

# ИНТЕГРАЛЬНЫЕ БИОКЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КЛИМАТА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД 1970–2010 ГГ.

И.В. Латышева<sup>1</sup>, К.А. Лощенко<sup>1</sup>, В.Л. Потемкин<sup>2\*</sup>,  
Т.Г. Потемкина<sup>2</sup>, Н.В. Астафьева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

\* Эл. почта: aerosol@lin.irk.ru

Статья поступила в редакцию 01.07.2014; принята к печати 05.08.2014

Охарактеризованы наиболее употребительные интегральные биоклиматологические показатели. Их использование в ретроспективном анализе изменений климата на территории Иркутской области в 1970–2010 гг. по данным срочных наблюдений 10 метеорологических станций позволило выявить районы комфортных погодно-климатических условий для проживания человека и их пространственное распределение в различные сезоны года. В теплый период года (апрель–сентябрь) повсеместно наблюдаются «умеренно прохладные» условия. В холодный период (октябрь–март) на южном побережье оз. Байкал условия проживания оцениваются как «холодные»; на станциях Иркутск, Тайшет, Нижнеудинск и Жигалово – как «очень холодные»; на станциях Мамакан, Киренск, Ербогачен и Большое Голоустное существует «угроза обморожения». В последние десятилетия условия проживания становятся менее комфортными летом и более комфортными зимой. Однако в целом с учетом комплексного воздействия температурно-влажностных и ветровых характеристик на организм человека условия проживания в Иркутской области в настоящее время более благоприятны по сравнению с периодом 1970–1980 гг. Рассчитаны индексы контрастности по температуре воздуха и атмосферным осадкам, которые показали, что на исследуемых станциях наиболее контрастные условия по температуре воздуха отмечаются в январе, а изменения сумм осадков наиболее выражены в июле и в октябре. По синоптическим условиям наиболее резкие изменения температуры воздуха в течение суток в г. Иркутске в январе связаны с перестройкой барического поля на высотах, в остальные сезоны – с прохождением холодного фронта у поверхности Земли и оси циклона на высотах. Выпадение значительных сумм атмосферных осадков после их длительного отсутствия в апреле и июле связано с частой сменой холодных и теплых фронтов, в январе – с влиянием на высотах фронтальной зоны и струйного течения, в октябре – с прохождением на высотах центра холодного циклонического вихря.

**Ключевые слова:** биоклиматология, температура, осадки, Иркутская область.

## INTEGRAL BIOCLIMATOLOGIC PARAMETERS AND THEIR USE FOR CLIMATE RESEARCH IN IRKUTSK OBLAST IN 1970–2010

I.V. Latysheva<sup>1</sup>, K.A. Loschenko<sup>1</sup>, V.L. Potemkin<sup>2\*</sup>, T.G. Potemkina<sup>2</sup>, N.V. Astaf'yeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk University and <sup>2</sup> Limnology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

E-mail: aerosol@lin.irk.ru

Commonly employed bioclimatologic parameters are reviewed. Based on their use in a retrospective analysis of climate changes in Irkutsk Oblast in 1970–2010 according to data obtained at 10 meteorological stations, the most comfortable areas for humans dwelling and their spatial distribution in different seasons were determined. During the warm season (April through September) “moderately cool” conditions are prevalent over the entire area studied. During the cold season (October through March) dwelling conditions are rated as “cold” along the southern coast of the lake Baykal, as “very cold” at the stations Irkutsk, Taishet, Nizhneudinsk, and Zhigalovo, and as “frostbiting” at the stations Mamakan, Kirensk, Yebogachen, and Bolshoye Goloust'ye. Over the last decades, dwelling conditions are becoming less comfortable in summer and more comfortable in winter. On the whole, based on the integral impact of temperature, humidity, and wind, dwelling conditions for humans in Irkutsk Oblast are now more comfortable than they used to be in 1970–1980. Indices of contrast were calculated for air temperature and atmospheric precipitations. The calculations suggest that the most contrast conditions with regard to temperature are experienced in January, and with regard to total precipitates, in July and October. By synoptic observations, the most drastic changes in air temperature over 24 h in Irkutsk in January are associated with transformations of the baric field at high altitudes, and in other seasons, with cold front passage at the ground surface and with cyclonic axis passage at high altitudes. Significant increases in precipitations after periods of their prolonged scarcity in April and July are associated with frequent alternations of cold and warm fronts, whereas in January, with impacts of frontal zones at high altitudes and of jet streams, and in October, with the passage of the center of cold cyclonic vortex.

