

УДК 551.58(1-21):004

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ КОМФОРТНОСТИ КЛИМАТА ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ (НА ПРИМЕРЕ Г. ВИТЕБСКА)



И.А. Телеш

*доцент кафедры инженерной
психологии и эргономики БГУИР,
кандидат географических наук, доцент*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь
E-mail: tia32@bsuir.by*

И.А. Телеш

Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, кандидат географических наук, доцент. Окончила Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка» и аспирантуру Белорусского государственного университета по специальности «Геоэкология». Основным научным направлением является исследование климатической комфортности урбанизированных территорий.

Аннотация. На основании разработанной методики геоэкологической оценки комфортности климата городов и реализованной комплексной географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата (ГИС «ГОКК») выполнен анализ основных климатических параметров и эколого-климатических показателей, дана геоэкологическая оценка комфортности климата города Витебска. Разработан сценарий возможного изменения комфортности климата города на период до 2025 года.

Ключевые слова: географическая информационная система, город, комфортность, климат, жизнедеятельность, моделирование, системный анализ, человек.

Введение. В настоящее время проблема изменения климата и рост урбанизационных процессов оказывают существенное влияние на социально-экономические и экологические аспекты устойчивого развития любой страны, в том числе и Республики Беларусь. В связи с этим исследование комфортности климатических условий городов является актуальным и имеет фундаментальное и прикладное значение, является составной частью комплексной оценки геоэкологического потенциала среды жизнедеятельности населения урбанизированных территорий.

В соответствии с проведенной геоэкологической оценкой комфортности климата крупных городов Беларуси [1] под комфортностью климата понимается состояние климатической системы не вызывающее существенных патологических метеотропных реакций у человека в процессе его жизнедеятельности.

Разработанная методика геоэкологической оценки комфортности климата городов базируется на системно-иерархических представлениях об объектах исследования, что позволяет выявить и математически представить группы разноплановых качественных и количественных показателей климатической системы, рассматриваемых как факторы, влияющие

на жизнедеятельность населения в городах. Она основана на расчете частных и интегральных эколого-климатических показателей состояния окружающей среды, характеризующих степень ее благоприятности для человека. При расчете климатических и эколого-климатических показателей применялись методы с использованием методологии системного анализа и математического моделирования.

Предложенная методика геоэкологической оценки комфортности климата городов реализована в виде комплексной географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата (ГИС «ГОКК») и представляет собой субъект-объектную модель, построенную на принципах координации, субординации и поэтапного «сжатия» информации от оценки частных характеристик к интегральной оценке комфортности климата крупных городов Беларуси.

ГИС «ГОКК» состоит из трех основных модулей: ввода и управления данными, их сортировки и классификации по заданным признакам; вычислительной обработки и комбинирования данных по заданной программе; представления полученной информации в виде таблиц.

В информационный модуль ГИС «ГОКК» производился ввод данных о климате крупных городов Беларуси с последующим их подробным анализом. При этом использована метеорологическая информация (средние суточные данные о температуре и относительной влажности воздуха, парциальном давлении водяного пара, скорости ветра, атмосферном давлении, атмосферных осадках, общей облачности, туманах) ГУ «Республиканский Гидрометеорологический центр» в разрезе 6 метеостанций областных центров страны за период (1980-2013 гг.).

Геоэкологическая оценка комфортности климата крупных городов Беларуси и разработанная географическая информационная система ГИС «ГОКК» используются в практике рационального природопользования Республики Беларусь для принятия грамотных управленческих решений по оптимизации функционирования и развития крупных городов страны, а также для ведения и совершенствования климатического и социально-гигиенического мониторинга на региональном и локальном уровнях.

Материалы и методы. При определении показателей комфортности климата городов исследовать абсолютно все эколого-климатические факторы, влияющие на человека практически невозможно и вряд ли целесообразно, так как многие из них несущественны и незначительно влияют на функционирование и динамику эколого-климатической системы урбанизированных территорий.

Методика геоэкологической оценки комфортности климата городов базируется на системно-иерархических представлениях об объектах исследования, что позволяет выявить и математически представить группы разноплановых качественных и количественных показателей климатической системы, рассматриваемых как факторы, влияющие на жизнедеятельность населения в городах. Она основана на расчете частных и интегральных эколого-климатических показателей состояния окружающей среды, характеризующих степень ее благоприятности для человека, выполненных с использованием современных ГИС-технологий [2].

Под геоэкологической оценкой комфортности климата города автор понимает определение степени его благоприятности по отношению к человеку с учетом естественного потенциала самоочищения атмосферы и влияния климата на режим эксплуатации жилых сооружений.

Для оценки комфортности климата городов была разработана система ранжирования эколого-климатических показателей, согласно которой оптимальным эколого-климатическим параметрам в пределах городов соответствует высший балл, а низший – неблагоприятным (таблица 1).

Таблица 1

Эколого-климатические показатели геоэкологической оценки комфортности климата городов Беларуси

Значимость, F	Показатели комфортности климата	Диапазон данных				
5	Продолжительность комфортного периода с НЭЭТ от 17 до 21 °С, (K _{нээт}) дни	≥41	40-36	35-31	30-26	≤25
5	Продолжительность дискомфортного периода с индексом холодового стресса по Хиллу ≥ 4,5 Вт/м ² ·с, (K _{дп}) дни	≤20	21-25	26-30	31-35	≥36
5	Изменчивость погоды, (K _{ип}) отн. ед.	≤130	131-140	141-150	151-160	≥161
4	Количество душных дней с t _в ≥ 20 °С, f ≥ 75 %, (K _{дл}) дни	0	1-3	4-6	7-9	≥10
4	Количество холодных дней с t _в ≤ -10 °С, (K _{хл}) дни	≤5	6-10	11-15	16-20	≥21
4	Количество дней с межсуточным изменением атмосферного давления ≥9 гПа/сут, (K _{ад}) дни	≤30	31-35	36-40	41-45	≥46
4	Количество дней с относительной влажностью воздуха ≥80 %, (K _{овв}) дни	≤150	151-165	166-180	181-195	≥196
3	Количество дней со скоростью ветра ≥5 м/с, (K _{св}) дни	≤5	6-10	11-15	16-20	≥21
3	Количество дней с осадками ≥1 мм, (K _{ос}) дни	≤100	101-110	111-120	121-130	≥131
3	Количество дней с облачностью ≥6 баллов, (K _{об}) дни	≤240	241-250	251-260	261-270	≥271
3	Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений, (K _{эжс}) дни	≤120	119-110	109-100	99-90	≥89
3	Климатический потенциал самоочищения атмосферы, (K _{кпс}), отн. ед.	≤0,2	0,3-0,4	0,5-0,6	0,7-0,8	≥0,9
2	Средняя температура июля, (t _и) °С	19,0-20,0	20,1-20,5 18,9-18,5	20,6-21,0 18,4-18,0	21,1-21,5 17,9-17,5	≥21,6; ≤17,4
2	Средняя температура января, (t _я) °С	≥-4	-4,1- -6,0	-6,1- -8,0	-8,1- -10,0	≤-10,1
Уровень комфортности эколого-климатических показателей, (С) баллы		5	4	3	2	1

Как показано в таблице 1, к наиболее значимым показателям комфортности климата городов ($F = 5$) относятся нормальные эквивалентно-эффективные температуры (продолжительность комфортного периода с НЭЭТ от 17 до 21 °С, ($K_{нээт}$), продолжительность дискомфортного периода с индексом холодного стресса по Хиллу $\geq 4,5$ Вт/м²·с, ($K_{дп}$), изменчивость погоды, ($K_{ип}$) [3].

