными, а также комфортными погодами, и повторяемость жарких дней небольшая. Это, в свою очередь, повышает точность результатов, поскольку при повышении средней температуры поверхности тела физиологические сдвиги проявляются быстрее, чем при ее понижении.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА

Общая оценка теплового баланса днем в летние месяцы дана на основе справочных данных (Справочник ... вып. 4, ч. I — У, 1965 — 68) метеорологической станции Куузику. Результаты приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Тепловой баланс и его компоненты на станции
Куузику (ккал/час)

Месяц	Местное время	С	Р	Е	І	В при М=100
У	9.30	-818	191	-115	-168	-805
	12.30	-812	192	-126	-129	-275
	15.30	-295	162	-126	-125	-284
УІ	9.30	-226	208	-99	-131	-153
	12.30	-219	218	-109	-91	-101
	15.30	-230	184	-114	-78	-187
УІІ	9.30	-175	195	-85	-115	-80
	12.30	-174	194	-98	-75	-53
	15.30	-189	178	-95	-68	-79
УІІІ	9.30	-212	166	-91	-128	-165
	12.30	-219	192	-100	-94	-140
	15.30	-218	146	-104	-90	-166
ІХ	9.30	-298	138	-106	-167	-388
	12.30	-282	131	-111	-135	-297
	15.30	-282	88	-115	-131	-390

По абсолютным значениям в тепловом балансе отдыхающего конвективный теплообмен составляет 30 %, коротковолновая радиация - 27 %, теплопродукция - 15 %, теплотери испарением - 14 % и теплообмен длинноволновым излучением - 14 %.

Дневной ход теплового баланса рассчитан на основе средних месячных данных, а также микроклиматических данных с интервалом отсчетов в полчаса.

На рисунке I представлен пример дневного хода теплового баланса и его компонентов 19 июня 1968 г. на пляже Клоосга-Ранд. Дневной ход теплового баланса на основе среднемесячных данных имеет максимум после полудня и приблизительно

симметричное уменьшение к утру и к вечеру. Общий вид дневного хода определяется конвективным теплообменом и коротковолновым радиационным балансом. Максимум длинноволнового радиационного баланса имеет место несколько позже по сравнению с другими компонентами. Теплопотери на испарение пота максимальны в полдень, а теплопотери на дыхание остаются практически константными.

На основе средних значений метеорологических элементов в летние месяцы вычислено отклонение теплового баланса взрослого населения ($\pm \Delta B$) от теплового баланса среднего человека. Из физиологических индивидуальных особенностей учтены площадь поверхности тела и альbedo кожи в вышеуказанных пределах, а влияние возраста и пола учтено на основе литературы (Winslow, Herrington, 1949; Кандрор, 1968). Максимальное отклонение (отклонения всех индивидуальных особенностей имеют один и тот же знак) равно ± 50 ккал/час. Следовательно, значение теплового баланса $B = 0 \pm 50$ ккал/час выражает комфортное или близкое к этому самочувствие большинства взрослого населения. Величина $2 \Delta B$ (100 ккал/час) является удобной единицей и может в первом приближении служить основой для распределения летних погод по значениям теплового баланса. Оказывается, что выделенные таким образом группы летних погод хорошо согласуются с теплопродукцией организма на разных уровнях активности, и посредством нефункциональной связи между единицами одежды и теплопродукцией (Winslow, Herrington, 1949) удовлетворительно связаны с потребностью в одежде при небольшом дефиците теплового баланса неодетого человека.