**Keywords:** bioclimatology, temperature, precipitates, Irkutsk Oblast.

### Введение: обзор основных биоклиматологических показателей

Одной из важнейших задач биоклиматологии является оценка влияния погодных и климатических факторов на здоровье и самочувствие человека для планирования и развития курортологии, освоения новых туристических маршрутов и других направ-

лений рекреационной деятельности. Особый интерес представляют количественные оценки биоклиматических показателей, которые включают расчет комплекса метеорологических параметров.

Воздействие погодных факторов на здоровье человека описывал еще Гиппократ в IV в. до н. э. Первые статистические показатели по влиянию метеороло-

гических факторов на здоровье человека были получены Лейбницем (1646–1716), Гердером (1744–1803) и Гете (1749–1832) [1].

Влияние климата на здоровье человека подразделяют на прямое, сигнальное и косвенное. Прямое влияние определяет зависимость теплообмена человека и связанных с ним заболеваний от погодного режима (простудные заболевания, перегрев). Сигнальное влияние климата проявляется в реакции метеочувствительных больных на резкие изменения погодных условий. Косвенное влияние определяется санитарно-гигиеническими и геохимическими условиями окружающей среды.

В основе метода оценки теплового состояния человека лежит уравнение теплового баланса, в которое входят метеорологические, радиационные и физиологические параметры с учетом теплозащитных свойств одежды [7]. Однако В.И. Русанов высказывает совершенно противоположное мнение, считая, что это уравнение «не применимо для оценки теплового, а следовательно, и радиационного баланса состояния человека при отрицательной температуре воздуха» [21]. Е.Н. Романова считает, что указанный метод целесообразно использовать при биоклиматической оценке жаркого климата с низкой влажностью воздуха, но он не пригоден для районов с умеренным и холодным климатом [15]. Таким образом, единого мнения о репрезентативности метода, к сожалению, нет.

Поэтому для оценки теплоощущений вводится понятие зоны теплового комфорта человеческого организма, определяемой совокупностью метеорологических условий, в которых человек получает субъективно хорошее теплоощущение, сохраняя нормальную температуру тела [20]. Зона комфорта зависит от ощущений индивидуума и от климата территории проживания; в более холодном климате при нормальной акклиматизации коренного населения зона комфорта имеет расширенные границы в нижней части шкалы. Л.А. Чубуков предлагал считать для территории бывшего СССР комфортным диапазон «нормальной эквивалентно-эффективной температуры» (НЭЭТ) в пределах от 16 до 23 °С. По мнению этого автора, более высокие температуры предъявляют резко повышенные требования к механизмам терморегуляции, особенно больных людей, что не соответствует понятию «комфортность». Сходные диапазоны температур предложили для оценки комфортности теплоощущения И.В. Бутьева, Н.М. Воронин, Т.Г. Швейнова, А.А. Исаев – в пределах 17–22 °С, а также Е.Г. Головина и В.И. Русанов – в пределах 17–21 °С [21].

Для оценки теплового состояния человека используются также классификации типов погоды, учитывающие комплексное воздействие на человека температуры, относительной влажности воздуха, скорости ветра и солнечной радиации [21]. При этом вводятся понятия погоды момента, характеризующейся комплексом метеорологических условий в данный момент времени, и погоды суток, дающей общее представление о погодных условиях в целом за каждые сутки. Таким образом, вместо средних месячных значений отдельных метеорологических величин рассматривается повторяемость определенных типов погоды. Для всех классов погоды приводится медицинская интерпретация, в соответствии с которой дается качественная оценка условий климатотера-

пии. Метод может использоваться для биоклиматической характеристики отдельных регионов. Основным недостатком метода классификации погоды суток является то, что для оценки влияния климата на тепловое состояние организма человека здесь используются средние суточные данные, в то время как на человека действуют не средние условия погоды за сутки, а конкретные метеорологические условия в определенное время [21].

При оценке возможного влияния погоды на человека в холодный период обязательно учитывается охлаждающее действие на организм движения воздуха [10]. Увеличение скорости ветра на 1 м/с условно приравнивается к понижению температуры окружающей среды на 2 °С [2].

В настоящее время одним из основных способов оценки влияния климатических и погодных факторов на организм человека является расчет различных биоклиматических индексов. В качестве критериев чаще всего используют следующие эмпирические показатели: эффективная температура (ЭТ), эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), нормальная эквивалентно-эффективная температура (НЭЭТ), радиационная эквивалентно-эффективная температура (РЭЭТ). Они рассчитываются с учетом комплексного воздействия на человека температуры, относительной влажности и скорости ветра [6]. Связано это с тем, что одна и та же эффективная температура может наблюдаться при различных комбинациях рассматриваемых метеорологических показателей.

