

*М.А. Трубина, Л.А. Хассо, Ж.К. Дячко*

## МЕТОДЫ БИОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РОССИИ

*Marina Trubina, Ludmila Hasso, Zhaniya Dyachko*

## METHODS OF THE BIOCLIMATIC ESTIMATION OF THE NORTHWEST REGION OF RUSSIA

*В статье представлены методы и результаты биоклиматической оценки климата Северо-Западного региона России.*

*Ключевые слова: биометеорологические индексы и показатели, адаптация, комфортность, климат, информационные технологии.*

*In article methods and results of a bioclimatic estimation of a climate of Northwest region are presented.*

*Key words: Biometeorological indexes and indicators, adaptation, comfort, climate, methods, information technologies.*

### Введение

В XXI в. существенно возрастает интерес специалистов (метеорологов, климатологов, экологов, медиков) к проблеме влияния изменений климата и погоды на здоровье человека. В будущем на планете ожидается дальнейшее увеличение частоты и интенсивности наводнений, засух и других погодных и климатических экстремальных явлений в результате изменения климата, в частности, тепловых волн, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека [9, 12]. Проблема установления причинно-следственных связей между состоянием (качеством) окружающей среды и здоровьем населения, является одной из ведущих среди социальных задач, при этом проблема влияния изменения климата на здоровье населения становится **вызовом XXI века**, особенно актуальными являются вопросы адаптации населения к изменению климата и к ухудшению экологической обстановки [1, 6, 26].

В России адаптация организма человека к климатическим изменениям является ключевым элементом будущей стратегии климатической политики, поэтому решение проблем адаптации человека ставит задачи по комплексной оценке:

- климатических изменений в регионах страны (биоклиматические особенности);
- влияния гелиофизических и метеорологических факторов на здоровье человека;
- влияния экологических и социальных проблем (оценка риска для здоровья человека).

По мнению группы экспертов РКИК ООН: «Адаптация к последствиям изменения климата, как вследствие деятельности человека, так и природных

*факторов является наиважнейшей задачей для всех государств, особенно в тех регионах, которые могут испытать на себе наиболее серьезные последствия изменения климата. Все страны нуждаются в расширении доступа к информации и создании научного потенциала, который позволит их правительствам разрабатывать стратегии планирования и обеспечения развития с учетом климатических, экологических, медицинских, экономических и социальных факторов. ...В области последствий наблюдаемых и ожидаемых в будущем изменений климата для природных и хозяйственных систем, для здоровья населения необходимо дальнейшее развитие и усиление исследований по ряду научных направлений»<sup>1</sup>.*

### **Актуальность**

Актуальность данного исследования определяется одним из важнейших направлений ряда программ международных организаций (ООН, ВМО, ВОЗ, ВБО, ЮНЕСКО, ЮНЕП, МГЭИК и др.) – созданием долгосрочных международных программ междисциплинарных исследований для предотвращения неблагоприятного влияния изменений погоды и климата на здоровье человека и развитием этой тематики в России.

В начале XX в. проблеме воздействия климатических и погодных факторов на организмы уделялось большое внимание. Впервые профессор медицины П.Г. Мезерницкий описал комплексный подход к изучению влияния метеорологических и электрических факторов на здоровье человека и представил схему влияния солнечных и теллуристических (земных) факторов в своей монографии «Медицинская метеорология» [10]. Выдающийся ученый, академик Е.Е. Федоров (1925 г.) предложил в комплексной метеорологии раздел «медицинская метеорология» и создал учение о погодах, которое в дальнейшем развил совместно с Л.А. Чубуковым (1949 г.) [23, 24]. Это стало основой первой классификации погоды для медицинских целей.

Во второй половине XX в. рядом авторов были предложены различные медицинские классификации погоды на основе учета основных метеорологических параметров (И.В. Бутьева, Е.Г. Головина, Н.П. Данилова, В.И. Русанов, В.Н. Шеповальников, К.Ш. Хайруллин и др.) [3, 4, 5, 8, 13, 15, 17, 25, 27]. В курортологии активно развивалось научное направление «медицинские прогнозы погоды (МПП)» (И.И. Григорьев, В.Ф. Овчарова, Н.П. Поволоцкая, В.Г. Бокша, И.С. Кандрор, В.И. Хаснулин и др.) [5, 14, 16, 22]. Известный климатолог А.А. Исаев в монографии «Экологическая климатология» детально описал многие методы оценки, обобщил результаты исследований ученых в области биометеорологии и биоклиматологии, курортологии, а также привел обширный список библиографических источников [5].

---

<sup>1</sup> Оценочный доклад РККИК ООН об изменениях климата и их последствиях (2008), [Электронный ресурс] <http://climate2008.igce.ru/v2008/htm/index00.htm>

Проведенный анализ литературных источников, посвященный медицинской оценке погоды, показывает, что несмотря на значительное число предложенных биоклиматических индексов (их около ста), правильный выбор для решения конкретной задачи оказывается затруднительным, поэтому до сих пор нет унифицированных или региональных критериев оценки.

### **Постановка задачи**

Цель данного исследования состоит в разработке методологии комплексной оценки влияния климата и погоды на организм человека на основе многофакторного подхода и выбора оптимальных современных информационных методов оценки комфортности погоды и климата.

Основными задачами исследования являются:

1. Обобщение опыта ранее проведенных исследований по проблеме влияния погоды и климата на здоровье человека и отбор информативных комплексных биоклиматических/биометеорологических параметров (БМП) для оценки и прогноза комфортности погоды и климата.
2. Формирование многофакторных архивов данных, включающих параметры солнечной и геомагнитной активности, климатические и срочные метеорологические данные наблюдений на метеорологических станциях, экологические характеристики, медицинские данные по отдельным регионам РФ (создание информационных ресурсов).
3. Разработка методики проведения биометеорологического мониторинга и проведение апробации для отдельных городов Северо-западного региона.