Коэффициент значимости равный 4 был присвоен ряду показателей комфортности климата городов, которые неблагоприятно влияют на здоровье населения и значительно варьируют в отдельные годы. К ним относятся количество дней: душных дней с $t_b \geq 20$ °С, $f \geq 75$ %, ($K_{дд}$), количество холодных дней с $t_b \leq -10$ °С, ($K_{хд}$), количество дней с межсуточным изменением атмосферного давления ≥ 9 гПа/сут, ($K_{ад}$), количество дней с относительной влажностью воздуха ≥ 80 %, ($K_{овв}$) [4].

Существенное влияние на комфортность климата городов имеет количество дней со скоростью ветра ≥ 5 м/с, ($K_{св}$), количество дней с осадками ≥ 1 мм, ($K_{ос}$), количество дней с облачностью ≥ 6 баллов, ($K_{об}$), продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений, ($K_{эжс}$), климатический потенциал самоочищения атмосферы, ($K_{кпс}$) которым был присвоен коэффициент значимости $F = 3$ [5].

Для характеристики комфортности климата городов были также использованы среднемесячные температуры самого холодного и теплого месяцев, отражающие особенности климата. Им был присвоен коэффициент значимости $F = 2$.

Данный подход позволил соотнести показатели разной размерности и определить значимость каждого фактора. Уровень значимости показателей (F) отражает вклад каждого фактора в интегральный показатель комфортности климата.

Интегральный показатель комфортности климата дает представление о степени благоприятности климата городов для жизнедеятельности людей с учетом воздействия всего комплекса рассматриваемых метеорологических факторов.

В крупных городах Беларуси можно выделить 4 категории комфортности климатических условий: $K_{ипкк} \geq 4,00$ – комфортные, 3,00-3,99 – умеренно комфортные, 2,00-2,99 – мало комфортные, $\leq 1,99$ – дискомфортные.

Предложенная методика реализована в виде комплексной географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата (ГИС «ГОКК»), которая представляет собой субъект-объектную модель, построенную на принципах координации, субординации и поэтапного «сжатия» информации от оценки частных характеристик к интегральной оценке комфортности климата городов Беларуси. ГИС «ГОКК» состоит из трех основных модулей: ввода и управления данными, их сортировки и классификации по заданным признакам; вычислительной обработки и комбинирования данных по заданной программе; представления полученной информации в виде таблиц.

Разработка ГИС «ГОКК» базируется на методологии системного анализа и ее структура состоит из трех основных подсистем: ввода и управления данными, их сортировки и классификации по заданным признакам; вычислительной обработки и комбинирования данных по заданной программе; представление полученной информации в виде таблиц.

Программа ГИС «ГОКК» написана в среде Delphi на языке Object Pascal. Основным объектом исследования являются среднесуточные метеорологические показатели за определенный период времени. Исходные данные находятся в файлах Excel со следующей структурой: столбец «А» – дата формата «ГГГГ-ММ-ДД»; столбец «В» – температура воздуха; столбец «К» – относительная влажность воздуха; столбец «Т» – упругость водяного пара. столбец «АС» – скорость ветра; столбец «АL» – атмосферное давление воздуха; столбец «АМ» – атмосферные осадки; столбец «АV» – облачность; столбец «АW» – туман.

Заголовки столбцов находятся в третьей строке листа, а данные начинаются с четвертой строки. Лист с исходными данными является активным.

Для считывания из Excel, хранения и обработки информации был разработан класс

TvarTable, который находится в модуле VarTable и представляет собой таблицу данных вариативного типа Variant. Дополнительные поля этого класса позволяют определить, является ли эта таблица актуальной (логическое поле Actual), задать имя таблицы, ее номер, а также тип данных DataType, который может принимать 4 различных значения (dDay, dMonth, dYear, dNone), которые означают соответственно хранение в таблице данных по дням, месяцам, годам или отсутствие периодических данных. Также в модуле VarTable реализованы функции импорта данных из Excel в таблицу дневных данных, таблицу F значимости ЭКП, таблицу C уровня комфортности ЭКП, а также общая для всех таблиц функция экспорта в Excel и функции экспорта и импорта из редактора данных главного окна программы.

Для безопасного преобразования данных из одного вида в другой были разработаны функции, собранные в модуле VarFuncs. Функции VarDoubleToString и VarStringToString предназначены для экспорта данных в редактор, в котором все данные представляются строками. Функции VarDateToDate и DateToVarDate предназначены для преобразования даты из строки в вид, удобный для использования (объект класса TData) и обратно, в зависимости от вида данных TDataType. Функция VarDoubleToDouble предназначена для получения численного значения, используемого для расчетов.

Для сбора обобщенных данных разработан класс ТКР, который находится в модуле КР. Он содержит поля накопленного значения и числа суммирований, позволяет получить среднее и общую сумму, в связи с этим методы записи в него различаются: в первый раз функция SetValue устанавливает первое значение для суммирования, а функция AddValue добавляет все последующие. Также в этом модуле находится функция для округления до заданного количества знаков после запятой RoundN и класс ТЕКРCollection, который представляет собой интерфейс к набору определенного числа объектов класса ТКР. Для считывания первой строки для суммирования показателей используется функция Read класса ТЕКРCollection, для последующих функция Add. Для записи накопленных значений используется функция Write2 для вывода средних значений, Write для вывода средних значений для всех КП, кроме атмосферных осадков, и Write3 для дополнительного подсчета климатического потенциала самоочищения атмосферы (K_14).

В модуле TableMath собраны функции для расчета таблиц климатических показателей (КП) и эколого-климатических показателей (ЭКП): Table0ToTable1 – получение данных для расчета из исходных показателей (копирование); Table0ToTable1ex – получение данных для расчета из исходных показателей, начиная с позиции first и заканчивая позицией last; Table1ToTable2 – получение месячных КП из данных для расчета; Table1ToTable12 – получение годовых КП из данных для расчета; Table2ToTable10 – получение КП по месяцам из месячных КП; Table1ToTable3 – получение дневных ЭКП из данных для расчета; Table3ToTable4 – получение месячных ЭКП из дневных ЭКП; Table3ToTable13 – получение годовых ЭКП из дневных ЭКП и месячных КП (температура июня и января); Table4ToTable11 – получение ЭКП по месяцам из месячных ЭКП; Table13ToTable9 – получение из годовых ЭКП интегрального ЭКП и баллов, используемых для его расчета по каждому ЭКП; FillTable7Def – начальное заполнение таблицы значимости ЭКП; FillTable8Def – начальное заполнение таблицы баллов для интегрального ЭКП.

В таблице баллов для интегрального ЭКП каждому показателю соответствует две строки: в первой строке идут значения ЭКП (p_1, p_2, p_3), являющиеся границами интервалов, во второй строке идут соответствующие интервалам значения баллов (c_1, c_2, c_3, c_4). Значений в первой строке на одно меньше, чем во второй.

Модуль Main содержит класс формы главного окна и отвечает за выполнение функций интерфейса программы. При инициализации формы создаются пустые таблицы, которые заполняются либо значениями по умолчанию, либо путем импорта данных из Excel и последующего расчета показателей.