Эффективная температура неподвижного воздуха (ЭТ) рассчитывается по эмпирической формуле:

$$ЭТ = t - 0,4(t - 10) \left( 1 - \frac{f}{100} \right), \quad (1)$$

где:  $f$  – относительная влажность воздуха (%);  $t$  – температура воздуха в градусах Цельсия (°С).

Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) – показатель тепловой чувствительности с учетом влияния ветра:

$$ЭЭТ = t(0,7 + 0,3B) - 0,385A^{0,59}C + (5,49A - 0,15At - 0,08t + 1,26)(1 - B). \quad (2)$$

$$\text{Здесь } A = \frac{v}{v_1}, \quad B = \frac{f}{100}, \quad C = 35,98 - t + 0,622A,$$

$v$  – скорость ветра (м/с),  $v_1 = 1$  м/с.

ЭЭТ – мера теплового ощущения находящегося в покое человека. Характеризуется как показатель, отражающий комплексное воздействие на человека температуры, влажности воздуха и скорости движения воздуха. При 100% влажности и отсутствии ветра ЭЭТ совпадает с температурой воздуха.

В зависимости от величин ЭЭТ выделяют зону охлаждения (1–17 °С), комфорта (17,1–21,0 °С) и нагревания ( $\geq 21,1$  °С). Условия зоны комфорта не предъявляют повышенных требований к термоадаптационным механизмам. Чем больше условия внешней среды отличаются от комфортных условий, тем более выражено их раздражающее действие и тем ограниченнее круг больных, которым можно назначать климатолечебные процедуры. Для расширения показаний к применению климатотерапии в этих условиях необходимы корректирующие устройства, снижающие неблагоприятное влияние ветра, низкой или высокой температуры.

Эквивалентно-эффективная температура в теплый период имеет показатели:

$0 \leq \text{ЭЭТ} \leq 6,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (умеренно прохладно);

$6,0 < \text{ЭЭТ} \leq 12,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (прохладно);

$12,0 < \text{ЭЭТ} \leq 18,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (комфорт, умеренно тепло).

Эквивалентно-эффективная температура в холодный период имеет показатели:

$\text{ЭЭТ} < -24,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (угроза обморожения);

$-24,0 \leq \text{ЭЭТ} < -18,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (очень холодно);

$-18,0 \leq \text{ЭЭТ} < -12,0$  (холодно).

С целью аналитической оценки теплоощущения одетого человека (летняя одежда одного типа) была предложена нормальная эквивалентно-эффективная температура (НЭЭТ), учитывающая влияние температуры, влажности воздуха и скорости ветра:

$$\text{НЭЭТ} = 0,8\text{ЭЭТ} + 7 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Физический смысл этого биоклиматического показателя состоит в том, что каждую конкретную комбинацию трех указанных элементов климата выражают той температурой (НЭЭТ), которая дает такое же (эквивалентное) теплоощущение (тот же тепловой эффект) в неподвижном воздухе [3]. Комфортным признан диапазон НЭЭТ от 17,0 до 22,0  $^\circ\text{C}$ .

Попытка объединить влияние движения воздуха и температуры в едином показателе была сделана в виде ветро-холодового индекса. Предложены и другие системы учета совместного действия ветра и низкой температуры, например, шкала «жесткости погоды» по Бодману [24]. «Индекс суровости» погоды определяется по температуре воздуха и скорости ветра по формуле:

$$S = (1 + 0,04 \frac{t}{t_1})(1 + 0,27A), \quad (4)$$

где  $t_1 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Жесткость погоды в этом случае характеризуется по восприятию ее человеком. Этот метод является наиболее популярным при оценке суровости погоды холодного сезона в практике курортологии и градостроительства. Используется следующая шкала баллов «жесткости погоды»: при  $S < 1$  – «зима несуровая»,  $1 < S \leq 2$  – «мало суровая»,  $2 < S \leq 3$  – «умеренно суровая»,  $3 < S < 5$  – «суровая»,  $5 \leq S < 6$  – «жестко суровая»,  $S > 6$  – «крайне суровая».

Многие исследователи указывают на различные недостатки биоклиматических индексов. Тем не менее, они используются в качестве суммарной оценки метеорологического состояния внешней среды для биоклиматической характеристики отдельных регионов. Их можно использовать в любых климатических зонах, что обеспечивает сопоставимость результатов исследований.

Согласно современным представлениям, в общем комплексном воздействии климата на организм человека существенная роль принадлежит изменчивости погоды [12]. Для организма человека опасны не вообще колебания погоды, к особенностям которой человек хорошо приспособился, а колебания резкие, нетипичные для данных климатических условий. Они вызывают сдвиги в функциональных системах организма и даже те или иные заболевания. Этот фактор выделяют как самостоятельный, оказывающий интенсивное воздействие на физиологические функции организма [23].