### **Методы исследования и исходные данные**

Как известно, основное внимание в биометеорологии уделяется оценке теплового восприятия и степени теплового комфорта, как реакции организма человека на изменение параметров погоды. Под зоной комфорта понимают пределы метеорологических показателей, внутри которых большинство людей отмечает тепловой комфорт [5]. Комфорт определяется как комплекс метеорологических условий, при которых терморегуляторная система организма находится в состоянии наименьшего напряжения (или физического покоя), а протекание всех остальных функций происходит на уровне, наиболее благоприятном для отдыха (восстановления сил организма после предшествующей нагрузки).

Оценка воздействия всего комплекса погодных и физико-географических условий на организм человека в заданном районе в заданный момент времени – нетривиальная задача. Трудность ее решения обусловлена необходимостью обобщения огромного объема информации из практически не связанных между собой отраслей знаний (комплекс наук о Земле, комплекс наук о человеке и др.). Известно, что неблагоприятное воздействие на организм человека оказывают не только отдельные метеорологические и геофизические параметры, а их сочетанность, например, летом в приморских районах высокая влажность и темпе-

ратура воздуха, штиль являются причиной так называемых «душных погод», которые относятся к дискомфортному типу погод. Например, в медицинской метеорологии нашли широкое применение такие комплексные характеристики погоды и климата как различные биометеорологические показатели, медицинские типы погод и др. Обобщая опыт специалистов по комплексной оценке комфортности погоды и климата [2, 5, 4, 11, 14, 15, 16, 19, 20], можно отметить, что для полного учета воздействий погоды рассматриваются погодные комплексы, включающие значения двух и более метеорологических величин или явлений.

### ***Методика экспертной оценки БМП***

Авторами был проведен контент-анализ публикаций научно-технической литературы (монографии, журналы, материалы конференций, авторефераты диссертаций и другие документы), в которых упоминались бы БМП. Нами отобрано 28 биометеорологических показателей/индексов, которые затем были разделены (ранжированы) на шесть групп (категорий), при этом критерием группировки являлся набор основных доступных метеорологических показателей, необходимых для расчета БМП:

*1-я категория:* температура и влажность воздуха;

*2-я категория:* температура воздуха и скорость приземного ветра;

*3-я категория:* температура и влажность воздуха, скорость приземного ветра;

*4-я категория:* температура и влажность воздуха, скорость приземного ветра; солнечная радиация;

*5-я категория:* температура и влажность воздуха, скорость приземного ветра; балл облачности, данные электромагнитного и геомагнитного поля, солнечной активности;

*6-я категория:* климатические показатели.

Каждому из представленных биометеорологических показателей была сопоставлена формула расчета и дана интерпретация значений индекса [2, 16, 18, 21]. Таким образом, была сформирована матрица, содержащая информацию, необходимую для сравнения эффективности и физической обоснованности БМП. Краткая характеристика основных БМП представлена в табл. 1.

В качестве инструмента для выбора оптимальных БМП был применен метод опроса экспертов как способ, позволяющий, с одной стороны, получить полный срез спектра мнений (координация взглядов специалистов), а с другой сформировать единую «базу знаний» по интересующей проблематике. Для участия в экспертизе были приглашены 30 специалистов, представляющих различные организации России и имеющие различные взгляды на проблему. Формирование группы экспертов проходило в соответствии с определенными критериями: компетентность, стаж работы по заявленной отрасли знаний не менее 25 лет, специализация в следующих областях знаний:

**I группа экспертов** – метеорология, физика атмосферы, климатология, биометеорология;

**II группа экспертов** – экология, физика, геофизика;

**III группа экспертов** – медицина, биология.

Для опроса экспертов была составлена анкета, содержащая БМП (28 показателей). Основанием включения в анкету служила частота упоминания БМП в научно-технической литературе. Анкета состояла из трех частей. В первой части эксперт должен был оценить собственную компетентность по существу вопроса. Во второй экспертам предложено оценить эффективность каждого из отобранных БМП по пятибалльной шкале: 5 – наиболее эффективный для применения; 1 – неприемлемый для практического использования. Следует отметить, что для обеспечения квалифицированной оценки каждому БМП в анкете была предоставлена аннотация, детализирующая способ расчета индекса и способ оценки полученного результата. В третьей (необязательной) части эксперту предлагалось привести обоснование своих предпочтений в текстовой форме. Отметим, что использование пятибалльной шкалы каждым экспертом в известной мере субъективно – некоторые предпочитают ставить только высокие оценки (4 и 5), другие только низкие – (1 и 2). Часть экспертов пользуются всей шкалой (от 1 до 5), часть из них – только фрагментом шкалы (ставят 1 или 5).

Для сравнимости оценок, выставленных разными экспертами, была выполнена их нормализация. В качестве оценки согласованности мнений экспертов использован коэффициент детерминации, рассчитанный между оценками, выставленными по всем сравниваемым БМП. При статистически незначимом отличии коэффициента от «1» мнения экспертов считались согласованными; в остальных случаях – несогласованными. Следует отметить, что противоположных мнений (коэффициент отрицательный и отличие от нуля значимо) высказано не было. Анализируя результаты анкетирования, можно отметить, что в подавляющем большинстве случаев эксперты пришли к единому мнению. Следовательно, мнение группы экспертов по каждой категории БМП является согласованным, а отдельные казусы являются следствием погрешности самой анкеты и не противоречат общей картине. Свертка мнений экспертов с использованием естественных ортогональных функций подтвердила солидарность голосования внутри групп и позволила выделить «индикатор» внутри каждой группы – эксперта, мнение которого может практически полностью представлять данную группу. Совокупная оценка каждому БМП была определена как среднее значение оценок, выставленных всеми экспертами. Наиболее эффективные оценки были отобраны с использованием статистического метода.