Получено 6 групп погод со следующими значениями теплового баланса:

1) от -50 до $+50$ ккал/час (комфортные). Тепловое равновесие обеспечено или требуются незначительные изменения в теплопродукции либо в затрате тепла испарением;

2) от -50 до -150 ккал/час (прохладные). Охлаждению организма можно воспрепятствовать легкой или средней физической активностью. В покое требуется одежда меньше I кю;

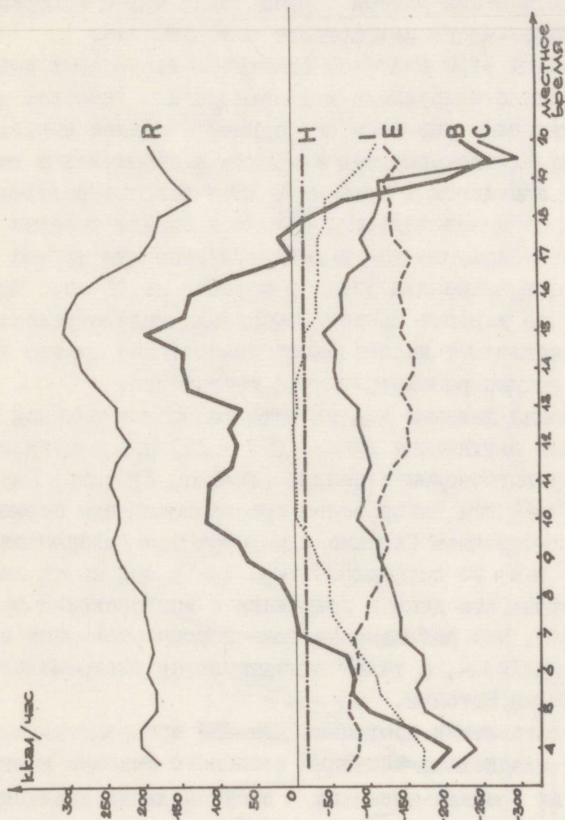


Рис. 1. Ход теплового баланса и его компонентов 19. VI 1965 г. на Клоотга-Ранг.

3) от -150 до -250 ккал/час (сильно прохладные). Третье будут интенсивные физические упражнения. В покое одежда выше I кля;

4) меньше -250 ккал/час (холодные). Несмотря на физическую активность для теплового равновесия нужна одежда;

5) от $+50$ до $+150$ ккал/час (теплые). Перегрев организма уравновешивается ростом отдачи тепла путем испарения в пределах более-менее комфортного самочувствия;

6) больше $+150$ ккал/час (жаркие). Физическая активность несколько затруднена и для здоровых. Тепловое равновесие достигается укрытием от солнца, купанием и т.д.

Ввиду закономерностей дневного распределения метеорологических элементов в приземном слое воздуха выделенные группы для стоящего человека являются нижним порогом теплового ощущения данного дня и действительны для других положений тела, а также для детей в возрасте до 16 лет. Предполагается, что широкие пределы выбранных индивидуальных особенностей позволяют использовать приведенные группы летних погод вне границ рассматриваемой территории.

Основными данными для расчета теплового баланса человека служили ежедневные летние (VI - VIII) наблюдения на трех метеорологических станциях (Таллин, Куусику, Пярну) в период 1959-64 гг. Выбор более продолжительного периода оказался невозможным (данные о температуре поверхности почвы до 1959 года не перфорированы). Ввиду краткости периода характеристики его даны в сравнении с многолетними средними. Показано, что наблюдаемые года хорошо совпадают с многолетними средними, а также характеризуют экстремальные летние условия Эстонии.

При составлении программы для ЭВМ предусматривалось вычисление ежедневных значений теплового баланса и его компонентов, их средних месячных и экстремальных значений, а также повторяемости по вышеприведенной классификации. Затем была найдена изменчивость теплового баланса изо дня в день.