Среди метеорологических величин наиболее существенное и негативное влияние на организм человека оказывают перепады атмосферного давления. Значительные изменения давления связаны, как правило, с прохождением динамически значимых в поле температур холодных и теплых атмосферных фронтов. Резкое изменение атмосферного давления может спровоцировать гипертонический криз, обострение ишемической болезни сердца, заболеваний органов дыхания.

Патологические состояния человека, вызываемые изменениями ветрового режима, называют анемопатиями [4]. Наиболее опасным считается воздействие сильного ветра в сочетании с низкими и высокими температурами воздуха. Например, сильный ветер в сочетании с низкими температурами может привести к переохлаждению организма.

В зависимости от величины относительной влажности воздуха выделяются следующие типы погоды: очень сухая (0–29%), сухая (30–59%), умеренно-сухая (60–79%) и влажная (80–100%). Наиболее благоприятные условия создаются для человека при относительной влажности воздуха, близкой к 50%, и температуре воздуха в пределах 20–22  $^\circ\text{C}$  («метеорологическая зона комфорта»).

Для характеристики изменчивости погоды предложен ряд комплексных метеорологических индексов: отношение числа дней без фронтов к числу дней с фронтами, отношение числа дней с фронтами к общему числу дней в изучаемом периоде и т. д. [21]. Однако применение данных показателей ограничено, поскольку при исследовании влияния фронтов, например, не учитывалась их активность, нет разделения на теплые и холодные фронты, хотя они действуют на организм человека по-разному.

Е.М. Байбаковой разработан индекс повторяемости контрастных смен погоды, который определяется как отношение числа контрастных смен погоды к общему числу дней в изучаемый период и выражается в процентах. Появление патологических реакций у больных связывается со сменой облачной погоды на солнечную и наоборот, то есть основным фактором, оказывающим влияние на организм, считается освещенность. Однако с последним положением не все ученые согласны. В частности, у больных наибольшее проявление патологических реакций приходится на дни пониженного барометрического давления при одновременном повышении относительной влажности, а освещенность не является фактором, определяющим воздействие погоды на организм человека [11].

В.И. Русановым [21] был предложен индекс изменчивости погоды (ИИП), который учитывает контрастную смену погоды, определяемую величиной межсуточного изменения температуры воздуха, сменной облачности и дней с осадками. ИИП отражает циркуляционные процессы, обуславливающие изменение погоды в целом, и наиболее часто из известных показателей коррелирует с частотой патологических реакций, наблюдаемых у метеочувствительных людей. Различаются погоды очень устойчивые, устойчивые, изменчивые и сильно изменчивые. Частота резких колебаний артериального кровяного давления у больных гипертонической болезнью может увеличиться в 2–3 раза в зависимости от типа изменчивости погоды. Полученные количественные выводы согласуются с качественными заключениями ученых

о влиянии изменчивости погоды на больного человека [21]. Показатель изменчивости погоды чаще всего рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{M_k}{N} 100\%,$$

где:  $M_k$  – число контрастных смен периодов с однотипной погодой;  $N$  – число дней в рассматриваемом периоде. За 100%-ную изменчивость погоды принимается ежедневная смена погодного режима.

Контрастной сменой периодов для любого месяца считается:

- смена периодов с ясной или облачной погодой на погоду с осадками  $\geq 1$  мм за сутки (внутри периода могут быть дни с осадками меньше 1 мм);

- смена периодов с ясной или облачной погодой соответственно на облачную или ясную погоду при изменении средней суточной температуры воздуха на  $2^\circ\text{C}$ ;

- смена периода с любой погодой при межсуточной изменчивости температуры воздуха более чем на  $6^\circ\text{C}$ .

В зависимости от величины индекса выделяют следующие типы изменчивости погоды: очень устойчивая погода ( $0 \leq K \leq 20\%$ ); устойчивая ( $21 \leq K \leq 35\%$ ); изменчивая ( $36 \leq K \leq 49\%$ ); сильно изменчивая ( $K \geq 50\%$ ).

Различные аспекты решения проблем биометеорологии подробно рассмотрены в работах [3, 7, 8, 16–19, 25–30]. Одна из главных проблем – анализ влияния возможных изменений климата на жизнедеятельность и здоровье населения. Мнения ученых о масштабах и направленности климатических изменений расходятся, но преобладают свидетельства в пользу глобального потепления. По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, средняя годовая температура воздуха у поверхности земли за столетие выросла в среднем на  $0,3\text{--}0,6^\circ\text{C}$ . В то же время изменение климата очень неоднородно в пространстве. Например, в центральных областях Тихого океана и в некоторых районах Атлантики в последнее десятилетие наблюдается снижение температурного фона, а в центральных частях континентов, наоборот, – сильное потепление.