Группирование факторов позволило выделить 3 области в соответствии с факторной нагрузкой (на основе факторного анализа):

*1-я область.* Показатели, получившие наименьшую согласованность во мнениях экспертов и наименьшие их оценки из-за малой известности и плохой интерпретации.

*2-я область.* Равномерное расположение БМП, и в этой группе можно выделить две подгруппы: (РЭЭТ, ЭЭТ, ЕТ) и (I и O2) как наиболее значимые по мнению экспертов, которые рассчитываются по основным метеопараметрам и часто используются в отечественной практике.

*3-я область.* Показатели, построенные по классификациям, типам и шкалам выделенных в одну группу характеристик. Их отличает трудоемкость в вычислениях и переизбыток входной информации.

Наиболее высокие оценки получили БМП, относящиеся к 3 группе (см. табл. 1). В 3-й группе наибольшую оценку получили показатели **ЕТ (индекс ID)** и **ЭЭТ**, и расхождение их оценок не является статистически значимым. По-видимому, эксперты посчитали БМП 1-й и 2-й групп малоинформативными и не отражающими сложность метеорологических ситуаций; а БМП 4-й и 5-й групп излишне перегруженными деталями и непригодными к практическому использованию. Следует отметить, что показатели, отнесенные к 5-й группе БМП, как правило, не получили согласованных оценок экспертов в силу большого числа используемых метеопараметров и субъективного отношения экспертов к добавлению того или иного дополнительного параметра. Однако несколько высоких оценок показателя **IP** позволили ему получить значимо высокую оценку из показателей его группы БМП. Что касается 6-й группы, то БМП, собранные в ней, не вполне сравнимы с остальными, поскольку в отличие от них оперируют только осредненными (климатическими) значениями метеопараметров.

Анализируя мнения экспертов, можно сформулировать следующий вывод: для предварительных (осредненных по времени или территории) расчетов можно использовать показатели **ЕТ** и **ЭЭТ**; для детализации оценок влияния погоды на организм человека рекомендован **IP**. Итоговая экспертная оценка показала, что наиболее оптимальными и физически обоснованными, являются следующие биометеорологические показатели: **ЭТ, ЭЭТ, РЭЭТ, ЕТ (индекс ID), S<sub>0</sub>, K, pO<sub>2</sub>, Qs, IP, TP**, которые можно считать информативными и применять для комплексной оценки влияния погоды на здоровье человека [18]. Эти показатели отражают тепловое состояние человека, поскольку климат и погода влияют на условия теплообмена с окружающей средой. При этом существуют предпочтения использования данных индексов: в биоклиматической практике можно использовать индекс **ЕТ**, а в курортологии **ЭТ, ЭЭТ** и для оценки влияния прямой солнечной радиации **РЭЭТ**.

Для биоклиматической оценки авторы данной работы выбрали показатель **ЕТ (индекс ID)**, характеризующий тепловую чувствительность организма (уровень дискомфорта) к погоде и климату, имеющий 6-ти градусные ступени изменения теплового состояния. Биоклиматическая классификация по ЕТ представлена в табл. 2. Показатель **ЕТ**, который используется в качестве глобального биоклиматического показателя, можно использовать для расчетов сценариев будущего климата на основе возможных вариаций метеопараметров с целью выделения наиболее неблагоприятных их сочетаний для прогноза дискомфорта климата.

Таблица 1

Ранжирование основных биометеорологических показателей (Трубина М.А., 2003 г.)

Обозначение	Название
1. Температурно-влажностные показатели	
ЭТ, °С	Эффективная температура (по Миссенарду)
DI, баллы	Индекс дискомфорта (США) или ТВИ температурно-влажностный индекс (по Тому)
DY, баллы	Индекс дискомфорта (Япония)
2. Температурно-ветровые показатели (индексы холодового стресса)	
W, ккал/м <sup>2</sup> ·ч	Ветро-холодовый индекс (по Сайплу)
W C	Уточненный ветро-холодовый индекс (Wind Chill, Канада)
S, баллы	Индекс суровости (по Бодману)
T, баллы	Коэффициент жесткости погоды (по Арнольди)
H, вт/м <sup>2</sup> ·с	Индекс ветрового охлаждения (по Хиллу)
S <sub>0</sub> , баллы	Модифицированная формула индекса суровости – жесткость погоды суток (по Осокину)
ЭШТ, °С	Эквивалентно-штилевая температура (оценка суровости погоды производится без учета теплоизоляции одежды)
3. Температурно-влажностно-ветровые показатели	
ЕТ, °С	Эквивалентно-эффективная температура (показатель тепловой чувствительности с учетом влияния ветра)
ID, баллы	– индекс дискомфорта, характеризующий группы тепловой чувствительности человека по ЕТ
ЭЭТ, °С	Эквивалентно-эффективная температура (по Миссенарду)
НЭЭТ, °С	Нормальная ЭЭТ (по Бутьевой)
4. Температурно-влажностно-ветровые показатели, учитывающие солнечную радиацию	
РЭЭТ, °С	Радиационная эффективно-эквивалентная температура (по Шелейховскому и с уточнением Русанова)
БАТ, °С	Биологически активная температура
T <sub>пр</sub> , °С	Индекс "приведенной температуры" (по Адаменко и Хайруллину)
Q <sub>ss</sub> , вт/м <sup>2</sup>	Сальдо теплового баланса тела человека (по Русанову)
C, ед. кло	Коэффициент теплоизоляции одежды (1 кло соответствует термическому сопротивлению одежды, равному 0,155 °С·м <sup>2</sup> ·Вт <sup>-1</sup> )
КТ, баллы	Коэффициент дискомфорта климата (по Русанову)
5. Индексы патогенности и изменчивости погоды и климата	
I	Общий индекс патогенности погоды (по Бокша и Богутскому)
I <sub>1</sub>	– отражает состояние погоды суток по основным метеопараметрам
I <sub>2</sub>	– отражает межсуточную изменчивость электромагнитного поля, геомагнитного поля и солнечной активности
pO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup>	Биоклиматический индекс, выражающий весовое содержание кислорода в воздухе (по Овчаровой)
K, %	Индекс изменчивости класса погоды момента (по Русанову)
БИСМ, у.е.	Биоклиматический индекс суровости метеорежима (по Белкину).
МИЗ, у.е.	Комплексный показатель – метеорологический индекс здоровья (МИЗ) (по Богаткину)
ТР	Комплексный показатель, определяющий тип погоды или класс погоды момента (по Русанову)
ИПН, у.е.	Интегральный показатель нагрузки (по Матюхину и Кушниренко)
6. Индексы континентальности климата	
K <sub>г</sub> , %	– по Л. Горчинскому
K <sub>хр</sub> , %	– по С.П. Хромову