В конвективном теплообмене наблюдаются разности между

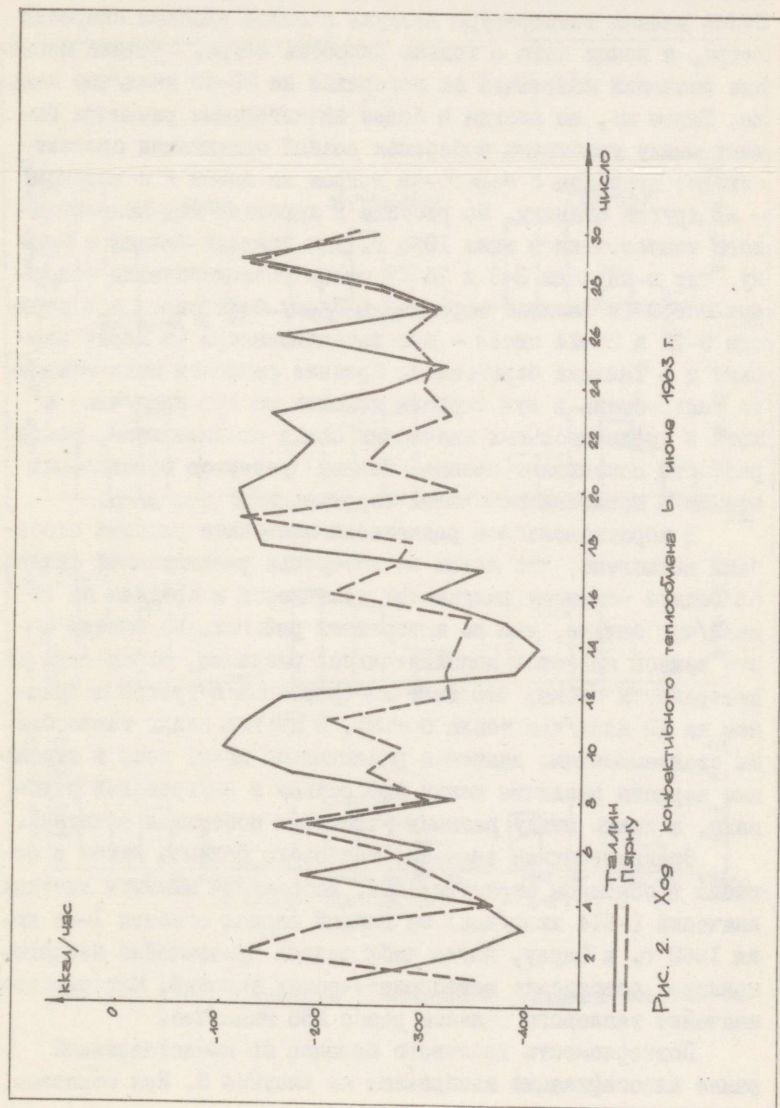


Рис. 2. Ход конфликтного теплообмена в июне 1963 г.

побережьем и внутренними районами в течение всего лета. В июне причиной больших теплопотерь на побережье являются более низкая температура воздуха и более высокая скорость ветра, в конце лета — только скорость ветра. Средние месячные значения конвекции на побережье на 20–40 ккал/час меньше. Такие же, но иногда и более значительные различия бывают между участками побережья разной ориентации соответственно периодам с береговым ветром на одной и с морским — на другой станции. На рисунке 2 приведен ход конвективного теплообмена в июне 1963 г. для станций Таллин и Пярну, где в периоды 2–3 и 13–17 чисел господствовали северные ветры (в Таллине морские, в Пярну береговые) и в периоды 9–12 и 20–24 чисел — юго-западные ветры (в Пярну морские и в Таллине береговые). Средние разности конвективного теплообмена в эти периоды доходят до 200 ккал/час; и хотя в среднемесячных значениях они и сглаживаются, такие разности показывают наличие больших резервов организации отдыха в пределах небольшой территории.

В коротковолновом радиационном балансе разными способами вычислено, что летом на побережье радиационный баланс благодаря меньшему количеству облачности в среднем на 20 ккал/час больше, чем во внутренних районах. На пляжах более важной является дополнительная радиация, отраженная от поверхности песка, что дает по сравнению с травой в среднем на 40 ккал/час тепла больше. В других видах теплообмена среднемесячные значения различаются мало, хотя в отдельные периоды различия между побережьем и внутренними районами, а также между разными участками побережья заметны.

Среднемесячные значения теплового баланса летом в Эстонии в основном отрицательные. Абсолютный минимум дневных значений (–614 ккал/час) за данный период отмечен 1-го июня 1962 г. в Пярну, когда наблюдалось чрезвычайно неблагоприятное совпадение метеорологических условий. Максимальное значение теплового баланса равно 255 ккал/час.