Модуль Splash содержит класс формы окна заставки. Заставка создается как окно без

рамки по размеру загруженной картинки из файла «Logo.jpg», расположенное в центре экрана. При запуске программы активируется таймер на 15 с, после чего он деактивируется. Также он деактивируется при нажатии на него левой кнопкой мыши. После деактивации таймера заставка уничтожается и загружается основное окно программы.

При запуске программы появляется заставка, которая закрывается по щелчку мыши или через пятнадцать секунд после старта. После этого появляется главное окно программы.

Основные компоненты программы – это главное меню программы, редактор данных и список таблиц. Редактор данных служит для отображения данных, а также редактирования таблиц значимости и уровня комфортности ЭКП. После каждого редактирования этих таблиц нужно пересчитывать таблицу интегрального ЭКП. Главное меню программы содержит три пункта: «Файл», «Таблицы» и «Коэффициенты».

Пункт «Файл» содержит подпункты «Открыть», «Сохранить таблицы», «Сохранить F», «Загрузить F», «Сохранить C», «Загрузить C». При выборе пункта «Открыть» открывается диалоговое окно, в котором можно выбрать файл с данными, подготовленный по образцу в программе Excel. При этом загруженный файл появится в редакторе данных. При выборе пункта «Сохранить таблицы» открывается диалоговое окно сохранения файла, в котором можно указать файл для сохранения рассчитанных таблиц в файл Excel. При этом сохраняются только отмеченные галочками в списке таблицы. При выборе пункта «Сохранить F» можно выбрать отдельный файл для сохранения таблицы значимости ЭКП в файл Excel, который потом можно загрузить в программу при помощи пункта «Загрузить F». Аналогично можно сохранить и загрузить таблицу уровня комфортности ЭКП с помощью пунктов «Сохранить C» и «Загрузить C».

Пункт меню «Коэффициенты» содержит подпункты «Значимость ЭКП» и «Баллы», которые позволяют загрузить в редактор данных таблицы значимости и уровня комфортности ЭКП для редактирования в программе. Если при редактировании одной из этих таблиц нужно вернуться к предыдущему ее значению, это можно сделать, нажав еще раз пункт меню, соответствующий этой таблице.

Пункт меню «Таблицы» содержит пункты, которые позволяют выбрать данные для расчета («Данные для расчета»), рассчитать все таблицы сразу («Расчет всех таблиц») или по отдельности. Чтобы выбрать данные для расчета, нужно вызвать в редактор исходные данные, выбрать первую строку требуемой области данных, нажать SHIFT, и выбрать последнюю строку области данных, при этом выбранная область данных будет выделена. После этого надо нажать пункт меню «Данные для расчета», при этом для расчета будут выбраны данные из выделенной области. Если выделено менее двух строк, то расчет производится по всем исходным данным.

Результаты. На основании разработанной методики геоэкологической оценки комфортности климата крупных городов Беларуси [6] выполнен анализ основных климатических показателей и дана геоэкологическая оценка комфортности климата города Витебска. Изучение климатических характеристик выполнялось на основе среднесуточной метеорологической информации о температуре и относительной влажности воздуха, парциальном давлении водяного пара, скорости ветра, атмосферном давлении воздуха, атмосферных осадках, общей облачности, туманах по данным ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиационного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за период 1980-2013 гг.

Анализ основных климатических показателей Витебска показал, что температура воздуха (t) в городе отличается значительной временной изменчивостью и устойчивой тенденцией к повышению ее средних годовых значений. Наиболее низкая средняя годовая температура воздуха за рассматриваемый период была в 1987 г. (3,6°C), максимальная – в 1989 (7,7°C). Максимальная средняя месячная температура воздуха в основном наблюдалась в июле, минимальная – в январе-феврале, рисунок 1.

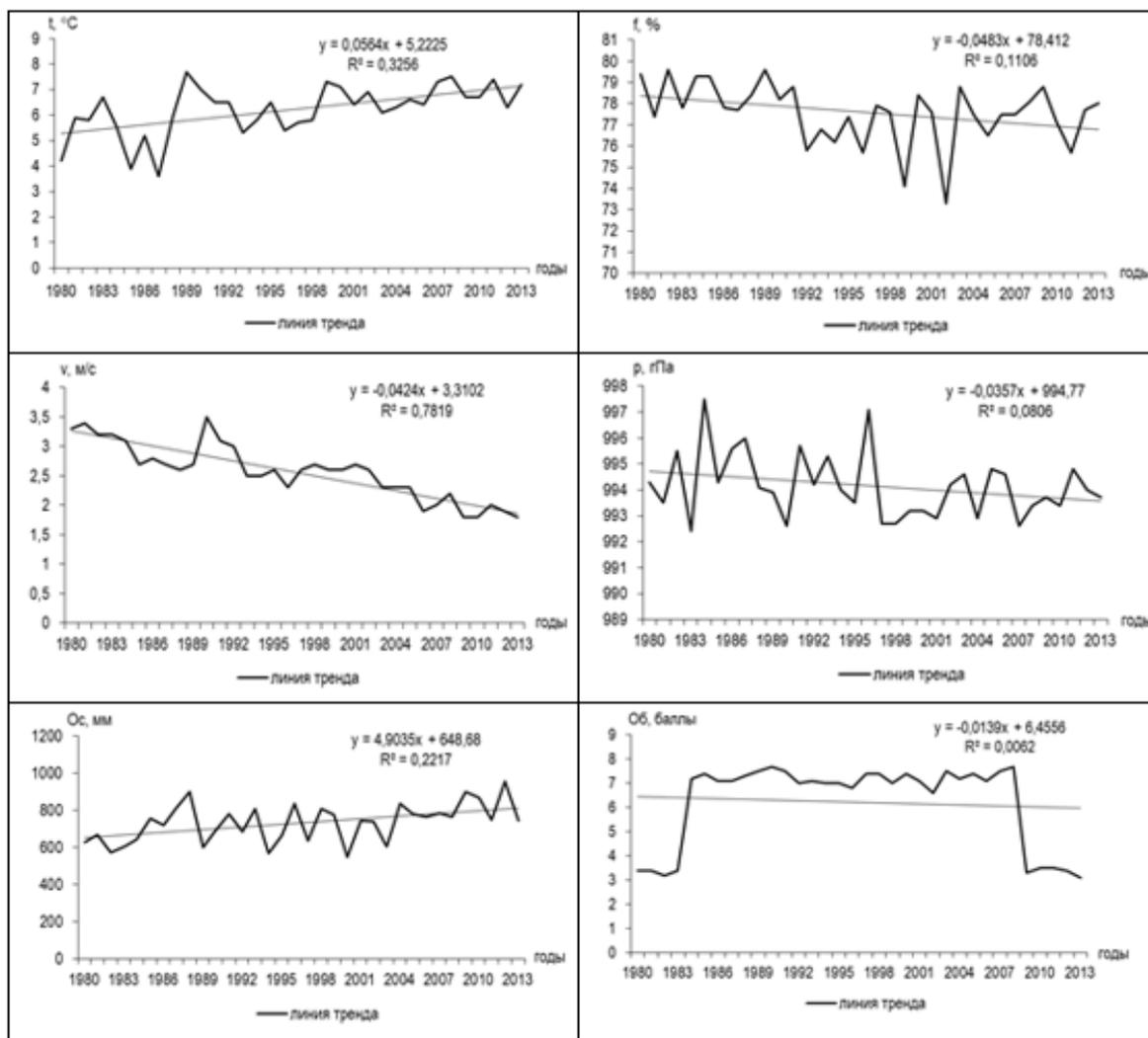


Рисунок 1. Средние годовые климатические показатели в Витебске за 1980-2013 гг.