**Биоклиматическая классификация по индексам ET и ID для оценки тепловой чувствительности и уровня дискомфорта (Е.Г. Головина, М.А. Трубина, 2000 г.)**

ET, град	ID, баллы	Уровень комфорта
>30,1	3	Тепловая нагрузка сильная
24,1...30,0	2	Тепловая нагрузка умеренная
18,1...24,0	1	Комфортно тепло
12,1...18,0	0	Комфорт (умеренно тепло)
6,1...12,0	-1	Прохладно
0,1...6,0	-2	Умеренно прохладно
0,1...-6,0	-3	Очень прохладно
-6,1...-12,0	-4	Умеренно холодно
-12,1...-18,0	-5	Холодно
-18,1...-24,0	-6	Очень холодно
<-24,1	-7	Начинается угроза обморожения

Экспертами было высказано мнение, что для проведения комплексной оценки комфортности погоды и климата следует включать основные метеопараметры (температуру, влажность, давление, ветер – наиболее информативная переменная), при этом облачность и солнечную радиацию включать не рекомендуется (неинформативны). Также неэффективны для оценки сложные комплексные показатели, т.к. для расчета требуется чрезмерное количество информации, а результат оценки не приводит к уточнению влияния параметров. Заметим, что, несмотря на то, что для представленных БМП существуют оценки в виде шкал (графики и таблицы), не всегда имеются точные указания граничных условий воздействия на человека, степени благоприятности или дискомфорта. В настоящее время методы ручной графической оценки не имеют широкого практического применения.

***Методика оценки биоклиматического потенциала***

Для оценки биоклиматического потенциала применялась методика интегрированной оценки биоклиматических особенностей регионов [Поволоцкая, 1999], которая используется для разработки мероприятий по рациональному использованию и оптимизации ландшафтно-климатических ресурсов [14]. В основе методики лежит интегральная оценка как положительно, так и отрицательно действующих факторов погоды, включающая пофакторные медико-климатические параметры, при этом каждый параметр подразделяется по силе действия на адаптационные системы человека.

В предложенной классификации выделяют 3 категории медико-климатических условий, с помощью которых можно оцениваются биоклиматические особенности территорий. Медико-климатические параметры ранжированы и включают 5 режимов: *термический, радиационный, циркуляционный, влажностный, барический*. При расчете биоклиматического потенциала (в баллах) определяют, к какой категории медико-климатических условий относятся те или иные медико-климатические параметры. С помощью критериев, представлен-



ных в табл. 3, можно оценить биоклиматические особенности курорта, микроклиматические условия территории парка, санаторной усадьбы. Такая характеристика позволяет выявить потенциальные возможности региональной организации рекреационных зон, климатолечения и климатопрофилактики оздоровительного режима. Таким образом, биоклиматические особенности можно рассматривать как ценные в лечебном отношении природные факторы.

***Методика оценки биоклиматических ресурсов***

Ресурсный подход к изучению климата (Н.В. Кобышева с соавт., 2005) в последнее время позволяет учитывать климатический фактор при определении стратегии экономического развития регионов и прогнозировании возможных его изменений. Такой подход включает исследования не только продуктивности климата, а также уменьшение вреда экономике и человеку неблагоприятными погодными воздействиями, и является новым научным направлением: оценке различных видов климатических ресурсов России [27].

Климатические ресурсы классифицируются:

- по метеорологическим величинам;
- по территории или масштабу климатических процессов (макро-, мезо- и микроклиматические);
- по направлению использования (агроклиматические, биоклиматические и т.д.).

Биоклиматические ресурсы представлены применительно к человеку и характеризуют связь климата с его тепловым состоянием, здоровьем, особенностями рекреации и санитарно-гигиенической оценкой в естественных условиях и выражаются в условных единицах (у.е.), для того чтобы уравнивать оценку ресурсов в разных случаях их распределения по территории.

Для учета сезонной адаптации организма человека рассматриваются отдельно холодный и теплый периоды года. Выделены следующие составляющие биоклиматических ресурсов:

- 1) рекреационно-климатические ресурсы;
- 2) санитарно-гигиенические климатические ресурсы;
- 3) физиолого-климатические ресурсы теплового состояния человека;
- 4) лечебно-профилактические климатические ресурсы для основных видов заболеваний: сердечно-сосудистых, хронических неспецифических заболеваний органов дыхания, ревматических и простудных, туберкулеза, глазных.