Основные тенденции на территории России соответствуют общемировым: до 1940-х гг. наблюдался рост средней температуры, затем относительное похолодание до начала 1970-х и быстрый подъем в конце века. Для восточных районов России надежные данные имеются только для времени с начала 1930-х гг. Последние десятилетия – как для всей территории России, так и для восточных регионов – характеризуются положительным трендом, превышающим  $0,3\text{--}0,5^\circ\text{C}/10$  лет. В течение последних 10 лет здесь наблюдались значительные положительные температурные аномалии. Потепление более заметно в весеннее и зимнее время [14, 22].

Наряду с ростом температурного фона происходят изменения в суммах осадков. С начала XX века до середины 1950-х гг. на земном шаре наблюдался рост количества атмосферных осадков, впоследствии – их убывание. Несмотря на прогноз мировых тенденций, в целом для территории России за период 1936–1999 гг. характерен нулевой тренд со слабым убыванием осадков после 1960 г. [4, 13].

## Биоклиматологические исследования в Иркутской области

Цель работы состояла в выявлении зон комфортных погодно-климатических условий и их пространственного распределения в различные сезоны года на выбранной территории. Также была поставлена задача выделить синоптические процессы, при которых биоклиматические индексы экстремальны.

Для исследования были выбраны 10 метеорологических станций, расположенных в разных физико-географических районах Иркутской области. Их расположение отмечено на рис. 1 красным цветом. Дадим краткое описание исследуемых станций.

Метеостанция Иркутск расположена в юго-восточной части Иркутско-Черемховской плосковершинной равнины, окруженной с юга, юго-запада и юго-востока ступенчатыми окраинными поднятиями Восточного Саяна и байкальских хребтов. Долина р. Ангары в районе города имеет направление с юго-востока на северо-запад.

Метеостанция Байкальск расположена на южном побережье оз. Байкал в 1 км к востоку от устья р. Солзан.

Метеостанция Усть-Орда расположена на стыке Иркутско-Черемховской равнины, Лено-Ангарского плато и Предбайкальской впадины, на правом берегу р. Куды, правого притока Ангары, в 75 км к северо-востоку от г. Иркутск. Окружающая местность представляет собой всхолмленную равнину с плоскими междуречьями, слаборасчлененную несколькими долинами.

Метеостанция Нижнеудинск расположена на левом берегу в среднем течении р. Уды (левого притока р. Ангары), протекающей по местности, переходной от Передового хребта Восточного Саяна к холмистой поверхности Ангарского кряжа.

Метеостанция Тайшет расположена в среднем течении р. Бирюса, левого притока р. Ангары, на холмистой равнине, которая, понижаясь к северо-западу, переходит в Канско-Рыбинскую равнину. К югу местность постепенно повышается, переходя в отроги Передового хребта Восточного Саяна. Рельеф представляет собой чередование больших по площади, но невысоких холмов с понижениями, к которым приурочены долины небольших ручьев и речек, дно долины, как правило, заболочено. Вершины холмов превышают дно долины на  $80\text{--}100$  м.

Метеостанция Мамакан расположена в долине р. Витим в 17 км от г. Бодайбо ниже по течению, вблизи устья левого притока Витима р. Мамакан. Этот район лежит на границе между Патомским нагорьем, расположенным к северо-востоку, и Северо-Байкальским нагорьем, лежащим к юго-западу.

Метеостанция Киренск расположена в центральной части Средне-Сибирского плоскогорья в долине реки Лены в  $2,5$  км выше г. Киренска на низменном правом берегу. На расстоянии  $2$  км к востоку от станции в р. Лену впадает р. Киренга (наиболее крупный правый приток). Река Лена в районе станции прорезает Приленское плато. Абсолютные высоты местности составляют  $400\text{--}600$  м.

Метеостанция Жигалово расположена в верхнем течении р. Лены, в центральной части Лено-Ангарского плато, на левом берегу реки. Рельеф местности – крупнохолмистый.