Относительная влажность воздуха (f) в Витебске характеризуется незначительной временной изменчивостью и устойчивой тенденцией к уменьшению ее средних годовых значений. Максимальные значения средней годовой относительной влажности воздуха в рассматриваемый период наблюдались в 1982 г. и 1989 г. и составили 79,6 %, а минимальные – в 2002 г. – 73,3 %. Относительная влажность воздуха имеет достаточно выраженный годовой ход с минимумом в весенние месяцы (апрель - май), и максимумом – в осенне-зимний сезон года (ноябрь-январь).

Скорость ветра (v) в Витебске характеризуется умеренной временной изменчивостью и устойчивой тенденцией к ее снижению. Средняя годовая скорость ветра изменялась от 3,5 м/с в 1990 г. до 1,8 м/с в 2009, 2010 и 2013 гг. Скорость ветра имеет относительно плавный годовой ход. Максимальная скорость ветра в основном характерна для осенне-зимнего сезона, минимальная наблюдается весной и особенно летом. Анализ сезонной динамики повторяемости ветра в Витебске показал, что во все сезоны года в основном преобладал западный ветер. Повторяемость направлений ветра с северной составляющей (СВ, СЗ, С) возрастает от зимы к лету. Максимальная повторяемость северо-восточного ветра – в мае, северо-западного – в июне и северного направлений – в июле. Ветры южной составляющей (ЮВ, Ю, ЮЗ) летом имеют минимальную повторяемость, а зимой – максимальную. Так,

повторяемость ветра юго-восточного направления преобладает в ноябре, южного – в ноябре - декабре, юго-западного – в январе. Восточный ветер имеет максимальную повторяемость в конце зимы и весной, а минимальную в конце лета - начале осени. Повторяемость штилей достигает максимума летом, а минимума – зимой.

Среднее годовое атмосферное давление воздуха (p) в Витебске характеризуется незначительной межгодовой изменчивостью и небольшой тенденцией к понижению. В годовом ходе атмосферного давления воздуха его более высокие значения, как правило, отмечаются зимой, более низкие – летом. За период 1980-2013 гг. наиболее низкое среднее годовое атмосферное давление наблюдалось в 1983 г. (992,4 гПа), наиболее высокое – в 1984 г. (997,5 гПа).

Атмосферные осадки (O_c) характеризуются значительной временной изменчивостью и тенденцией к увеличению их годового количества. В среднем за этот период их минимум наблюдается в зимние месяцы, максимальное количество приходится на летние месяцы, достигая максимума в июле. В экстремальные годы годовой ход атмосферных осадков имеет более сложный характер. Годовое количество атмосферных осадков варьировало от 550,6 мм в 2000 г. до 959 мм в 2012 г.

Облачность (O_b) в городе характеризуется незначительной временной изменчивостью. В годовом ходе облачности минимум приходится на теплый период года (май-август), максимальные значения отмечаются в ноябре-декабре. Но в отдельные экстремальные годы он имеет более сложный вид. Наблюдаются месяцы, когда не бывает ни одного ясного дня. Средняя годовая облачность за рассматриваемый период изменялась от 3,1 балла в 2013 г. до 7,7 балла в 1990 г и 2008 г.

Анализ эколого-климатических показателей комфортности климата в Витебске, показал, что в теплый период года одной из наиболее значимой характеристикой комфортности климатических условий является количество дней с нормальной эквивалентно-эффективной температурой воздуха ($K_{нээт}$), отражающей воздействие на человека совокупности метеорологических факторов: скорости ветра, температуры и относительной влажности воздуха. Наибольшее значение $K_{нээт}$ наблюдалось в 2008 г. и составило 52 дня, а наименьшее – в 1980 г. – 11 дней. Количество душных дней со среднесуточной температурой воздуха ≥ 20 °C и относительной влажностью воздуха ≥ 75 % ($K_{дд}$) в течение года небольшое и в среднем составило 5 дней. Максимальное значение $K_{дд}$ наблюдалось в 2013 г. (23 дня). В 1984, 1993, 1994 и 2006 гг. подобные климатические условия и вовсе не наблюдались, рисунок 2.

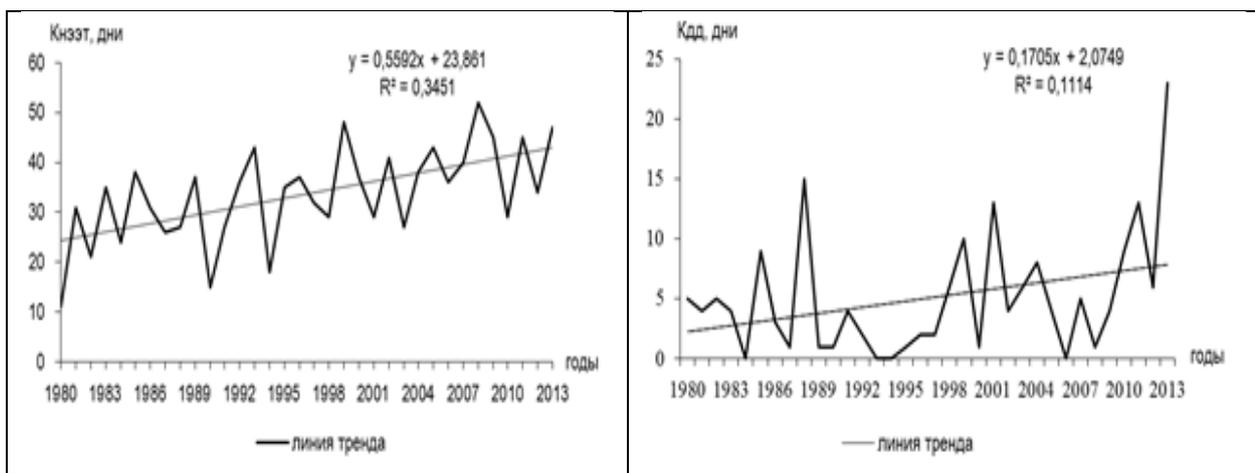


Рисунок 2. Продолжительность периода с комфортными НЭЭТ ($K_{нээт}$) и количество душных дней ($K_{дд}$) в Витебске за период 1980-2013 гг.

В холодный период года важной характеристикой комфортности климатических условий является количество дней с индексом холодного стресса по Хиллу $\geq 4,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{с}$ ($K_{\text{дп}}$). Максимальное количество дней с дискомфортными значениями $K_{\text{дп}}$ наблюдались в 1980 г. (86 дней), а минимальное в 2013 г. – 11 дней. Количество холодных дней с температурой воздуха $\leq -10 \text{ }^\circ\text{C}$ ($K_{\text{хд}}$) в течение года значительно больше, чем количество душных дней. Наибольшее количество холодных дней $K_{\text{хд}}$ зафиксировано в 1985 г. и составило 53 дня, а минимальное в 1990 г., когда наблюдалось всего 3 холодных дня, рисунок 3.