Определены граничные условия воздействия на человека по степени благоприятности или дискомфорта:

Наиболее неблагоприятные условия	5,1–7,4 у.е.
Неблагоприятные условия	7,5–10,4 у.е.
Средние условия	10,5–12,4 у.е.
Благоприятные условия	12,5–15,0 у.е.

Большую трудность представляет оценка экономического эффекта от использования информации о биоклиматических ресурсах по затратному принципу

пу. С одной стороны – это стоимость одежды и затраты на социальное страхование, а с другой – неучет биотропного влияния погодных факторов в среднем составляет 15 % заболеваний, связанных с метеопатологией (по результатам социальных и санитарно-гигиенических исследований). Экономический эффект от использования данных о биоклиматических ресурсах составляет более 90 млрд руб./год.

### ***Информационная и технологическая база***

Исходными фактическими данными для проведения оценки биоклимата отдельных городов Северо-Запада России послужили срочные метеорологическая, климатическая, медико-экологическая информация, данные о биоклиматических ресурсах, данные Web-атласа «Окружающая среда и здоровье населения России», статистические данные организаций здравоохранения.

На основе методики «Расчета биометеорологических параметров» (Е.Г. Головина, М.А. Трубина, 2000 г.), для обработки и анализа результатов был разработан автоматизированный программный модуль «Расчет БМП» (М.А. Трубина, Л.А. Усенкова, 2000 г.) [19]. На основе срочной метеорологической информации за период 1986–1991 гг. с помощью этого модуля были проведены расчеты БМП для 12 городов Северо-Западного региона (Архангельск, Вологда, Калининград, Кандалякша, Киров, Мурманск, Петрозаводск, Печора, Псков, Реболы, Санкт-Петербург, Сортавала). Результатом работы модуля является архив биометеорологический данных, табличная и графическая интерпретация расчета БМП. Модуль удобен для проведения практических занятий студентов, для обработки данных и единичных расчетов в научных и практических исследованиях. Недостатком данного модуля является трудоемкая подготовка метеорологических данных выкопировкой из метеорологических и актинометрических справочников, а также большой объем файлов данных.

В дальнейшем было проведено усовершенствование модуля с целью автоматизации входных данных, которые представляются автоматизированной системой «Персона-МИС», применяемой в работе Гидрометслужбы. Был разработан автоматизированный программный комплекс (АПК) биометеорологических расчетов «ВюМ» для расчета и представления наиболее информативных БМП (Е.Г. Григорьева, М.В. Григорьев, М.А. Трубина, 2007 г.). В процессе разработки АПК «ВюМ» были учтены требования, предъявленные к биометеорологическим расчетам, которые входят в подготовку специализированного прогноза погоды для медицинских целей. АПК «ВюМ» имеет удобный интерфейс для создания баз данных комплексных биометеорологических показателей и биоклиматической типизации погоды на основе архивов срочной метеорологической информации.

Дополнительно разработаны модули расчета годовой повторяемости погод и технология расчета биогелиометеограмм (интегрированный расчет ежемесячной варибельности гелиогеофических и биометеорологических параметров, показателей заболеваемости).

**Критерии оценки биоклиматических особенностей климата (Поволоцкая Н.П., 1999 г.)**

Медиико-климатический параметр	Категория медиико-климатических условий		
	щадящая (благоприятная)	тренирующая (относительно благоприятная)	раздражающая (неблагоприятная)
Баллы	3	2	1
<b>1. Термический режим</b>			
Повторяемость в % комфортных (ЭЭТ 17–22 °С) метеорологических комплексов за теплый период	более 20	11–20	менее 11
Повторяемость в % суровости погоды более 2-х баллов за зимний период	менее 15	15–30	более 30
Продолжительность безморозного периода в днях	более 130	91–180	менее 91
Повторяемость в % межсуточной изменчивости температуры воздуха более 6 °С за год	менее 11	11–30	более 30
<b>2. Радиационный режим</b>			
Число часов солнечного сияния за год	более 2000	1700–2000	менее 1700
Число дней без солнца за год	менее 20	50–100	более 100
Число дней без солнца за июль	не более 2	2–3	более 3-х
Число дней без солнца за январь	менее 7	8–15	более 15
Фактическое среднее месячное УФ излучение Солнца в полдень, Мэр/м <sup>2</sup> в январе	более 30	10–30	менее 10
в июле	менее 160	160–240	более 240
Коэффициент прозрачности атмосферы	более 0,750	0,650–0,750	менее 0,650
<b>3. Циркуляционный режим</b>			
Интенсивность циклонической циркуляции за год в днях	менее 140	140–200	более 200
Повторяемость в % контрастных смен погоды	менее 11	11–35	более 35
Повторяемость в % скорости ветра менее 3 м/с	более 50	30–50	менее 30
<b>4. Режим влажности</b>			
Повторяемость относительной влажности менее 30 % за год	менее 60	60–80	более 80
Повторяемость в % душных погод за теплый период	менее 11	11–30	более 30
Продолжительность залегания снежного покрова в днях	менее 50	50–150	более 150
Число дней с туманом	менее 50	50–100	более 100
<b>5. Барический режим</b>			
Повторяемость в % межсуточной изменчивости давления воздуха более 5 мб за год	менее 11	11–35	более 35
Ионизация воздуха, число отрицательных ионов в см <sup>3</sup> , КУ	более 600 менее 2,2	300–600 1,2 – 2,0	менее 300 более 2,0

