

На правах рукописи

Емелина Светлана Валерьевна

**ПРОГНОЗ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ, НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ С
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫМИ И АЛЛЕРГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ**

25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»), отдел долгосрочных прогнозов погоды.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
Рубинштейн Константин Григорьевич
ведущий научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Гидрометеорологический
научно-исследовательский центр
Российской Федерации»

Официальные оппоненты:

Золотокрылин Александр Николаевич
доктор географических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт географии
Российской академии наук

Куролап Семен Александрович
доктор географических наук, профессор,
декан факультета географии, геоэкологии
и туризма, заведующий кафедрой
геоэкологии и мониторинга окружающей
среды, Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский
государственный университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Защита диссертации состоится «18» марта 2020 г. в 15 часов на заседании Диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 327.003.01 при федеральном государственном бюджетном учреждении «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России») по адресу: 123242, Россия, г. Москва, Большой Предтеченский переулок, д. 11–13.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБУ «Гидрометцентр России» и на сайте https://meteoinfo.ru/images/misc/sovet/emelina/disser_emelina.pdf

Автореферат разослан “__” ____ 2019 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

М.В. Шатунова

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Решение комплексной междисциплинарной проблемы выявления причинно-следственных связей между состоянием окружающей среды и здоровьем населения является одной из важных социальных задач современной науки. Изучение влияния погодных условий на организм человека главным образом необходимо для прогноза неблагоприятного воздействия окружающей среды и принятия необходимых мер с целью сохранения здоровья и жизни. Такие меры могут включать информационную работу органов здравоохранения и СМИ по пропаганде правил поведения во время неблагоприятных погодных условий, оказание патронажных услуг пожилым людям, организация работы скорой медицинской помощи, развитие систем кондиционирования в жилых помещениях и социальных объектах [9]. Планы действий должны учитывать рекомендации ВОЗ [28] и включать такой элемент, как системы оперативного оповещения о необходимости защиты населения от негативного влияния погодных условий.

Катастрофические последствия аномально жаркой погоды в Европе в 2003 году стали поворотным моментом в понимании опасности воздействия погодных условий на здоровье населения.

В настоящее время многие европейские страны (Великобритания, Франция, Италия, Швейцария и др.), а также США, Канада, Китай и Япония используют оперативные системы предупреждения о наступлении некомфортных погодных условий на основе комплексных показателей – биометеорологических индексов [17, 18], которые являются косвенными индикаторами состояния окружающей человека среды. Уже более ста лет ведутся попытки выразить влияние атмосферы на комфортность жизни населения в виде единого параметра, называемого индексом комфорtnости или биометеорологическим индексом. Для решения этой важной задачи в России и за рубежом предложено много различных индексов, однако существует мало исследований, объективно доказывающих информативность или неинформативность этих комплексных показателей.

В работе [13] показано, что введение оперативной системы прогноза наступления неблагоприятных погодных условий во Франции позволило избежать в 2006 году около 4400 случаев дополнительной смертности. По данным [11] внедрение подобной системы в штате Висконсин, США помогло уменьшить в 1999 году число обращений за скорой медицинской помощью на 43% в сравнении с 1995 годом, когда система еще не была введена. Финансовая

стоимость организации подобной системы составила 210 тыс. долларов, тогда как возможные потери из-за дополнительной смертности оценивались в 468 миллионов долларов.

Данное направление исследований становится особенно актуальным с принятием в 2013 году под эгидой ВМО глобальной рамочной основы климатического обслуживания (ГРОКО), одним из основополагающих направлений которой является «Климат и здоровье» [29].

Ведущей причиной смертности и утраты трудоспособности как в России, так и за рубежом являются заболевания сердечно-сосудистой системы [5,7-9,20]. В связи с этим, выявление, изучение и прогноз факторов, предрасполагающих к ухудшению течения данной болезни, а также разработка превентивных мер для смягчения негативных последствий, являются комплексной проблемой на стыке наук: метеорологии и медицины.

Помимо прямого влияния, состояние атмосферы может также опосредовано оказывать воздействие на здоровье и самочувствие человека. Одним из аспектов подобного влияния является цветение и пыление растений, которое в определенной степени зависит от погодных и климатических условий. По данным Всемирной Организации здравоохранения около 15% населения Европы страдает от аллергических реакций (поллиноза) [27]. В России наблюдается тенденция к усилению аллергических реакций на пыльцу [6]. В [2] показано, что число впервые выявленных случаев поллиноза у детей в 1990 году составило 89,6 на 100 000 населения, а в 1999 году - 147,7. У взрослых данный показатель за рассматриваемый период также вырос с 51,7 до 56,8 случаев. В весенний период основной причиной поллиноза на территории Европы является пыльца бересклета. В центральной и в Западной Европе чувствительность к пыльце бересклета наблюдается у 37,6 % людей, страдающих поллинозом [14]. Отличительной характеристикой пыльцы бересклета является возможность переноса на расстояния 1000 и более километров [23], что в сочетании с обширным распространением этого вида и высокой изменчивостью даты начала пыления делает ее наиболее опасным аллергеном и свидетельствует о высокой актуальности прогноза начала пыления и концентрации пыльцы аллергенов в течение всего вегетационного периода.

Цели и задачи диссертационной работы

Целью диссертационной работы является прогноз погодных условий, неблагоприятных для людей с сердечно-сосудистыми и аллергическими заболеваниями.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи**:

- оценка информативности биометеорологических индексов на основе корреляционного анализа с рядами медицинской статистики по сердечно-сосудистым заболеваниям в городах Москва (центр европейской территории России (ЕТР)), Набережные Челны (восток ЕТР), Мурманск (север ЕТР) и Кисловодск (юг ЕТР);
- исследование связи характеристик атмосферы и их изменений с рядами медицинской статистики сердечно-сосудистых заболеваний в городах Москва, Набережные Челны, Мурманск и Кисловодск;
- создание технологии краткосрочного прогноза погодных условий, неблагоприятных для людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями в разных географических регионах: Москве, Набережных Челнах, Мурманске и Кисловодске. Оценка качества прогноза неблагоприятных погодных условий;
- создание технологии прогноза концентрации пыльцы бересклета на европейской территории России с использованием транспортной и гидродинамической моделей.