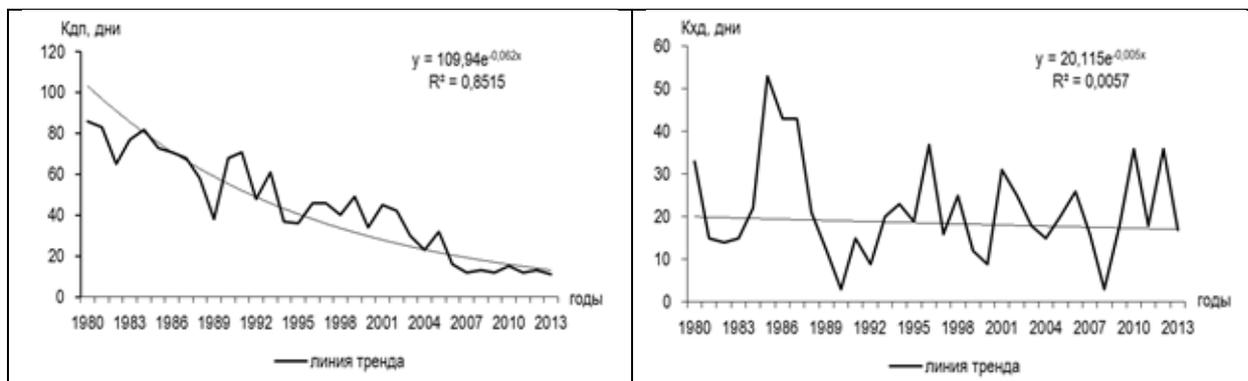


Рисунок 3. Продолжительность дискомфортного периода с индексом холодного стресса по Хиллу $\geq 4,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{с}$ ($K_{\text{дп}}$) и количество холодных дней ($K_{\text{хд}}$) в Витебске за период 1980-2013 гг.

Количество случаев с контрастными изменениями погоды ($K_{\text{ип}}$) в среднем за рассматриваемый период составило около 158 дней. При этом наибольшие погодные контрасты наблюдались в 1995 г., а наиболее стабильные погодные условия отмечались в 2000 г. Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений ($K_{\text{эжс}}$) определяется с учетом влияния на них различных сочетаний средней суточной температуры и относительной влажности воздуха. Количество дней с комфортными значениями $K_{\text{эжс}}$ за 1980-2013 гг. в среднем составило 105 дней. Наименее благоприятные условия наблюдались в 1980 г. (84 дня), наиболее комфортные в 2011 г. (125 дней), рисунок 4.

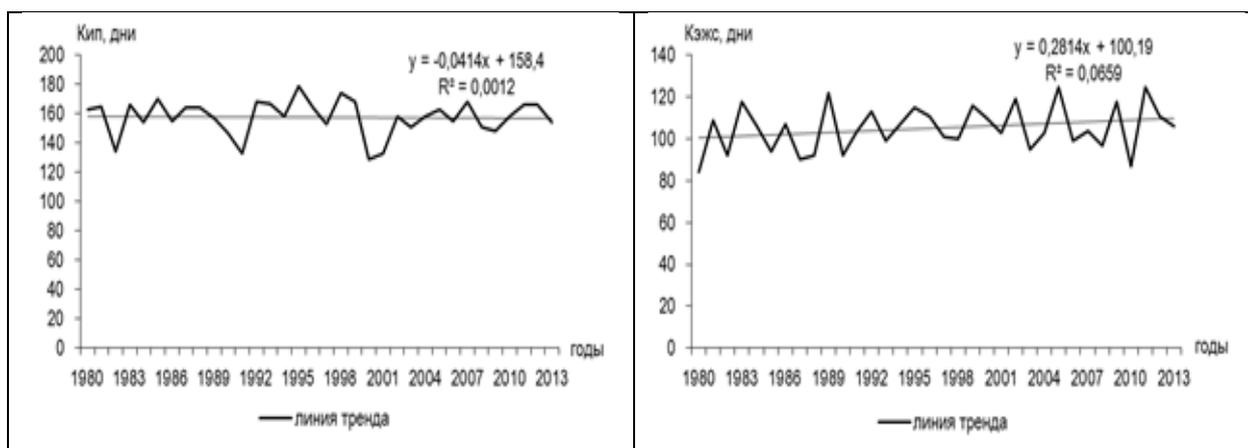


Рисунок 4. Количество дней с контрастными изменениями погоды ($K_{\text{ип}}$) и продолжительность периода эксплуатации жилых сооружений ($K_{\text{эжс}}$) в Витебске за период 1980-2013 гг.

Климатический потенциал самоочищения атмосферы ($K_{кпс}$) в условиях города определяется как функция комплексного влияния числа дней со штилем, туманами, осадками ≥ 1 мм, сильным ветром ≥ 5 м/с. Наиболее неблагоприятные значения $K_{кпс}$ наблюдались в 1991 и 1995 гг. – 0,1, Существенное влияние на изменение комфортности климата имеет количество дней с резким межсуточным изменением атмосферного давления ≥ 9 гПа/сут ($K_{ад}$); со средней суточной: относительной влажностью воздуха ≥ 80 % ($K_{ов}$), скоростью ветра ≥ 5 м/с ($K_{св}$); осадками ≥ 1 мм ($K_{ос}$); облачностью ≥ 6 баллов ($K_{об}$). На протяжении исследуемого периода самые неблагоприятные условия с резким межсуточным изменением атмосферного давления наблюдались в 1995 г., наиболее комфортные – в 1996 г., рисунок 5.

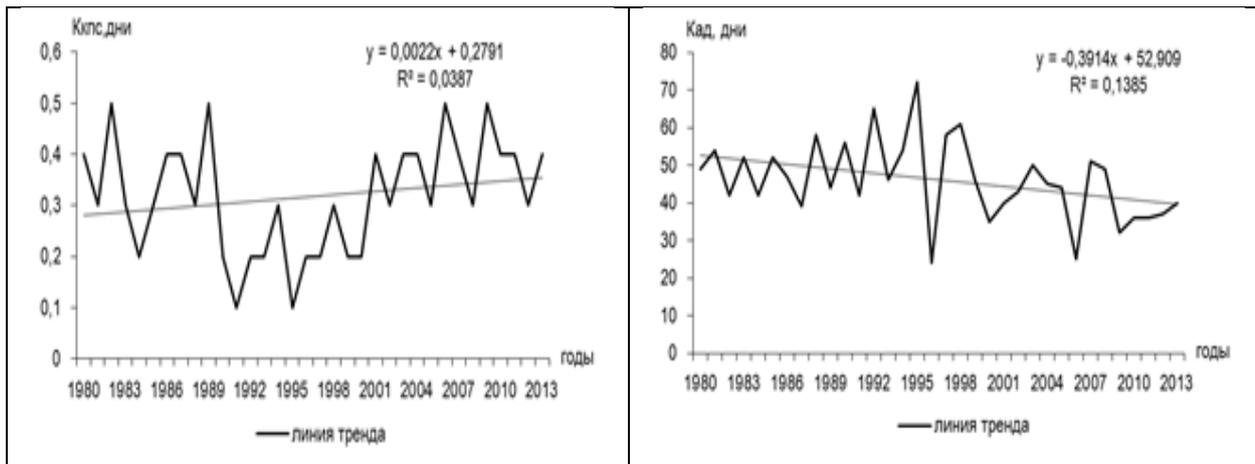


Рисунок 5. Климатический потенциал самоочищения атмосферы ($K_{кпс}$) и количество дней с резким межсуточным изменением атмосферного давления ≥ 9 гПа/сут ($K_{ад}$); в Витебске за период 1980-2013 гг.