Таблица 4

**Биоклиматические ресурсы Северо-Западного региона РФ**

Административно-территориальная единица	Рекреационно-климатические ресурсы, у. е.		Санитарно-гигиенические климатические ресурсы, у. е.		Физиолого-климатические ресурсы, у. е.		Лечебно-профилактические ресурсы, у. е.					Биоклиматические ресурсы, у. е.
	лето	зима	лето	зима	лето	зима	сердечно-сосудистые	органы дыхания	ревматизм и ОРВИ	туберкулез	глазные	
Архангельская область	9,9	9,8	9,1	11,4	13,6	10,8	9,5	10,3	6,8	9,4	10,3	10,1
Вологодская область	10,9	10,2	10,5	11,4	15,1	11,4	10,4	11,1	7,7	10,3	10,7	10,9
Калининградская область	13	9,7	10,5	11,6	16,2	14,4	11,4	11,3	7,3	10,4	11	11,5
Кировская область	11,9	10,2	9,1	10,2	16,0	10,1	9,7	10,3	7,7	9,7	9,7	10,4
Ленинградская область	11,8	9,9	11,1	12,6	14,7	13,2	11,3	11,6	7,6	11,2	11	11,5
Мурманская область	6,5	9,6	9,0	9,0	2,5	10,2	9,3	9,9	5,5	9,1	11,1	8,3
Псковская область	12,3	9,8	10,2	12	15,6	12,8	11,5	11,5	7,5	10,2	13,3	11,5
Республика Карелия	10,1	10,2	10,4	12,1	13,2	11,2	9,7	9,4	10,3	9,4	8,6	10,3
Республика Коми (север)	9,2	8,7	8,7	9,4	6,2	7,3	9,4	10,1	7,9	9,7	9,1	8,7
Республика Коми (юг)	10,4	8,8	9,2	11,1	12,7	8,6	10,3	11	8,5	10,2	10,2	10,1

## Обсуждение полученных результатов

Применение вышеуказанных методов позволило собрать обширный материал для проведения комплексной оценки комфортности климата Северо-Западного региона. Работа проводилась в 3 этапа:

**1 этап** – выбор необходимой информации по биоклиматическим ресурсам, которые учитывают многообразие биометеорологических условий и характеризуют комфортность климата. Авторами была проведена выкопировка данных биоклиматических ресурсов [27] для городов Северо-Запада, которые представлены в табл. 4. Анализ данных по среднему значению биоклиматических ресурсов показывает, что неблагоприятными условиями располагают Мурманская область и республика Коми (север). Дискомфортные условия создаются за счет продолжительной зимы, наличия полярной ночи, низкой температуры воздуха, высокой влажности, которая в сочетании с большой скоростью ветра формирует жесткий погодный режим. К средним условиям для жизни и работы человека относятся области: Калининградская, Ленинградская, Псковская, Кировская, Архангельская, республики Карелия и Коми (юг). Методика оценки биоклиматических ресурсов позволила в полной мере показать комплексное влияние климата на здоровье человека с учетом основных заболеваний, что свидетельствует об информативности этого метода.

**2 этап** – интегрированная оценка биоклиматических особенностей и расчет биоклиматического потенциала. Для расчетов по методике Н.П. Поволоцкой были подготовлены архивы климатических данных, полученных из справочников и энциклопедических источников [7, 27]. К сожалению, в связи с недостаточностью данных, нам не удалось в полной мере реализовать расчет интегральных показателей по этой методике. Предварительные расчеты по оценке медико-климатических условий городов представлены в табл. 5.

Таблица 5

### Интегрированная оценка медико-климатических условий городов Северо-Запада России

Категория медико-климатических условий	Интегрированный коэффициент, баллы	Город
Благоприятные	2,4 и более	Калининград, Псков
Относительно благоприятные	1,5–2,3	Архангельск, Вологда, Кандалакша, Киров, Петрозаводск, Реболы, Сортавала, Санкт-Петербург
Неблагоприятные	менее 1.4	Мурманск, Печора

**3 этап** – оценка биоклиматического режима и проведение биометеорологического мониторинга по оптимальным БМП (*ЭТ, ЭЭТ, РЭЭТ, ЕТ (индекс ID), S<sub>o</sub>, K, pO<sub>2</sub>, Qs, IP, TP*), рассчитанным как по климатическим данным, так и по срочным значениям метеопараметров. Для каждого из перечисленных индексов были составлены таблицы, построены графики, а для индексов дискомфорта и кислорода – картосхемы, что позволяет наглядно увидеть пространственное распределение БМП по годам и сезонам. Было проведено сопоставление полученных оце-

нок комфортности климата и погоды, а также же сравнение результатов оценки теплоощущения человека по разным методам. Проведенный анализ пространственно-временной изменчивости биоклиматического режима в **зимний период** показывает, что в соответствии с табл. 2, в регионе наблюдается дискомфортная (суровая) погода с угрозой обморожения ( $ID = -7$ ) в Печоре (71 % дней), в Мурманске (52 % дней), Кандалакше (51 % дней), Кирове (45 % дней), Архангельске (39 % дней), Реболах (33 % дней). Погода Санкт-Петербурга наблюдается от очень холодной до умеренно холодной (82% дней). Только Калининград характеризуется теплой зимой (67 % дней), а угроза обморожения отмечается в 4 % дней.

В **летний период** в целом биоклиматический режим региона можно назвать комфортным, при котором погода изменяется от комфортной до умеренно прохладной. Самым теплым городом можно считать Калининград, погода которого является в 61% дней комфортной и комфортно – теплой. Комфортная погода (умеренно тепло,  $ID=0$ ): наблюдается в Санкт-Петербурге (43%), Пскове (41%) и Вологде (36%). Теплая погода (комфортно тепло,  $ID=+1$ ) отмечается: в Кирове (27%), Пскове (24%), Вологде (18%), Архангельске (17%), в остальных городах этот тип погоды не наблюдается. Погода с тепловой умеренной нагрузкой ( $ID=+2$ ) наблюдается от 2% до 12% дней сезона только в Санкт-Петербурге и Печорах.