Научная новизна

В данной работе впервые в России проведена объективная оценка информативности наиболее часто используемых в мировой и отечественной практике биометеорологических индексов. Полученные количественные оценки существенно расширяют ранее опубликованные данные по отбору информативных комплексных биометеорологических показателей. Выявлены наиболее неблагоприятные сочетания погодных факторов для людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями (далее ССЗ), проживающих в различных географических регионах России: центр европейской территории России (Москва, Набережные Челны), юг (Кисловодск) и север (Мурманск). На основе данных исследований для каждого из городов предложен новый биометеорологический индекс, имеющий высокую корреляционную связь с данными медицинской статистики.

Впервые предложена система краткосрочного прогноза неблагоприятных погодных условий для больных ССЗ для разных климатических зон европейской территории России.

Впервые в России предложена технология краткосрочного прогноза переноса пыльцы бересклета с использованием транспортной и гидродинамической моделей.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность полученных результатов и сделанных выводов подтверждена сравнением с данными наблюдений и исследованиями других авторов. Обоснованность основных результатов подтверждается публикациями в российских журналах, а также представлением их на российских и международных конференциях.

Практическая значимость

Результаты диссертационной работы могут иметь широкое практическое использование в медицинских учреждениях в целях минимизации возможных последствий и рисков влияния неблагоприятных погодных условий на людей с сердечно-сосудистыми и аллергическими заболеваниями.

Выявление неблагоприятных сочетаний метеорологических параметров, выраженных в биометеорологических индексах, позволяет проводить прогноз неблагоприятных погодных условий для людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями, что в свою очередь делает возможным своевременно осуществлять превентивные профилактические мероприятия.

Разработанные методы оценки информативности биометеорологических индексов могут быть применены для выявления комплекса погодных условий, неблагоприятных для других видов погодозависимых заболеваний.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались лично и обсуждались на следующих общероссийских и международных конференциях: научно-практическая конференция, посвященная 90-летию ФГУ «Пятигорский ГНИИК ФМБА России» на тему «Актуальные вопросы курортологии, восстановительной медицины и профпатологии», Кисловодск, 2010; медицинский конгресс «Здравоохранение Северного Кавказа», Кисловодск, 2010; международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2010, Томск, 2010; конференция по изменению климата в полярных и приполярных районах, Москва, 2011; международная молодежная школа и конференция CITES-2011, Томск, 2011; симпозиум «Воздействие изменений климата на здоровье населения и оценка возможностей адаптации на севере Российской Федерации», Архангельск, 2012; международная конференция "Влияние космической погоды на человека в космосе и на земле", Москва, 2012, 12-th EMS Annual Meeting and 9th European Conference on Applied Climatology, Лодзь, Польша, 2012; международная конференция по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, Казань,

2012; семинар-совещание по направлению «Окружающая среда и здоровье» Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине», Москва, 2012; научно-практическая конференция «Загрязнение атмосферы городов», Санкт-Петербург, 2013; семинар по изменению климата и изучению внутренних морей Cleamseas, Жерона, Испания, 2014; международный конгресс «Санаторно-Курортное лечение», Москва, 2015; совещание-семинар научных экспертов по вопросам российского сегмента Глобальной рамочной основы климатического обслуживания (ГРОКО) в секторе «Здоровье населения», Москва, 2016; II международный Байкальский риск-форум, Иркутск, 2018.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 23 работы, в числе которых 7 статей в реферируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК, 16 - в трудах конференций и тезисов докладов.

Личный вклад автора

Определяющая роль в работах по оценке информативности биометеорологических индексов, по созданию и тестированию системы краткосрочного прогноза неблагоприятных погодных условий с использованием гидродинамической модели WRF-ARW;

Определяющая роль в работе по созданию технологии прогноза концентрации пыльцы березы с использованием транспортной модели SILAM и гидродинамической модели WRF-ARW.

Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 116 наименований. Общий объем диссертации составляет 122 страницы. Диссертация содержит 37 рисунков и 36 таблиц.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность Рубинштейну К.Г. за научное руководство и поддержку. Также автор выражает признательность коллегам, с которыми обсуждались отдельные блоки работы: Гордину В.А., Крыжову В.Н., Кузнецовой И.Н., Макоско А.А., Матешевой А.А., Муравьеву А.В., Стерину А.М., Тищенко В.А., Трубиной М.А., Хан В.М.. Особенная благодарность коллегам, в сотрудничестве с которыми были получены уникаль-

ные данные медицинской статистики: Гурьянову В.В., Карпову Ю.А., Козловской И.Л., Переведенцеву Ю.П., Поволоцкой Н.П., Ревичу Б.А., Шапошникову Д.А.. Автор также признательна научному коллективу отдела долгосрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России за плодотворное сотрудничество и обсуждение результатов работы.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована новизна исследований, описана используемая методика, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения. Также во введении описана структура диссертации и приводится список опубликованных автором статей и тезисов конференции, содержащих результаты работы.

В первой главе дан сравнительный обзор используемых в биометеорологической практике индексов для определения комфорtnости погодных условий согласно классификации по входящим в их расчет метеорологическим параметрам [4]. Описаны практические и лабораторные эксперименты, на основе которых были выведены формулы для расчета индексов. На основании обзора литературы структурирована информация о границах применимости биометеорологических показателей в различных географических и климатических условиях. Так, эффективные [19, 25] и эквивалентно-эффективные температуры [1, 15] в мировой практике используются в любое время года [4], тогда как согласно экспериментам они довольно сильно ограничены в применении. Более того, градации эффективных температур в литературе приведены для условий умеренного климата. Для других климатических условий, низких или высоких широт, критические величины дискомфорта не всегда определены. На такой обширной территории как Россия эти отличия могут быть существенными. Кроме того, в этой категории индексов не учитывается влияние ветра – что, возможно, дополнительно ограничивает сферу их применения в регионах с высокой повторяемостью сильных ветров. Индексы холодового стресса [12, 16, 21], а также индексы, специально разработанные для различных сезонов года (в частности, индекс теплового стресса [26]) могут использоваться только в определенных диапазонах приземной температуры воздуха. Все эти факторы определяют необходимость критически подходить к выбору того или иного индекса в зависимости от рассматриваемой задачи. В связи с этим ставится цель по исследованию информативности биометеорологических индексов.