За 1980-2013 гг. наибольшее количество дней с дискомфортными значениями $K_{ов}$ отмечалось в 1980 г. (210 дней), наименьшее – в 2002 г.; максимальное количество дней с высокой средней суточной скоростью ветра $K_{св}$ было в 1981 г., а минимальное – в 2006 и 2010 гг.; наибольшее количество дней с осадками ≥ 1 мм соответствовало 1988 г., а наименьшее – 1982 г.; самые неблагоприятные условия с дискомфортными значениями облачности $K_{об}$ отмечались в 2008 г., а наиболее комфортные в 1982 г., рисунок 6.

Определенное влияние на комфортность климатических условий города оказывают среднемесячные температуры самого холодного и теплого месяцев года, отражающие общие особенности климата. Наиболее высокая температура воздуха в Витебске наблюдалась в июле 2010 г. ($23,4^{\circ}\text{C}$) и январе 2007 г. ($0,4^{\circ}\text{C}$), а минимальная - в июле 1984 г. ($15,6^{\circ}\text{C}$) и январе 1987 г. ($-16,9^{\circ}\text{C}$), рисунок 7.

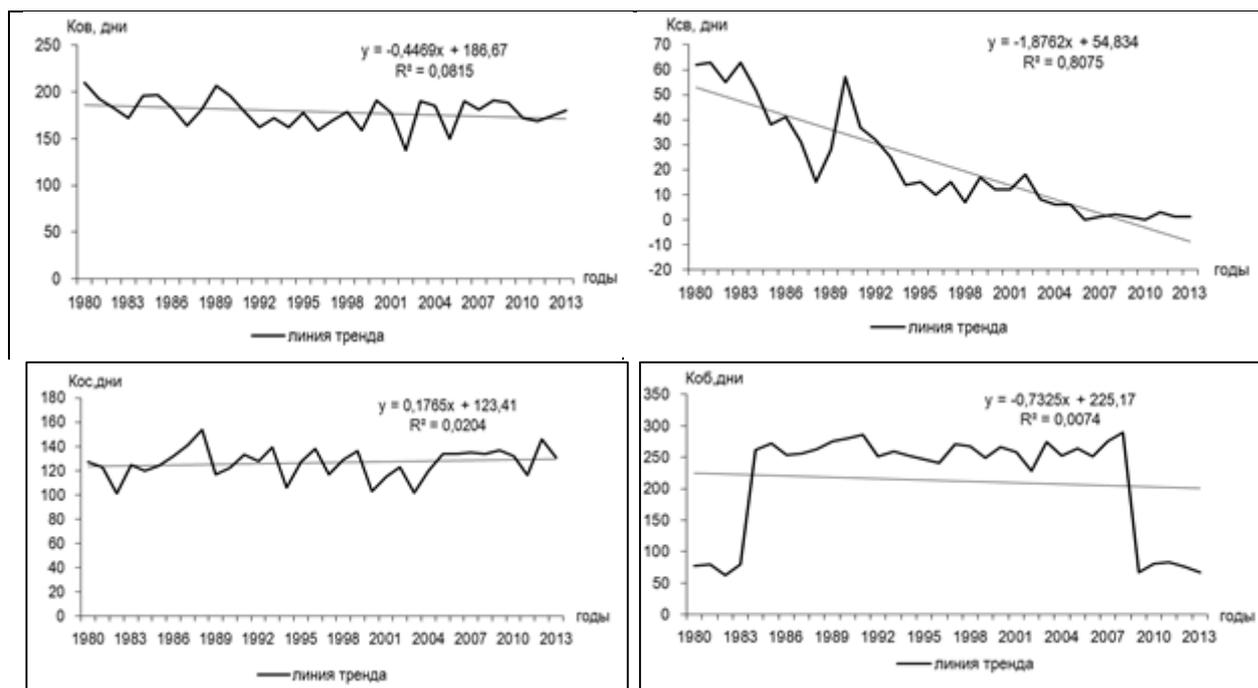


Рисунок 6. Количество дней со средней суточной: относительной влажностью воздуха $\geq 80\%$ ($K_{ов}$), скоростью ветра ≥ 5 м/с ($K_{св}$); осадками ≥ 1 мм ($K_{ос}$); облачностью ≥ 6 баллов ($K_{об}$) в Витебске за период 1980-2013 гг.

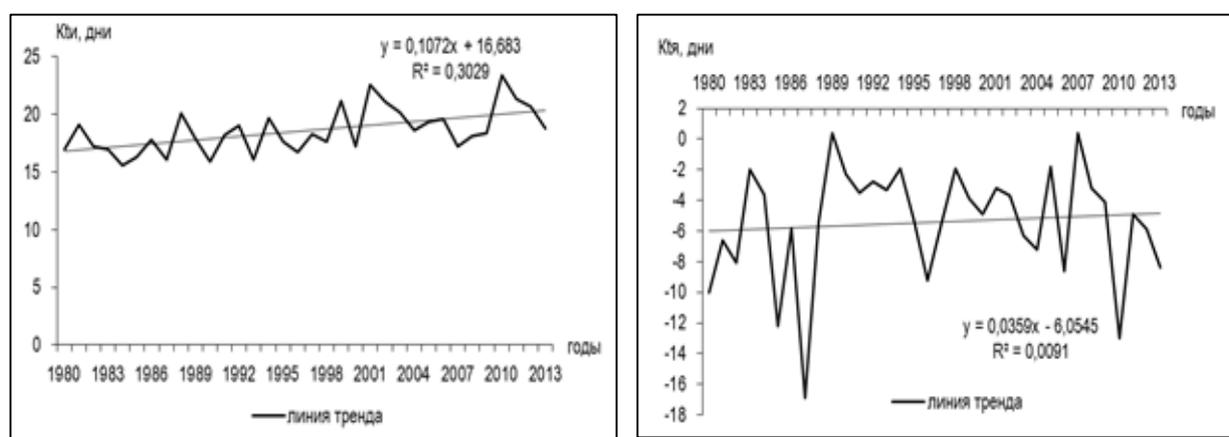


Рисунок 7. Средняя температура воздуха июля ($K_{ию}$) и января ($K_{ян}$) в Витебске за период 1980-2013 гг.

Выполненный анализ эколого-климатических показателей комфортности климата в Витебске позволяет заключить, что на протяжении исследуемого периода 1980-2013 гг. в Витебске отмечается устойчивая тенденция к повышению количества дней с нормально эквивалентно-эффективной температурой воздуха от 17 до 21°C; среднемесячной температуры воздуха в июле и январе; незначительное увеличение количества душных дней; продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений, повышение интегрального показателя комфортности климата. Тенденция к снижению характерна для: продолжительности периода с индексом холодового стресса по Хиллу $\geq 4,5$ Вт/м²·с; количества случаев с контрастными изменениями погоды; климатического потенциала самоочищения атмосферы; количества дней: с межсуточным изменением атмосферного давления ≥ 9

гПа/сут, относительной влажностью воздуха $\geq 80\%$, с температурой воздуха $\leq -10\text{ }^\circ\text{C}$, дискомфортными значениями облачности ≥ 6 баллов, со скоростью ветра ≥ 5 м/с, осадками ≥ 1 мм.