Проведение биометеорологического мониторинга годовой повторяемости индекса дискомфорта  $ID$  позволяет выявить биометеорологические особенности погоды. В качестве примера на рис. 1 представлены графики годовой суммарной повторяемости  $ID$ , в процентах для городов Северо-Западного региона: Калининграда, Мурманска, Печоры и Санкт-Петербурга для дневного времени суток (15 ч.). Этот вид диаграммы используется для визуального анализа в методе «климат в погодах» [4, 15, 17]. Наглядность метода позволяет проводить анализ изменчивости биоклимата.

Биоклиматический индекс  $pO_2$  (весовое содержание кислорода в воздухе), используется в медицинских прогнозах погоды и является важным показателем для определения типа погоды. Нормой для жизни человека считается содержание кислорода в воздухе в пределах от 240 до 300 г/м<sup>3</sup>. Суточное снижение индекса на 10–15 г/м<sup>3</sup> может вызвать состояние гипоксии и привести к обострению хронических сердечно-сосудистых и бронхо-легочных заболеваний. Как видно из табл. 6, в которой приведены годовые значения  $pO_2$ , среднее годовое содержание кислорода по региону составляет 292 г/м<sup>3</sup>. Наибольшие значения наблюдаются в северных районах зимой, летом содержание кислорода уменьшается в среднем на 28 г/м<sup>3</sup>.

Проведенное сравнение оценок комфортности климата по различным показателям показало, что международный индекс  $W_C$  в наших условиях может использоваться только для оценки экстремальных (суровых) погод, например для района Крайнего Севера (Печора). Наиболее оптимальную биоклиматическую оценку дает индекс  $ET$ . При этом показатель  $TP$ , определяющий класс погоды момента (по Русанову), можно отнести к региональным индексам (для

районов Сибири), однако в теплый период года его также можно использовать для оценки биоклимата Северо-Западного региона.

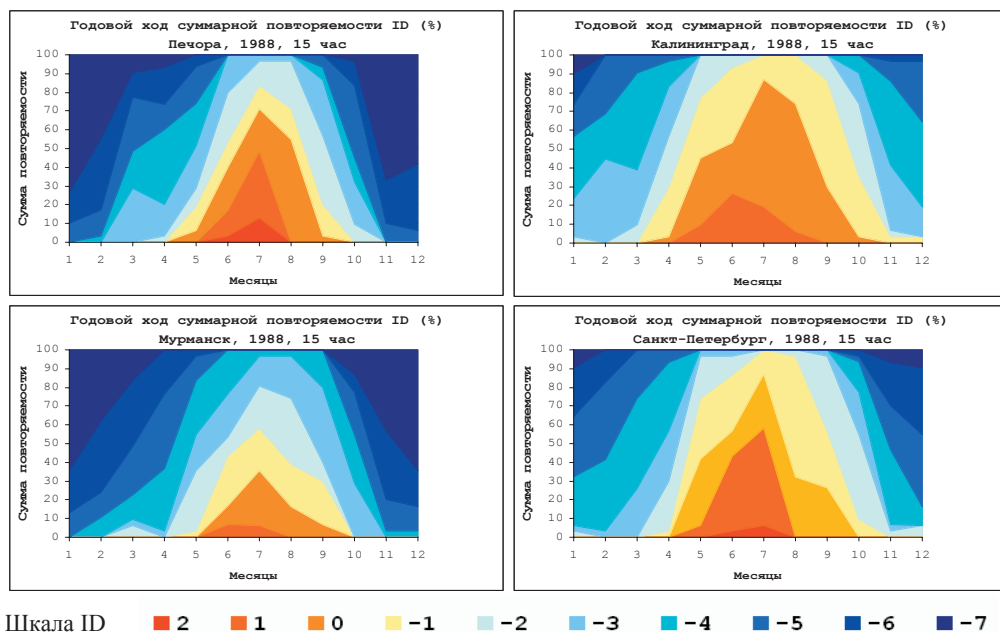


Рис. 1. Годовой ход суммарной повторяемости (%) индекса дискомфорта для городов Северо-Западного региона РФ

Таблица 6  
 Годовые значения (по климатическим нормам) содержания кислорода  $O_2$  ( $г/м^3$ ) для отдельных городов Северо-Западного региона России

Город	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Архангельск	315	312	305	298	291	283	278	281	287	295	302	310
Вологда	308	307	301	291	283	276	273	276	283	290	298	304
Калининград	301	301	297	291	285	280	277	278	283	289	294	299
Кандалакша	310	311	305	299	293	284	280	282	288	295	301	306
Киров	309	308	301	291	281	274	271	274	282	291	300	306
Мурманск	306	307	303	298	293	285	281	283	287	293	299	303
Петрозаводск	306	305	300	292	286	278	275	277	283	290	297	301
Печора	319	317	309	300	292	282	277	281	288	297	308	314
Псков	305	305	300	288	284	278	275	277	283	290	296	301
Реболы	304	304	299	293	284	277	273	275	281	289	294	299
Санкт-Петербург	307	307	303	294	287	280	276	278	284	291	298	303
Сортавала	307	309	304	296	289	281	277	279	285	292	298	303