Повторяемость теплового баланса по представленной ранее классификации изображена на рисунке 3. Как показано,

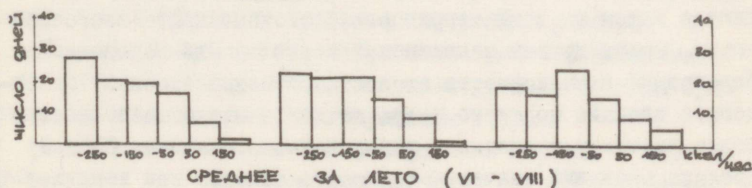
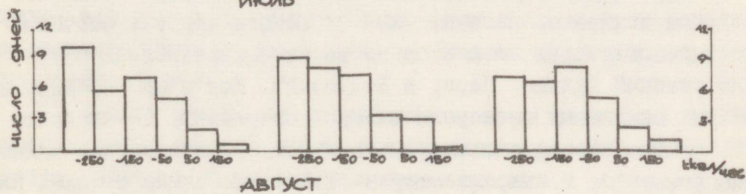
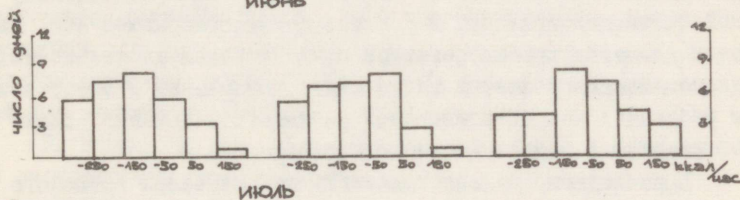


Рис. 3. Повторяемость теплового баланса 1959-64 гг.

каждое деление соответствует дням, подходящим для определенного вида отдыха. Средняя изменчивость летних погод изо дня в день для трех станций приведена в таблице 4.

Т а б л и ц а 4
Средняя изменчивость теплового баланса изо дня
в день (ккал/час)

Метеорологическая станция	Июнь	Июль	Август
Таллин	149	118	113
Куузику	123	109	98
Пярну	136	112	108

Показано, что изменчивость изо дня в день превышает изменчивость теплового баланса в течение активно используемой части дня примерно в 3 раза. Причиной большей изменчивости является хорошо развитая циклоническая деятельность; однако имеются различия также между побережьем и внутренними районами: на побережье чаще наблюдаются большие (свыше 200 ккал/час) изменения теплового баланса.

В последнем разделе анализируются значения теплового баланса человека, рассчитанные на основе средних значений метеорологических элементов по восьми направлениям ветра для станций Таллин, Пярну и Вильсанди. Как и при средних значениях отдельных метеорологических элементов, на значения теплового баланса по направлениям ветра одновременно влияют макро-, мезо- и микромасштабные факторы. Самыми теплыми являются летом на всей территории восточные и юго-восточные ветры. Ветры других направлений являются или морскими или береговыми в зависимости от местоположения станции. Охлаждающее влияние морского ветра не компенсируется полностью более высокими значениями радиационного баланса. Поэтому средние месячные значения теплового баланса при этих ветрах ниже особенно весной (на 60-90 ккал/час). Вычисление теплового баланса по направлениям ветра имеет прямое прикладное значение и может быть использовано для экстраполяции результатов микроклиматических наблюдений.

ВЫВОДЫ

При использовании метода теплового баланса в описании перехода тепловой энергии в системе среда — человек и применении его в характеристике биоклимата побережья Эстонии вместе с изучением местных климатообразующих процессов побережья получены следующие основные результаты.

1. Косвенными методами найдены месячные суммы солнечной радиации на побережье, где систематических актинометрических наблюдений не проводилось.

2. В итоге обработки стандартной метеорологической информации получены средние значения метеорологических элементов для ветра каждого направления, которые вместе с результатами микроклиматических наблюдений являются основой для концепции морского и берегового ветров.