Целью **второй главы** являлась оценка информативности биометеорологических индексов в разных климатических зонах России. Для оценки воздействия погодных условий на здоровье населения можно использовать различные медицинские показатели, в том числе

смертность, заболеваемость, частоту госпитализаций [9]. В этих целях был применен метод анализа временных рядов, основанный на сопоставлении показателей медицинской статистики с рядами биометеорологических индексов. Приведены результаты сопоставления рядов ежедневной медицинской статистики с изменением среднесуточных значений метеорологических параметров и некоторых биометеорологических индексов. Под информативностью биометеорологических индексов подразумевается наличие высокой статистически значимой корреляционной связи этих параметров с показателями медицинской статистики. Для оценки связи применен непараметрический показатель – ранговый коэффициент Спирмена, который относится к непараметрическим показателям связи между переменными, измеренными в ранговой шкале. При расчете этого коэффициента не требуется предположений о характере распределений признаков в генеральной совокупности [3]. Были проанализированы данные медицинской статистики на севере европейской территории России (Мурманск), в центре (Москва, Набережные Челны) и на юге (Кисловодск). Стоит отметить, что рассмотренные ряды значительно различаются как по длине, так и по содержанию (табл.1.).

Таблица 1

Характеристики используемых данных медицинской статистики

| Город | Медицинская статистика | Период | Число случаев | Среднее число случаев в день |
|------------------|--|---------------|----------------------|-------------------------------------|
| Мурманск | Ежедневная смертность от сердечно-сосудистых заболеваний | 2001-2007 | 14887 | 3 |
| Москва | Ежедневная смертность от сердечно-сосудистых заболеваний | 2006-2010 | 343266 | 188 |
| | Ежедневные выезды скорой помощи, диагноз «инфаркт миокарда» | 2009-2012 | 63412 | 43 |
| | Ежедневные выезды скорой помощи, диагноз «不稳定ная стенокардия» | 2009-2012 | 161816 | 110 |
| Набережные Челны | Выезды скорой помощи, диагноз «ишемическая болезнь сердца», дискретность 1 час | 2010-2012 | 19533 | 18 |
| Кисловодск | Ежедневные выезды скорой помощи, диагноз «гипертония» | 2006-2008 | 52984 | 48 |

В настоящее время в России не существует открытого доступа к рядам медицинской статистики, имеющиеся данные были получены в ходе совместных исследований и НИР с медицинскими учреждениями. Данные по смертности в Москве и Мурманске были предоставлены Ревичем Б.А. (Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН) в рамках

программы развития ООН, ВОЗ и Программы ООН по окружающей среде « Климатические изменения и здоровье населения в Российской Арктике»; данные по выездам скорой помощи в Москве были получены в НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова в рамках совместной НИР «Влияние изменения метеорологических факторов на состояние больных ишемической болезнью сердца»; статистические ряды по Набережным Челнам предоставлена Казанским (Приволжским) федеральным университетом в рамках совместного проекта РФФИ 12-05-97014-р_поволжье_a, данные по выездам скорой помощи в Кисловодске были получены с помощью д.м.н. Повоцкой Н.П. (Пятигорский государственный научно-исследовательский институт курортологии в рамках совместной работы по созданию медицинского прогноза для городов-курортов Кавказских Минеральных Вод.

В первой части второй главы была оценена информативность следующих биометеорологических индексов: эффективные температуры по методам расчета Миссенарда [17] и Стедмена [23], эквивалентно-эффективные температуры по Айзенштату [1] и Григорчуку [14], в зимнее время индексы ветрового охлаждения по Сайплу [19], Курут [11] и Хиллу [15]. Также проверялись связи динамики состояния человека с метеорологическими параметрами: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью ветра и приземным атмосферным давлением. Было выявлено, что в большинстве рассматриваемых городов наблюдается низкая корреляционная связь показателей медицинской статистики с метеорологическими параметрами и биометеорологическими индексами (максимальные по модулю коэффициенты корреляции 0,3-0,4). На основе полученных результатов можно сделать предположение, что люди с заболеваниями сердечно-сосудистой системы могут реагировать на изменение метеорологических параметров других временных масштабов: более краткосрочных (как, например, перепад за несколько часов) или, наоборот, более длительных, как отклонение действующих погодных условий от средних климатических значений. Для изучения взаимосвязи данных медицинской статистики и сразу нескольких метеорологических параметров и их характеристик была использована процедура множественной регрессии. Были рассмотрены следующие характеристики приземного атмосферного давления, температуры и влажности воздуха: среднесуточные значения (\bar{T} , \bar{P} , \bar{RH}), межсуточный перепад с учетом знака (T_m , P_m , RH_m , $X_m = \bar{X}_i - \bar{X}_{i-1}$, где \bar{X} - среднесуточное значение параметра), перепад за сутки (T_v , P_v , RH_v , $X_v = X_{\max} - X_{\min}$), сумма 3ч-перепадов по модулю за сутки (T_{24} , P_{24} , RH_{24} , $X_{24} = \sum |\Delta x_{3h}|$, Δx_{3h} - изменение параметра за 3 часа), отклонение от средних значений для этого дня (2000-2014 гг.).

При этом все ряды характеристик метеорологических параметров были нормированы следующим образом:

$$\hat{x} = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

где \hat{x} – нормированное значение параметра, x – значение переменной за данные сутки, \bar{x} – среднее значение и σ – среднее квадратическое отклонение параметра за рассматриваемый период.