Комфортность климата в Витебске отличается умеренной межгодовой изменчивостью и характеризуется устойчивой тенденцией повышения уровня комфортности климатических условий для жизнедеятельности его населения, рисунок 8.

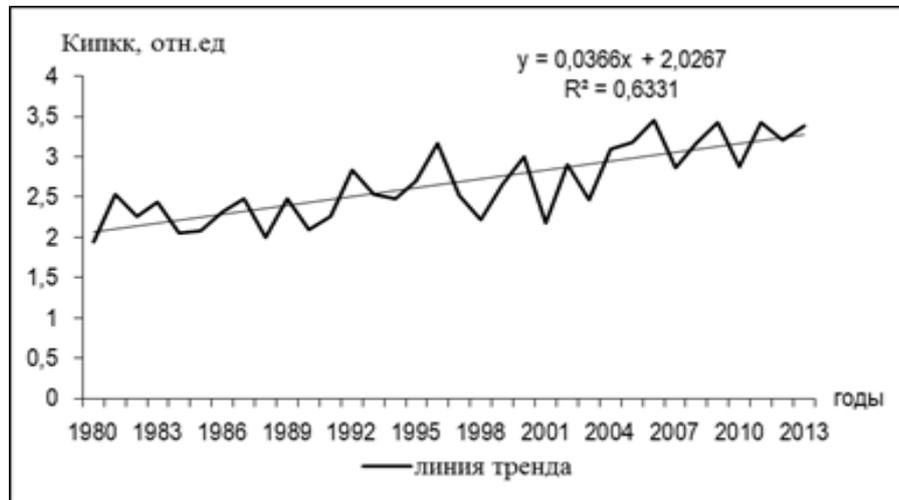


Рисунок 8. Интегральный показатель комфортности климата ($K_{ипкк}$) в Витебске за период 1980-2013 гг.

В Витебске в 1980-2013 гг. преобладали умеренно комфортные (45 %) и мало комфортные (36 %) климатические условия. Комфортные климатические условия наблюдались в 2006 и 2013 гг.

На основании результатов геоэкологической оценки комфортности климата Витебска был разработан прогнозный сценарий изменения эколого-климатических показателей, основанный на изучении его характеристик за 1980-2013 гг. При анализе исходной выборки рассматриваемых показателей выполнялась процедура проверки «выбросов», далее определялись уравнения регрессии их изменения, вычислялись среднеквадратичные отклонения, доверительные интервалы и рассчитывались прогнозные значения.

При определении уравнений регрессии изменения были выполнены расчеты для линейной и экспоненциальной регрессионной модели изменения эколого-климатических показателей города. Они показали, что в соответствии с физическими особенностями рассматриваемых характеристик, для $K_{нээт}$, $K_{дд}$, $K_{ип}$, $K_{ад}$, $K_{ов}$, $K_{св}$, $K_{ос}$, $K_{об}$, $K_{эжс}$, $K_{дш}$, $K_{дт}$, $K_{кпс}$, $K_{ти}$, $K_{мя}$, $K_{ипкк}$ предпочтительно использовать уравнение линейной регрессии, а для прогнозирования изменения $K_{хд}$ и $K_{дп}$ уравнение экспоненциальной регрессии.

Анализ прогнозных данных позволяет заключить, что в 2025 г., по сравнению со средними значениями за 1980-2013 гг., возможны следующие изменения эколого-климатических показателей в Витебске (таблица 2).

В соответствии с прогнозными данными в 2025 г. эколого-климатических показателей комфортности климата города Витебска ожидается существенное увеличение продолжительности периода с комфортными НЭЭТ, повышение средней месячной температуры воздуха в июле и январе и незначительный рост количества душных дней, значительное уменьшение числа холодных дней и сокращение продолжительности дискомфортного периода с индексом холодового стресса по Хиллу $\geq 4,5$ Вт/м²·с, незначительное увеличение дней с контрастными изменениями погоды и с межсуточным изменением атмосферного давления

≥ 9 гПа/сут, с относительной влажностью воздуха $\geq 80\%$, с осадками ≥ 1 мм, с облачностью ≥ 6 баллам, но значительное увеличение количества дней со средней скоростью ветра ≥ 5 м/с. А также следует отметить увеличение продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений и климатического потенциала самоочищения атмосферы.

В 2025 г. в Витебске предполагается создание умеренно комфортных климатических условий для жизнедеятельности населения (при $K_{ипкк} = 3,23$).

Таблица 2

Изменение эколого-климатических показателей в Витебске в соответствии с прогнозным сценарием на 2025 г.

Эколого-климатические показатели (ЭКП)	Временная функция*	Среднеквадратичное отклонение, σ	Доверительный интервал при $p (\alpha = 0,05)$	Средние значения за 1980-2013	Значения ЭКП в 2025
$K_{нээт}$ (дни)	$y = 0,5592x + 23,861$	9,48	$\pm 3,23$	33,6	43,8
$K_{дд}$ (дни)	$y = 0,1705x + 2,0749$	5,09	$\pm 1,74$	5,1	7,7
$K_{хд}$ (дни)	$y = 20,115e^{-0,005x}$	23,99	$\pm 8,18$	44,5	4
$K_{дп}$ (дни)	$y = 109,94e^{-0,062x}$	11,52	$\pm 3,93$	21,7	14
$K_{ип}$ (дни)	$y = -0,0414x + 158,4$	11,91	$\pm 4,06$	157,7	159,7
$K_{ад}$ (дни)	$y = -0,3914x + 52,909$	10,47	$\pm 3,57$	46,1	65,8
$K_{ов}$ (дни)	$y = -0,4469x + 186,67$	15,59	$\pm 5,31$	178,9	201,4
$K_{св}$ (дни)	$y = -1,8762x + 54,834$	20,79	$\pm 7,09$	22	116,7
$K_{ос}$ (дни)	$y = 0,1765x + 123,41$	12,3	$\pm 4,2$	126,5	129,2
$K_{об}$ (дни)	$y = -0,7325x + 225,17$	84,75	$\pm 28,9$	212,4	249,3
$K_{эжс}$ (дни)	$y = 0,2814x + 100,19$	10,92	$\pm 3,72$	105,1	109,5
$K_{дш}$ (дни)	$y = 0,2202x + 2,9412$	5,68	$\pm 1,94$	6,8	10,2
$K_{дт}$ (дни)	$y = -0,5146x + 50,652$	13,55	$\pm 4,62$	41,6	67,6
$K_{кпс}$ (дни)	$y = 0,0022x + 0,2791$	0,11	$\pm 0,04$	0,3	0,35
$K_{и}$ (дни)	$y = 0,1072x + 16,683$	1,94	$\pm 0,66$	18,6	20,2
$K_{гя}$ (дни)	$y = 0,0359x + 6,0545$	3,75	$\pm 1,28$	-5,4	-7,2
$K_{ипкк}$ (отн.ед)	$y = 0,0366x + 2,0267$	0,46	$\pm 0,16$	2,67	3,23

*Рассчитана по уравнению регрессии

Кроме того, на основании результатов геоэкологической оценки комфортности климата Витебска был разработан прогнозный сценарий изменения климатических показателей. При анализе исходной выборки рассматриваемых показателей выполнялась процедура проверки «выбросов», далее определялись уравнения регрессии их изменения, вычислялись среднеквадратичные отклонения, доверительные интервалы и рассчитывались прогнозные значения.