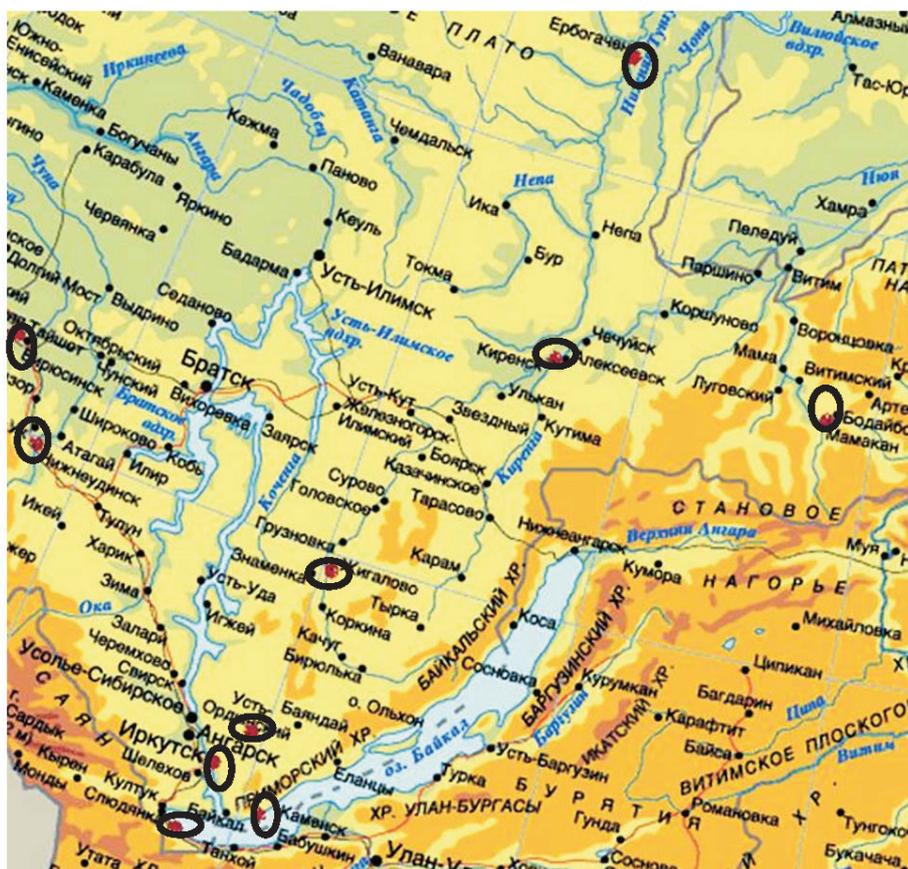


Рис. 1. Места расположения станций (обозначены черными овалами)

Метеостанция Ербогачен расположена в центральной части Средне-Сибирского плоскогорья, на возвышенной Ербогаченской равнине, на правом берегу р. Нижняя Тунгуска. Рельеф местности – равнинно-увалистый, слаборасчлененный. Водоразделы имеют вид увалов и невысоких холмов. Абсолютные высоты составляют 400–450 м, относительные – 100–120 м.

Для оценки степени комфортности проживания на территории Иркутской области были рассчитаны биоклиматические показатели в различные на территории Северного полушария циркуляционные периоды: 1970–1980 гг. («увеличение повторяемости зональных процессов»), 1981–1998 гг. («увеличение повторяемости меридиональных южных процессов») и 1999–2012 гг. («уменьшение повторяемости меридиональных южных и увеличение повторяемости меридиональных северных процессов»).