На первом этапе анализа в каждом из рассматриваемых городов были отобраны тестовый и независимый периоды. На тестовом периоде проводилась процедура множественной регрессии, на основе которой были созданы регрессионные модели зависимости данных медицинской статистики и совокупности метеорологических параметров в каждом из городов. Линейные регрессионные модели, которые описывают связь показателей медицинской статистики и различных параметров атмосферы для тестового периода имеют следующий вид:

- Москва (смертность):

$$f_{ccz_moc} = -0,24*T + 0,13*T24 - 0,4*RH + 0,11*RHm, \quad (2)$$

- Москва (выезды скорой помощи, инфаркт миокарда):

$$f_{im} = -0,69*T + 0,09*Tm - 0,07*T24 - 0,05*P + 0,05*Pv, \quad (3)$$

- Москва (выезды скорой помощи, инфаркт нестабильная стенокардия):

$$f_{nsc} = -0,64*T + 0,12*Tm - 0,16*T24 + 0,13*P24 + 0,11*RH24, \quad (4)$$

- Набережные Челны (выезды скорой помощи, ишемическая болезнь сердца):

$$f_{nbc} = -T + 0,12*T24 - 0,15*P - 0,47*RH - 0,1*RHm, \quad (5)$$

- Кисловодск (выезды скорой помощи, гипертония):

$$f_{gup} = -0,73*T - 0,21*T24 - 0,6*P - 0,09*Pm, \quad (6)$$

- Мурманск (смертность):

$$f_{ccz_mup} = -0,07*T + 0,06*Tm + 0,1*Pv + 0,13*RH24 \quad (7)$$

На независимом периоде (1 год) проверялась точность полученных регрессионных моделей. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции (R) связи показателей медицинской статистики и новых индексов на тестовом периоде и на независимом периоде

| Город | Вид статистики | R test | R independ |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Москва | выезды СП, инфаркт миокарда | 0,69 (2009-2011) | 0,64 (2012) |
| | выезды СП, нестабильная стенокардия | 0,70 (2009-2011) | 0,63 (2012) |
| | смертность, ССЗ | 0,43 (2007-2010) | 0,31 (2006) |
| Набережные Челны | выезды СП, ИБС | 0,67 (2010-2011) | 0,44 (2012) |
| Кисловодск | выезды СП, гипертония | 0,47 (2006-2007) | 0,41 (2008) |
| Мурманск | смертность, ССЗ | 0,21 (2001-2006) | 0,19 (2007) |

* выделены коэффициенты, значимые на уровне $p < 0,05$

Во всех случаях коэффициенты корреляции для независимого периода ниже, чем для тестового. При этом во всех рассмотренных городах величина множественных коэффициентов корреляции и, соответственно, сила связи по предложенным регрессионным моделям выше, чем с рассмотренными в первой части главы биометеорологическими индексами и метеорологическими параметрами. В Мурманске коэффициент корреляции по регрессионной модели становится выше и на независимом периоде (0,19) и на тестовом (0,21) в сравнении с максимальным по модулю коэффициентом корреляции, но данные количественные значения коэффициента корреляции все равно характеризуют связь как слабую.

Устойчивость корреляционных взаимосвязей проверялась также с помощью процедуры кросс-валидации. В Москве диапазон коэффициентов корреляции связи числа выездов скорой помощи с диагнозом «инфаркт миокарда»/«不稳定ная стенокардия» составил 0,65-0,68/0,61-0,67, для случаев смертности 0,35-0,39. В Набережных Челнах 0,59-0,62; в Кисловодске 0,41-0,43, в Мурманске 0,18-0,31.

Одним из показателей информативности предложенных биометеорологических индексов может являться используемый в медицинской практике параметр относительного риска (*RR – relative risk*) – отношение частоты исходов среди исследуемых, на которых оказывал влияние изучаемый фактор, к частоте исходов среди исследуемых, не подвергавшихся влиянию этого фактора [10]. Была рассчитана оценка относительного риска возникновения дополнительных случаев смертности/числа выездов скорой помощи в дни, когда по значениям предложенных выше регрессионных зависимостей погодные условия оценивались как опасные или потенциально опасные. Были рассчитаны пороговые значения, выше которых

наблюдается увеличение ежедневных выездов скорой помощи/смертности на 50% относительно среднего за имеющийся период наблюдений – такие дни считались опасными. Пороговые значения, выше которых происходит увеличение на 25% относительно среднего, характеризуют потенциально-опасные условия.

Таблица 3

Оценки относительного риска (RR) возникновения дополнительных случаев смертности/числа выездов скорой помощи в периоды неблагоприятных погодных условий по значениям индексов

| | Относительный риск RR | 95% ДИ | n/N |
|---|-----------------------|-----------|-----------|
| Москва смертность, ССЗ | 1,40 | 1,25-1,55 | 288/1826 |
| Москва выезды СП, инфаркт миокарда | 1,51 | 1,37-1,65 | 305/1461 |
| Москва, выезды СП, нестабильная стено- кардия | 1,53 | 1,38-1,68 | 362/1461 |
| Кисловодск, выезды СП, гипертония | 1,42 | 1,28-1,57 | 223/1096 |
| Набережные Челны, выезды СП, ИБС | 1,52 | 1,35-1,69 | 220/1096 |
| Мурманск, смертность, ССЗ | 1,10 | 1,04-1,17 | 1151/2556 |

*n- число опасных дней, N – общее число дней за рассматриваемый период, ДИ- доверительный интервал 95%

Анализ полученных статистически значимых результатов показал, что в рассматриваемых городах вероятность увеличения числа выездов скорой помощи/ случаев смертности в дни, когда по предложенным моделям погодные условия расцениваются как опасные для больных ССЗ, возрастает в 1,4-1,5 раза, за исключением Мурманска, где увеличение числа случаев смертности во время неблагоприятных по значению индекса условий практически не происходит (RR= 1,1).

В третьей главе описана методика численного прогноза неблагоприятных погодных условий для людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. Классификация комфорта погодных условий на основе значений конкретного для каждого города биометеорологического индекса проводилась, как и в главе 2, по увеличению числа выездов/ случаев смертности на 25% и 50 % - такие условия характеризуются как опасные и потенциально опасные. Расчет исследуемых биометеорологических индексов основывается на

прогностических значениях температуры воздуха, приземного давления и относительной влажности. В данной работе для этих целей была использована численная мезомасштабная модель WRF-ARW [22].

Для оценки прогноза погодных условий, неблагоприятных для людей с ССЗ, были проведены серии экспериментов длиной в год. В Мурманске и в Кисловодске ретроспективный эксперимент был проведен для 2006 года, в Москве для 2009 года, в Набережных Челнах 2011 год. Для каждого из городов были созданы расчетные области разрешением 18 км, размером 70 на 70 точек. Оценивались заблаговременности прогнозов на 6-12 часов.