При определении уравнений регрессии изменения были выполнены расчеты для линейной регрессионной модели изменения климатических показателей города.

Анализ прогнозных данных позволяет заключить, что в 2025 г., по сравнению со средними значениями за 1980-2013 гг., возможны следующие изменения климатических показателей в Витебске (таблица 3).

Предложенный прогнозный сценарий изменения средних годовых климатических показателей в Витебске показал, что в 2025 году ожидается положительные изменения основных параметров, определяющих термический режим воздуха, таких как температура и относительная влажность воздуха, увеличение скорости ветра, а также количества осадков и незначительный рост атмосферного давления и облачности.

Таблица 3

Изменение средних годовых климатических показателей в Витебске в соответствии с прогнозным сценарием на 2025 г.

Ср. годовые климатические показатели КП	Временная функция*	Среднеквадратичное отклонение, σ	Доверительный интервал при $p (\alpha = 0,05)$	Средние значения за 1980-2013	Значения КП в 2025
t, °C	$y = 0,0564x + 5,2225$	0,98	0,33	6,2	7,1
f, %	$y = -0,0483x + 78,412$	1,45	0,49	77,6	80,1
v, м/с	$y = -0,0424x + 3,3102$	0,48	0,16	2,6	4,7
p, гПа	$y = -0,0357x + 994,77$	1,25	0,43	994,1	996,9
Ос, мм	$y = 4,9035x + 648,68$	103,7	35,38	734,5	810,5
Об, баллы	$y = -0,0139x + 6,4556$	1,76	0,60	6,2	6,9

*Рассчитана по уравнению регрессии

Заключение. Разработанная методика геоэкологической оценки комфортности климата городов позволяет выполнять исследования с группами разнокачественных ЭКП, рассматриваемых как факторы, влияющие на жизнедеятельность населения в городах. Теоретически обоснованы основные эколого-климатические показатели комфортности климата городов Беларуси. Разработана система их ранжирования и расчета с использованием современных ГИС-технологий. Методика геоэкологической оценки комфортности климата городов реализована в виде комплексной географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата (ГИС «ГОКК») и представляет собой субъект-объектную модель, построенную на принципах координации, субординации и поэтапного «сжатия» информации от оценки частных характеристик к интегральной оценке комфортности климата крупных городов Беларуси.

На основании разработанной методики геоэкологической оценки комфортности климата крупных городов Беларуси выполнен анализ основных климатических показателей и дана геоэкологическая оценка комфортности климата города Витебска. Изучение климатических характеристик выполнялось на основе среднесуточной метеорологической информации о температуре и относительной влажности воздуха, парциальном давлении водяного пара, скорости ветра, атмосферном давлении воздуха, атмосферных осадках, общей облачности, туманах по данным ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиационного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за период 1980-2013 гг.

Анализ эколого-климатических показателей комфортности климата в Витебске позволяет заключить, что на протяжении исследуемого периода 1980-2013 гг. в Витебске отмечается устойчивая тенденция к повышению количества дней с нормально эквивалентно-эффективной температурой воздуха от 17 до 21°C; среднемесячной температуры воздуха в июле и январе; незначительное увеличение количества душных дней; продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений, повышение интегрального показателя комфортности климата. Тенденция к снижению характерна для: продолжительности периода с индексом холодового стресса по Хиллу $\geq 4,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{с}$; количества случаев с контрастными изменениями погоды; климатического потенциала самоочищения атмосферы; количества дней: с межсуточным изменением атмосферного давления $\geq 9 \text{ гПа/сут}$, относительной влажностью воздуха $\geq 80 \%$, с температурой воздуха $\leq -10 \text{ }^\circ\text{C}$, дискомфортными значениями облачности ≥ 6 баллов, со скоростью ветра $\geq 5 \text{ м/с}$, осадками $\geq 1 \text{ мм}$. Комфортность климата в Витебске отличается умеренной межгодовой изменчивостью и характеризуется устойчивой тенденцией к повышению уровня комфортности климатических условий для жизнедеятельности его населения.

Согласно прогнозному сценарию в 2025 году в Витебске ожидаются положительные

изменения всех основных параметров, определяющих термический режим воздуха, таких как температура и относительная влажность воздуха, увеличение скорости ветра, а также количества осадков и незначительный рост атмосферного давления и облачности. В соответствии с прогнозными данными в 2025 г. эколого-климатических показателей комфортности климата города ожидается существенное увеличение продолжительности периода с комфортными НЭЭТ, повышение средней месячной температуры воздуха в июле и январе и незначительный рост количества душных дней, значительное уменьшение числа холодных дней и сокращение продолжительности дискомфорта периода с индексом холодового стресса по Хиллу $\geq 4,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{с}$, незначительное увеличение дней с контрастными изменениями погоды и с межсуточным изменением атмосферного давления $\geq 9 \text{ гПа/сут}$, с относительной влажностью воздуха $\geq 80 \%$, с осадками $\geq 1 \text{ мм}$, с облачностью ≥ 6 баллам, но значительное увеличение количества дней со средней скоростью ветра $\geq 5 \text{ м/с}$. А также следует отметить увеличение продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений и климатического потенциала самоочищения атмосферы. В 2025 г. в Витебске предполагается создание умеренно комфортных климатических условий для жизнедеятельности населения (при $K_{\text{ипкк}} = 3,23$).

Литература

- [1]. Витченко, А.Н. Геоэкологическая оценка комфортности климата крупных городов Беларуси / А.Н. Витченко, И.А. Телеш // Вестник БГУ. Сер.2, Химия, Биология, География. – 2011. - № 2. – С. 73-78.
- [2]. Телеш, И.А. Методика геоэкологической оценки комфортности климата городов / И.А. Телеш, А.Н. Витченко // Вестник БГУ. Сер.2, Химия, Биология, География. – 2007. – № 2. – С. 99-104.
- [3]. Айзенштадт Б. А. Тепловой баланс человека и его здоровье // Климат и здоровье человека. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – Т.1. С. 197-209.
- [4]. Бокша В.Г., Богущкий Б.В. Медицинская климатология и климатотерапия – Киев: Изд-во Здоровье, 1980. – 265 с.
- [5]. Бутьева И.В., Овчарова В.Ф. Роль комплекса погодообразующих факторов в медико-метеорологическом прогнозировании // Погодообразующие факторы и их роль в биоклиматологии. – М.: МФГО, 1980. – С. 73-81.

THE APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES IN GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CLIMATE COMFORT CITIES OF THE REPUBLIC OF BELARUS (ON THE EXAMPLE OF CITY OF VITEBSK)

I.A. TELESH

*Candidate of geographical Sciences,
associate Professor.*

Abstract. On the basis of the developed methods of geo-ecological assessment of the climate comfort of the cities and implemented a comprehensive geographic information system of geo-ecological assessment of climate comfort (GIS "GOKK") the analysis of the main climatic parameters and ecological and climatic indicators, geo-ecological assessment of the climate comfort of the city of Vitebsk. The scenario of possible change of climate comfort of the city for the period up to 2025 is developed.

Keywords: geographical information system, city, comfort, climate, vital activity, modelling, system analysis, person.