3. Показано, что режим погоды побережья в мезомасштабе определяется повторяемостью морского ветра, что при сложной конфигурации береговой линии создает в расположенных недалеко друг от друга пунктах значительные различия в параметрах среды.

4. Анализ данных по направлениям ветра позволяет объяснить причины формирования своеобразных черт климата побережья, которые ранее найдены путем сравнения многолетних климатических данных побережья и внутренних районов.

5. Дана подробная характеристика бризовой циркуляции на побережье Эстонии, особое внимание уделено морским бризам как биоклиматически благоприятным ветрам.

6. По максимальному распространению морских бризов в глубь суши и при сопоставлении значений метеорологических элементов по направлениям ветра при различной экспозиции береговой линии приближенно определена ширина прибрежной полосы /20 км/, находящейся под непосредственным влиянием моря.

7. Дана характеристика биоклиматических факторов сре-

ды, косвенно влияющих на тепловое состояние человека, дополняющая характеристику морского и берегового ветров.

Расчетами теплового баланса человека по разработанной рациональной методике количественно выражены:

- 1) удельный вес компонентов теплового баланса летом;
- 2) дневной ход теплового баланса и его компонентов;
- 3) средние месячные значения теплового баланса и его компонентов, абсолютные и средние минимумы и максимумы;
- 4) изменчивость теплового баланса изо дня в день;
- 5) средние значения теплового баланса и его компонентов по направлениям ветра;
- 6) влияние местных физико-географических факторов на тепловое состояние человека;
- 7) основные индивидуальные особенности теплового ощущения человека и исходящая из этого новая классификация летних погод.

Кроме того, анализ теплового баланса по компонентам позволил выяснить роль отдельных компонентов теплообмена или метеорологических элементов, являющихся основой для мелiorации микроклимата.

Представленная в работе методика и некоторые из результатов учтены при составлении генерального плана нового жилого района города Таллина на Ласнамяэ.

Работы, опубликованные по материалам диссертации.

1. Об учетывании ветра при планировке территорий отдыха на побережье Эстонской ССР. В сб.: Природные факторы и ресурсы как основа комплексной территориальной планировки Эстонской ССР. Сообщения. Тарту, 1967.
2. Микроклиматические уточнения для характеристики теплового состояния на пляжах. Бальнеология Польши, XIV № 1-2, 1969 (на англ. яз.; рез. на нем., русск. и польском яз.).
3. Возможности купания на нашем побережье. Природа Эстонии, № 5, 1969 (на эст. яз.; рез. на русск. и англ. яз.).
4. Жаркие дни. Природа Эстонии, № 5, 1969 (на эст. яз.; рез. на русск. и англ. яз.).
5. Как далеко доходят бризы. Природа Эстонии, № 1, 1970 (на эст. яз.).
6. О погоде во время отпусков и певческих праздников. Человек и погода. Таллин, 1970 (на эст. яз.).
7. Зависимость посещаемости взморья Клоога от погоды. Ежегодник Эстонского географического общества, 1969. Таллин, 1971 (на эст. яз.; рез. на русск. и англ. яз.).
8. Летний индекс комфорта из уравнения теплового баланса. Эстония. Географические исследования. Сб. работ к случаю 22-го Международного географического съезда. Таллин, 1972 (на англ. яз.).

Таранд Андрос Хельмутович

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РАСЧЕТ
ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ЧЕЛОВЕКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО
В ХАРАКТЕРИСТИКЕ БИОКЛИМАТА ПОБЕРЕЖЬЯ ЭСТОНИИ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Тартуский государственный университет

СССР, г. Тарту, ул. Шкооли, 18

Сдано в печать 12/1У 1973 г. Бумага офсетная, 30x45.1/4.

Печ. листов 2,0. Тираж 200 экз.

Заказ № 418

Ротапринт ТГУ. СССР, г. Тарту, ул. Пяльсони, 14

Бесплатно

Бесплатно

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00544924 6