В этих оценках выявлена высокая корреляционная связь показателей медицинской статистики и биометеорологических индексов, рассчитанных по фактическим и прогностическим значениям метеорологических элементов. Показано, что в Москве коэффициент корреляции медицинского индекса (описанного в главе 2), полученного по фактическим значениям метеорологических параметров, с рядами ежедневной смертности (диагноз «ишемическая болезнь сердца») оставляет +0,73 и превышает коэффициент корреляции этого же ряда со значениями индекса, рассчитанного по прогностическим значениям с заблаговременностью до 12 часов (+0,62). При этом суммарное число опасных и потенциально-опасных дней совпадает (74), но по прогнозу опасных дней было на 1 больше, чем по факту. Коэффициент корреляции значений индекса и числа выездов скорой помощи в Москве с диагнозом «инфаркт миокарда» характеризует данную связь как высокую и по фактическим, и по прогностическим значениям (0,75 и 0,74 соответственно) (табл.4).

Следующий этап включал в себя оценку характеристик оправдываемости прогноза неблагоприятных погодных условий (суммарно потенциально опасных и опасных) для людей с ССЗ. В таблице 5 представлены значения характеристик успешности прогноза неблагоприятных погодных условий для людей с ССЗ по предложенным биометеорологическим индексам. Как видно из таблицы, наибольшие значения общей оправдываемости отмечены в Москве как для числа случаев смертности, так и для выездов скорой помощи (0,85; 0,96 и 0,87), а также в Набережных Челнах (0,90) и в Мурманске (0,84). В Кисловодске общая оправдываемость заметно ниже и составляет 0,48. Коэффициент ложных тревог только в Кисловодске превышает 1, в остальных городах этот параметр ниже 0,36, что свидетельствует об очень низком количестве ложных тревог.

Таблица 4

Таблицы сопряженности прогноза неблагоприятных погодных условий и коэффициенты корреляции (R) между рядами медицинской статистики и прогнозистическими (п) и фактическими (ф) значениями индексов

| Москва (смертность) | | | | | |
|---|------|-----|-------|----------------|------------|
| Факт Прогноз | есть | нет | сумма | $R_{\text{п}}$ | R_{ϕ} |
| есть | 47 | 27 | 74 | 0,62 | 0,73 |
| нет | 27 | 264 | 291 | | |
| сумма | 74 | 291 | 365 | | |
| Москва (выезды, инфаркт миокарда) | | | | | |
| Факт Прогноз | есть | нет | сумма | $R_{\text{п}}$ | R_{ϕ} |
| есть | 148 | 12 | 160 | 0,74 | 0,75 |
| нет | 4 | 201 | 205 | | |
| сумма | 152 | 213 | 365 | | |
| Москва (выезды, нестабильная стенокардия) | | | | | |
| Факт Прогноз | есть | нет | сумма | $R_{\text{п}}$ | R_{ϕ} |
| есть | 139 | 45 | 184 | 0,62 | 0,65 |
| нет | 1 | 180 | 181 | | |
| сумма | 140 | 225 | 365 | | |
| Набережные Челны | | | | | |
| Факт Прогноз | есть | нет | сумма | $R_{\text{п}}$ | R_{ϕ} |
| есть | 96 | 3 | 99 | 0,73 | 0,75 |
| нет | 34 | 232 | 266 | | |
| сумма | 130 | 235 | 365 | | |
| Кисловодск | | | | | |
| Факт Прогноз | есть | нет | сумма | $R_{\text{п}}$ | R_{ϕ} |
| есть | 114 | 189 | 303 | 0,39 | 0,44 |
| нет | 0 | 62 | 62 | | |
| сумма | 114 | 251 | 365 | | |
| Мурманск | | | | | |
| Факт Прогноз | есть | нет | сумма | $R_{\text{п}}$ | R_{ϕ} |
| есть | 147 | 51 | 198 | 0,35 | 0,37 |
| нет | 7 | 160 | 167 | | |
| сумма | 154 | 211 | 365 | | |

Таблица 5

Характеристики успешности прогноза неблагоприятных погодных условий для людей с ССЗ

| | U | Uyes | Пyes | kLT | T |
|--|------|------|------|------|------|
| Москва смертность, ССЗ | 0,85 | 0,64 | 0,91 | 0,36 | 0,54 |
| Москва выезды СП, инфаркт миокарда | 0,96 | 0,93 | 0,98 | 0,1 | 0,92 |
| Москва, выезды СП, нестабильная стенокардия | 0,87 | 0,76 | 0,99 | 0,32 | 0,79 |
| Кисловодск, выезды СП, гипертония | 0,48 | 0,38 | 1,00 | 1,66 | 0,25 |
| Набережные Челны, выезды СП, ИБС | 0,90 | 0,97 | 0,87 | 0,02 | 0,73 |
| Мурманск, смертность, ССЗ | 0,84 | 0,74 | 0,96 | 0,33 | 0,71 |

*U-общая оправдываемость, Uyes- оправдываемость наличия,
 Пyes – предупрежденность наличия, kLT – коэффициент ложных тревог,
 Т – критерий Пирси-Обухова.

Таким образом, можно сделать вывод об удовлетворительном качестве прогноза возникновения опасных и потенциально-опасных неблагоприятных погодных условий на основе значений индексов в различных городах европейской территории России, а также о целесообразности использования для этих целей модели WRF-ARW.

В четвертой главе описана технология численного краткосрочного прогноза начала пыления и переноса пыльцы (концентрации) березы на территории Европы и европейской территории России с использованием мезомасштабной дисперсионной транспортной модели SILAM v.5_6 [24]. В качестве метеорологического блока была использована модель WRF-ARW [22] с пространственным разрешением 54 км.

Пространственное распределение березы задается картой с разрешением $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ для территории Европы, представленной в [23] на основе данных инвентаризаций, а также спутниковой информации. В данной работе было воспроизведено начало пыления пыльцы березы, а также ее перенос в сезон пыления 2012 года по территории $25^\circ\text{з.д.}-45^\circ\text{ в.д.}$, $30^\circ\text{с.ш.}-70^\circ\text{с.ш.}$.

Результаты моделирования на европейской территории России сравнивались с данными пыльцевого мониторинга в Москве, Санкт-Петербурге и в Краснодаре, проводимого Российской Ассоциацией Аллергологов и Клинических иммунологов (РААКИ), МГУ и фармацевтической компанией «Никомед». На рис.1. представлен ход концентрации пыльцы бе-

резы в 2012 году по данным моделирования и по данным пыльцевого мониторинга в Санкт-Петербурге, Москве и Краснодаре.