### **Заключение**

Проведение биоклиматической оценки рекреационных территорий в современной экономической политике России приобретает актуальное значение, так как позволяет эффективно использовать имеющиеся природные ресурсы. В случае исполнения сценария потепления климата биоклиматические ресурсы могут стать стратегическими. Комплексная биоклиматическая оценка Северо-Западного региона показала, что общее число факторов, в той или иной степени влияющих на здоровье человека, настолько велико, что не только решить, но даже поставить задачу объективной комплексной оценки биотропности погоды имеет большое научно-практическое значение. Для достижения этой достаточно масштабной цели необходимо разработать методологию научного исследования, включающую обобщение и развитие известных методов на основе новых технологий. Проблема предоставления климатических данных может быть решена благодаря работе ВНИИГМИ-МЦД по подготовке «Электронного справочника климата России». Вышеизложенные методологические подходы, включая АПК «BioM», могут быть полезны при проведении расчетов в задачах комплексной климатологии: в научных исследованиях, в курортной практике и работе службы специализированных прогнозов погоды.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность разработчикам вышеуказанных методик: Е.Г. Головиной (РГГМУ), Н.П. Поволоцкой (ГНИИК), Н.В. Кобышевой и К.Ш. Хайруллину (ГГО). Особую благодарность выражаем Н.Н. Щербаковой (ГУ «СПб ЦГМС-Р») за предоставление срочных метеорологических данных, Е.Г. Григорьевой (РГГМУ) за техническую поддержку.

### **Литература**

1. Андропова Т.И. Т.И., Деряпа Н.Р., Соломатин А.П. Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека. – Л.: Медицина, 1982. – 248 с.
2. Андреев С.С. Экология человека. – М.: Изд-во АПСН СКНЦВШ, 2004. – 247 с.
3. Бутьева И.В., Швейнова Т.Г. Методические вопросы интегрального анализа медико-климатических условий // Комплексные биоклиматические исследования. – М., 1988, с. 97–108.
4. Головина Е.Г., Русанов В.И. Некоторые вопросы биометеорологии. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 90с.
5. Исаев А.А. Экологическая климатология – М.: Научный мир, 2003. – 472 с.
6. Казначеев В.П. Современные проблемы адаптации. – Новосибирск: Наука, 1980. – 192 с.
7. Климат России / Под ред. Н. В. Кобышевой. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 655 с.
8. Климат и здоровье человека // Труды Международного симпозиума ВМО /ВОЗ/ ЮНЕП. – В 2-х т. – Л.: Гидрометеиздат. – 1988. – Т.1. – 304 с. – Т.2. – 215 с.
9. МГЭИК 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад рабочих групп I, II, III в четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. Р.К. Пачаури, А. Райзингера, МГЭИК. – Женева, Швейцария, 2007. – 104 с.
10. Мезерницкий А.Г. Медицинская метеорология. ГИМКК. – Ялта, 1937. – 343 с.
11. Переведенцев Ю.П., Хабутдинов Ю.Г., Шлычков А.П. Природно-климатические ресурсы и загрязнение атмосферы: Учеб. пос. – Казань: Изд. Казанского гос. университета, 2008. – 110с.



12. Изменение климата и здоровье России в XXI веке / Под ред. Н.Ф. Измерова, Б.А. Ревича, Э.И. Коренберга. – М., 2004. – 260 с.
13. Программа и рекомендации по описанию климата курортной зоны. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 141 с.
14. Принципы организации единой системы наблюдений биоклиматических особенностей в регионе Кавказских Минеральных Вод. / Н.П. Поволоцкая, А.П. Складар, З.В. Кортунова, Л.М. Мосянц, М.В. Лукина, Е.Б. Щелокова. UNESCO. Вып.3. Essentuky. 1999, с. 1–4
15. Районирование территории Сибири по некоторым биоклиматическим показателям для целей курортно-рекреационного освоения: Метод. рекомендации / Сост. Э.С. Яковенко, Г.Ф. Слущкая, Н.В. Мякишева. – Томск: ТНИИКиФ, 1991. – 25 с.
16. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под ред. Н.В. Кобышевой. – СПб.: Гидрометеиздат, 2008. – 336 с.
17. Справочник по курортологии и курортотерапии / Под ред. проф. Ю.Е. Данилова и проф. П.Г. Царфиса. – М.: Медицина, 1973. – 675 с.
18. Трубина М.А., Дячко Ж.К., Лубяной А.А. Методы экспертных оценок в отборе биометеорологических показателей для прогнозирования уровня комфортности среды. Современные достижения фундаментальных наук в решении актуальных проблем медицины // Мат-лы научно-практич. конф. с международным участием и школы-семинара для молодых ученых. – Москва – Астрахань: Изд. АГМА, 2004, с. 251–255
19. Трубина М.А. Эффективность использования информационных ресурсов для оценки биотропности атмосферы. // Метеоспектр № 3–4 (11–12). Вопросы специализированного гидрометеорологического обеспечения. АНО «Метеоагентство Росгидромета». М.: 2002. С.93–101
20. Трубина М.А. Инновационные методы и технологии оценки биотропности погоды. Аналитический вестник «Влияние климатических изменений на окружающую среду и здоровье человека». № 4 (349). Ч. II. Совет Федерации Федерального собрания РФ. – М., 2008, с. 11–29.
21. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология: Учебник. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – 479 с.
22. Хаснулин В.И. Введение в полярную медицину. – Новосибирск: Наука, СОРАМН, 1998. – 337 с.
23. Федоров Е.Е. Опыт составления карт распределения климатических типов погоды // Труды по с.-х. метеорологии, 1937. Вып. 20. – 1928.
24. Чубуков Л.А. Комплексная климатология. – М.: Наука, 1949. – 320 с.
25. Шеповальников В.Н., Матусов А.Л., Бизюк А.П., Шнейдеров В.С. Методические рекомендации по исследованию и предварительной оценке влияния факторов внешней среды на функциональное состояние человека. – Л.: ААНИИ. Гидрометеиздат, 1986. – 26 с.
26. Экологическая особенность человека. Адаптация человека к различным климатогеографическим условиям // Руководство по физиологии. – Л.: Наука 1980. – 549 с.
27. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / Под ред. Н.В. Кобышевой и К.Ш. Хайрулина. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – 320 с.