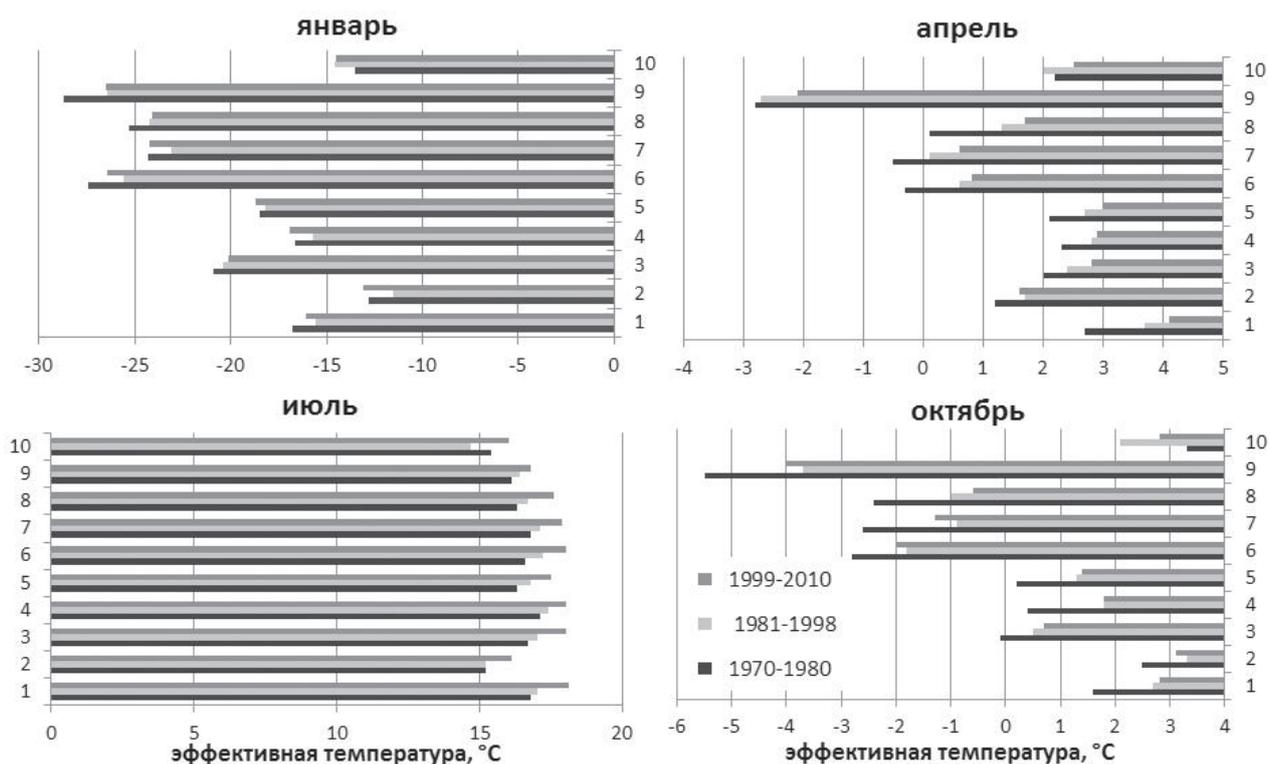
Первоначально рассчитывались средние месячные значения эффективной температуры (ЭТ), которые определялись по формуле (1) за многолетний период (1970–2012 гг.) для центральных месяцев календарных сезонов года (рис. 2). Оказалось, что в январе наиболее низкие средние значения ЭТ отмечались на ст. Ербогачен и Мамакан (–27 °С), а самые высокие значения были получены на станциях, расположенных на побережье оз. Байкал: ст. Байкальск (–13 °С) и Большое Голоустное (–14 °С). В многолетней динамике наиболее низкие ЭТ отмечались в 1970–1980 гг. на фоне увеличения повторяемости зональных процессов, а наиболее высокие значения – в 1981–1998 гг. – в период увеличения повторяемости меридиональных южных процессов. Следует отметить, что в последние годы (1999–2012 гг.), когда на территории

Северного полушария происходит уменьшение повторяемости меридиональных южных и увеличение повторяемости меридиональных северных процессов, средние значения ЭТ в январе повсеместно понижаются и приближаются к условиям 1970–1980 гг.

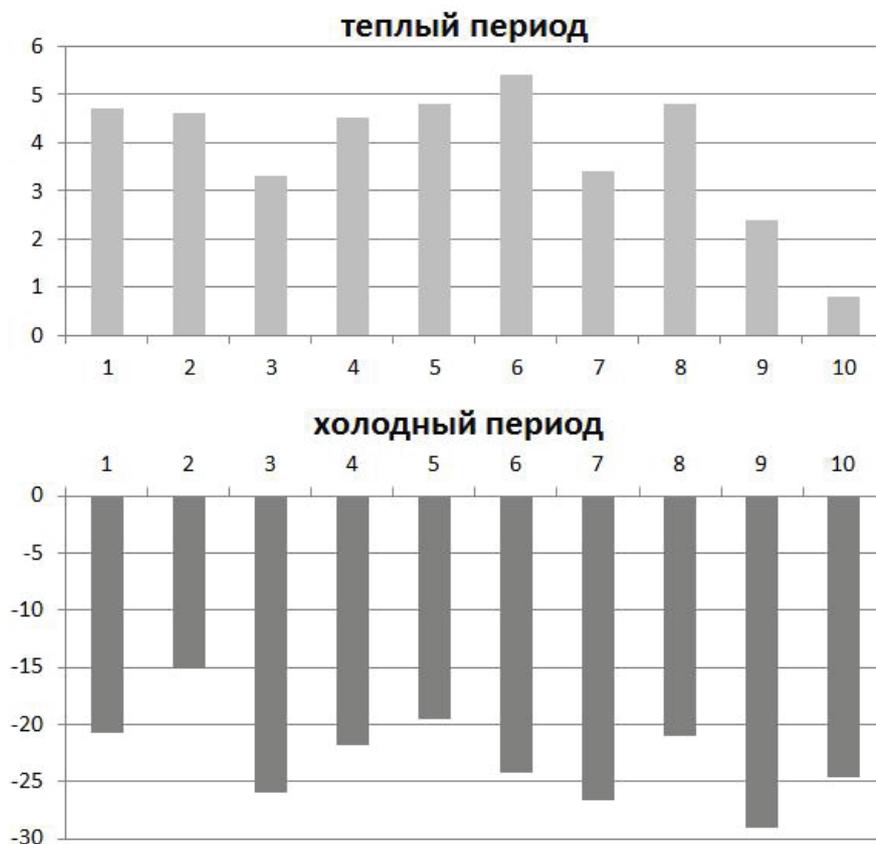
В апреле средние многолетние значения ЭТ изменялись от отрицательных (–4 °С) на северной станции Ербогачён до положительных (4 °С) на южной станции Иркутск. В многолетней динамике наиболее низкие средние значения ЭТ на всех исследуемых станциях отмечаются в 1970–1980 гг., а наиболее высокие температуры – в последние годы (1999–2012 гг.), причем на ст. Мамакан и Киренск они сменились на положительные значения.