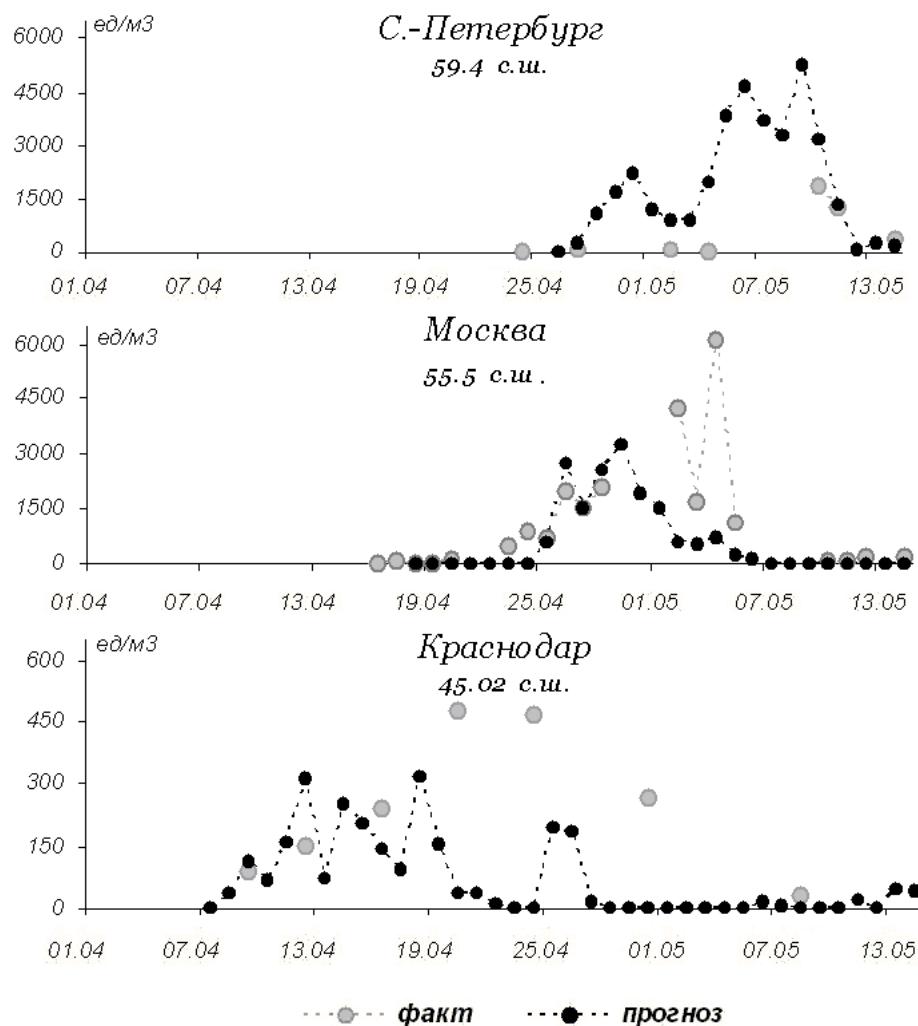


Рис. 1. Концентрация пыльцы бересклета (ед.м³) пыльцы бересклета в 2012 году по фактическим (серый) и расчетным данным (черный) в Санкт-Петербурге, Москве и Краснодаре.

Согласно полученным данным, можно говорить о достаточно точном воспроизведении даты появления первых ядер пыльцы бересклета в рассматриваемых городах: в Москве и в Санкт-Петербурге на два дня позже относительно данных пыльцевого мониторинга, в Краснодаре на два дня раньше. При этом значения концентраций в Москве завышены относительно данных наблюдений, в Санкт-Петербурге и Краснодаре занижены.

Можно оценить и некоторые различия в периоде пыления в рассматриваемых городах по данным пыльцевого мониторинга: в Краснодаре появление ядер пыльцы бересклета происходит уже в начале апреля, в Москве в середине месяца и самое позднее в Санкт-

Петербурге, что подтверждает широтную зависимость появления первых ядер пыльцы. При этом можно оценить различия в количественном содержании – в Краснодаре оно на порядок ниже, чем в более северных городах, что обусловлено меньшей долей берез в лесах.

В **заключении** приводится обобщение полученных результатов.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Статистическая оценка информативности биометеорологических индексов и метеорологических параметров для людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями в городах, расположенных в различных климатических зонах: Москве, Набережных Челнах (центр европейской территории России), Мурманске (север) и Кисловодске (юг). Показана слабая статистическая связь показателей медицинской статистики с метеорологическими параметрами и биометеорологическими индексами (максимальные по модулю коэффициенты корреляции $|R| = 0,3\text{--}0,4$).
2. Регрессионные модели зависимости показателей медицинской статистики и метеорологических параметров для оценки влияния погодных условий на людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Величина коэффициентов корреляции в большинстве рассматриваемых городов $R=0,5\text{--}0,7$, за исключением Мурманска, где $R=0,21$.
3. Методика численного прогноза погодных условий, неблагоприятных для людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями, на основе региональной гидродинамической модели и регрессионных зависимостей между показателями медицинской статистики и метеорологическими параметрами. Показано, что в большинстве городов общая оправдываемость прогноза возникновения опасных условий для людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями составляет $0,84\text{--}0,96$.
4. Методика численного прогноза концентрации пыльцы березы в воздухе для людей с аллергическими заболеваниями на основе использования гидродинамической и транспортной моделей. Проведенные эксперименты показали, что в Москве, Санкт-Петербурге и Краснодаре данные моделирования даты начала пыления березы (ошибки составляют $+/- 2\text{--}3$ дня) и концентрации пыльцы близки к фактическим.

Список публикаций по теме диссертации

Работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК:

1. **Ткачук (Емелина) С.В.** Сравнительный анализ биоклиматических индексов для прогноза с использованием мезомасштабной модели. // Ученые записки РГГМУ - 2011. № 20.- С. 123 – 133.
2. **Емелина С.В.**, Константинов П.И., Малинина Е.П., Рубинштейн К.Г. Оценка информативности некоторых биометеорологических индексов для разных районов России. // Метеорология и гидрология. – 2014 - №6.- С.25-37.
3. Козловская И.Л., Булкина О.С., Лопухова В.В., Колмакова Т. Е., Карпов Ю.А, Страстин И.В., Барагашвили В.Л., Рубинштейн К.Г., **Емелина С.В.**, Боровиков В.П.. Динамика госпитализаций больных с острым коронарным синдромом и показатели состояния атмосферы в Москве в 2009—2012 гг. // Терапевтический архив. – 2014. №12.- С. 20-26.
4. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Авалиани С.Л., Рубинштейн К.Г., **Емелина С.В.**, Ширяев М.В., Семутникова Е.Г., Захарова П.В., Кислова О.Ю. Опасность для здоровья населения Москвы волн жары и загрязнения атмосферного воздуха во время аномальных погодных явлений. // Гигиена и Санитария. - 2015. №1.- С.36-41.
5. **Емелина С.В.**, Рубинштейн К.Г., Гурьянов В.В., Переведенцев Ю.П., Иванов А.В. Влияние краткосрочных изменений метеорологических параметров атмосферы на больных ишемической болезнью сердца в Набережных Челнах. // Метеорология и гидрология.-2015. №12. - С. 87-94.
6. Макоско А.А., Матешева А.В., **Емелина С.В.** О тенденциях дальнего загрязнения атмосферы и динамике комфортности погодно-климатических условий в первой половине XXI в.на территории России.- // Проблемы анализа и риска.-2018, №6.- С.66-77.
7. **Емелина С.В.**, Набокова Е.В., Рубинштейн К.Г. Сравнение фенологических моделей определения начала пыления бересклета для численного прогнозирования переноса аллергенов. // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. - 2019. № 3 (373).-С.151-160.

Содержание диссертации также отражено в следующих публикациях:

8. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Кершенгольц Б.М., Чернявский В.Ф., Никифоров О.И., Сафонова О.Н., Репин В.Ф., Рубинштейн К.Г., **Ткачук (Емелина) С.В.**, Харькова Т.Л., Кваша К.А., Тихонова Г.И., Горчакова Т.Ю.. Климатические изменения как фактор риска здоровью населения Российской Арктики. Результаты Международного полярного года, 2009 - ч.1., - с.9-68.
9. Повоцкая Н.П., Голицын Г.С., Гранберг, И. Г., Ефименко Н.В., Жерлицина Л.И., Рубинштейн К.Г., Сеник И.А., Васин В.А., **Ткачук (Емелина) С.В.**, Артамонова М.С., Кириленко А.А., Козлова М.Д., Кортунова З.В., Погарский Ф.А., Максименков Л.О. Новая классификация индексов биотропности в интегральном индексе патогенности погоды на курортах Кавказских Минеральных Вод для медицинского

прогноза погоды 2010, НПК, посвященной 90-летию ФГУ «Пятигорский ГНИИК ФМБА России» на тему «Актуальные вопросы курортологии, восстановительной медицины и профпатологии» - Пятигорск., - С. 69-72.

10. Повоцкая Н.П., Ефименко Н.В., Жерлицина Л.И., Мкртчян Р.И., Сенник И.А., Рубинштейн К.Г., **Ткачук (Емелина) С.В.**, Кириленко А.А., Кортунова З.В. Новые медицинские технологии по климатотерапии и климатопрофилактике на горных курортах 2010, "Развитие санаторно-курортной помощи, восстановительного лечения и медицинской реабилитации", - М.: МЗиСРРФ, 2010. - С.58-60.
11. Рубинштейн К.Г., **Ткачук (Емелина) С.В.**. Специализированный гидродинамический прогноз для региона Кавказских Минеральных Вод VII Южно-Российский Форум «Кавказская Здравница-2010», сборник статей Медицинского конгресса «Здравоохранение Северного Кавказа». 2010.
12. **Ткачук (Емелина) С.В.**, Рубинштейн К.Г.. Оценка качества численных прогнозов температуры и давления для курортной зоны городов кавказских Минеральных Вод. Сборник научных трудов «Погода и климат: новые методы и технологии исследований», под ред. Калинина Н.А., Пермь, 2010 г. С.34-38.
13. **Tkachuk (Emelina) S.V.**, Rubinshtein K.G. Particularized hydrodynamic forecast for the Caucasus Mineral Water Region. Материалы Международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2010. Тезисы докладов. Томск: Издательство Томского ЦНТИ. 2010.
14. **Tkachuk (Emelina) S.V.**, Rubinshtein K.G. Bioclimatic indexes for the polar regions of Russia. // Climate Changes in Polar and Subpolar Regions. Тезисы докладов. Москва: ИФА им. Обухова РАН, 2011 г.
15. **Ткачук (Емелина) С.В.**, Рубинштейн К.Г. Сравнительный анализ биоклиматических индексов для прогноза с использованием региональной модели. Избранные труды Международной молодежной школы и конференции CITES-2011. Томск: Издательство Томского ЦНТИ. 2011. С.151-155.
16. **Ткачук (Емелина) С.В.**, Рубинштейн К.Г. Прогноз степени комфортности погодных условий в рамках задачи снижения метеопатических реакций населения. // Международная конференция по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Тезисы докладов. Казань: КФУ. 2012. С.84.
17. **Ткачук (Емелина) С.В.**, Рубинштейн К.Г. Анализ комфортности погодных условий на курортах Кавказских Минеральных Вод. // Сборник научных работ «Природные лечебные факторы и основные экологические проблемы курортов Северного Кавказа». – Пятигорск: ФГБУ ПГНИИК ФМБА России, 2012. – С. 64-75.
18. **Tkachuk (Emelina) S.** System of weather comfort forecasting. //12th EMS Annual Meeting and 9th European Conference on Applied Climatology. Lodz, Poland. 2012.
19. **Ткачук (Емелина) С.В.** Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности. // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. -2012. – Вып.347. - С.223-245.
20. **Емелина С.В.**, Рубинштейн К.Г., Переведенцев Ю.П., Гурьянов В.В. Оценка ин-

формативности некоторых биометеорологических индексов в различные сезоны года для республики Татарстан // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов. Труды второй Всероссийской конференции с международным участием. Т.2, Казань: Изд-во «Отечество», 2013, с.76-79.

21. Рубинштейн К.Г., **Емелина С.В.** Основы технологии прогноза степени комфортности погодных условий для снижения метеопатических реакций населения // В кн.: Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата / Под общей ред. ак. А.И.Григорьева. - М.: Наука, 2014. - с. 270-293.
22. Макоско А.А.. **Емелина С.В.**, Матешева А.В. Оценка динамики комфорtnости по-годно-климатических условий в 1980-2050 гг. на территории России Статья Турбулентность, динамика атмосферы и климата // под ред. Голицына Г.С., Мохова И.И., Куличкова С.Н., Курганского М.В., Репиной И.А., Чхетиани О.Г., 2018. - М. Физматкнига. с. 222-227. ISBN – 978-5-89155-312-5.
23. A.A. Makosko, **S.V. Emelina**, A.V. Matesheva. Evaluation of changing weather and climate comfort conditions in Russia from 1980 to 2050 doi:10.1088/1755-1315/231/1/012015 Статья Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics //IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences, 231 (2019) 012015, pp.1-7.

Цитированная литература:

1. Айзенштат Б.А., Айзенштат Л.Б. Формула для расчета эквивалентно-эффективной температуры. - Вопросы биометеорологии, 1974, № 20(101), с. 81–83.
2. Богова А.В., Ильина Н.И., Лусс Л.В.. Тенденции в изучении эпидемиологии аллергических заболеваний в России за последние 10 лет. // Российский аллергологический журнал, 2008, № 6, с.3-14.
3. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 248 с.
4. Исаев А.А. Экологическая климатология. – М.: Научный мир, 2001, 456 с.
5. Козловская И.Л., Булкина О.С., Лопухова В.В., Колмакова Т. Е., Карпов Ю.А, Старостин И.В., Бараташвили В.Л., Рубинштейн К.Г., Емелина С.В., Боровиков В.П.. Динамика госпитализаций больных с острым коронарным синдромом и показатели состояния атмосферы в Москве в 2009—2012 гг. -Терапевтический архив, 2014, №12, с. 20-26.
6. Козулина И.Е., Курбачева О.М., Ильина Н.И. Аллергия сегодня. Анализ новых эпидемиологических данных. Российский аллергологический журнал, 2014, № 3, с.3-10.
7. Мироновская А.В., Унгуряну Т.Н., Гудков А.Б. Роль природно-климатических и экологических факторов в возникновении неотложных состояний сердечно-сосудистой системы: анализ временного ряда // Экология человека. 2010. № 9. С. 13-17.
8. Ощепкова Е.В. Смертность населения от сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации в 2001-2006 гг. и пути по ее снижению. // Кардиология. – 2009. - № 2. – С. 62-72.
9. Ревич Б.А., Малеев В.В. Изменения климата и здоровье населения России: Анализ ситуации и прогнозные оценки. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 208 с.
10. Altman D. Practical statistics for medical research.-London: Chapman and Hall/CRC, 1990.- p.624.
11. Chau PH, Chan KC, Woo J: Hot weather warning might help to reduce elderly mortality in Hong Kong. Int J Biometeorol. 2009, 53: 461-468. 10.1007/s00484-009-0232-5.
12. Court A. Wind Chill,- J.Bull. Am. Meteor. Soc., 1948. vol.29, pp. 487-493.
13. Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Tertre AL, Frayssinet P, Bessemoulin P, Laurent F, Crouy-Chanel PD: Has the impact of heat waves on mortality changed in

- France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol.* 2008, 37: 309–317. 10.1093/ije/dym253.
14. Heinzerling, L.M., Burbach, G.J., Edenharter, G., et.al., 2009. GALEN skin test study I: GALEN harmonization of skin prick testing: novel sensitization patterns for inhalant allergens in Europe. *Allergy* 64 (10), 1498–1506.
 15. Hentschel G. A human biometeorology classification of climate for large and local scales. WMO/HMO/UNEP Symposium on Climate and Human Health.- Leningrad, 1986, Vol. I, WCPA - No. 1, WMO.
 16. Hill L.E., Angus T.C., Newbold E.M. Further experimental observations to determine the relations between katacooling powers and atmospheric conditions.- *J. Ind. Hyg.*, 1958, vol. 10., pp. 391–407.
 17. Kalkstein L.S., Davis R.E. Weather and human mortality: An evaluation of demographic and interregional responses in the United States. *Annals of association of American geographers*, 79(1),1989, pp.44-64.
 18. Lowe D., Ebi K.L., Forsberg B. Heatwave Early Warning Systems and Adaptation Advice to Reduce Human Health Consequences of Heatwaves. -*Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2011, vol. 8, pp. 4623-4648.
 19. Missenard A. *L'Homme et le climat.*- Paris, 1937, pp. 186.
 20. Roger V.L., Go A.S., Lloyd-Jones D.M. et al. Heart disease and stroke statistics – 2011 Update: A report from the American Heart Association // *Circulation.* – 2011. – 123. – P. e18–e209.
 21. Siple P. A. and Passel C. F. Measurements of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperatures. *Reports on scientific results of the United States Antarctic Service Expedition, 1939–1941.* - Proc. Amer. Philos., 1945, vol.89, pp. 177–199.
 22. Skamarock W.C. A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech.-Note NXAR/TN-4751STR, 2008.
 23. Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H. Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and a feasibility study. *Int J Biometeorol* (2006) 50: 392.
 24. Sofiev, M., Galperin, M. V., and Genikhovich, E.: Construction and evaluation of Eulerian dynamic core for the air quality and emergency modeling system SILAM, in: NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, edited by: Borrego, C. and Miranda, A. I., Air Pollution Modelling and Its Application, XIX, Springer-Verlag Berlin, 699–701, 2008.
 25. Steadman R.G. Norms of apparent temperature in Australia.- *Aust. Met. Mag.*, 1994, vol. 43, pp. 1–16.
 26. Watts J.D. and Kalkstein L.S. The development of a warm-weather relative stress index for environmental applications.- *Journal of Applied Meteorology*, 2004, vol. 43, pp. 503–13.
 27. WHO (2003) Phenology and human health: allergic disorders. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 55 pp.
 28. World Health Organization. Heat-Health Action Plans: Guidance; WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark, 2008.
 29. World Meteorological Organization. The Global Framework for Climate Services (GFCS). 2014, pp. 24.