В июле средние многолетние значения ЭТ за период 1970–2012 гг. изменялись от 15,3 °С на ст. Большое Голоустное до 17,5 °С на ст. Тайшет. В целом разброс ЭТ в летние месяцы по территории Иркутской области не превышает 3 °С. Установлено, что самые высокие средние значения ЭТ в июле отмечаются повсеместно в последние годы (1999–2012 гг.), а самые низкие средние значения были зарегистрированы в 1970–1980 гг.

В октябре средние многолетние значения ЭТ изменялись от отрицательных (–4 °С) на северной станции Ербогачён до положительных (3 °С) на байкальских станциях Байкальск и Большое Голоустное. На всех станциях, кроме ст. Большое Голоустное, наиболее низкие средние значения ЭТ в октябре отмечались в 1970–1980 гг. Наиболее высокие значения ЭТ на всех станциях, кроме станций Байкальск и Ербогачен, были зарегистрированы в последние годы (1999–2012 гг.), на станциях Байкальск и Ербогачён – в период 1981–1998 гг.



**Рис. 2.** Средние многолетние значения эффективной температуры в центральные месяцы календарных сезонов года по данным 10 метеорологических станций за период 1970–2012 гг. Список станций: 1 – Иркутск, 2 – Байкальск, 3 – Усть-Орда, 4 – Тайшет, 5 – Нижнеудинск, 6 – Мамакан, 7 – Киренск, 8 – Жигалово, 9 – Ербогачён, 10 – Большое Голоустное



**Рис. 3.** Средние многолетние значения эквивалентно-эффективной температуры в теплый (IX–IV) и в холодный (V–III) периоды года. Список станций приведён в подписи к рис. 2

Таким образом, в многолетней динамике наиболее низкие ЭТ отмечались во все центральные месяцы календарных сезонов года в период 1970–1980 гг. (увеличение повторяемости зональных процессов). Самые высокие средние значения ЭТ отмечались на всех станциях зимой и примерно на 50% станций осенью в период 1981–1998 гг.; весной, летом и примерно на 50% станций осенью – в последние годы (1999–2012 гг.). Следовательно, в последние годы отмечается тенденция повышения средних значений эффективных температур на территории Иркутской области, что указывает на улучшение условий комфортности проживания человека.

Для оценки степени комфортности проживания человека по формуле (2) рассчитывалась эквивалентно-эффективная температура, которая отражает совместное влияние на организм человека температуры, относительной влажности и скорости ветра. Усреднение проводилось отдельно для теплого (апрель–сентябрь) и холодного (октябрь–март) периодов.

В теплый период года средние значения ЭЭТ изменялись от 0,8 °С на ст. Б. Голоустное до 5,4 °С на ст. Мамакан (рис. 3), что оценивается как «умеренно прохладно». В холодный период года средние многолетние значения ЭЭТ изменялись от –15,1 °С на ст. Байкальск, что оценивается по состоянию человека как «холодно», до –29,0 °С, что оценивается как «угроза обморожения». В г. Иркутск в теплый период года средние значения ЭЭТ равны 4,7 °С («умеренно прохладно»), в холодный период года они составляют –20,7 °С («очень холодно»).

Таким образом, совместный учет комплексного воздействия температуры, влажности воздуха и скорости ветра на человека показал, что на территории Иркутской области в теплый период года повсеместно наблюдаются «умеренно прохладные» условия. Поэтому с учетом величин ЭЭТ в теплый период года (апрель–сентябрь) территория Иркутской области входит в зону охлаждения (1–17 °С). В холодный период года только на южном побережье оз. Байкал условия проживания оцениваются как «холодные», на ст. Иркутск, Тайшет, Нижнеудинск и Жигалово –

как «очень холодные», а на ст. Мамакан, Киренск, Ербогачен и Большое Голоустное существует «угроза обморожения».

Для оценки комфортности проживания в летние месяцы используется биологически активная температура (БАТ). В отличие от эквивалентно-эффективной она учитывает влияние не только температуры, влажности и ветра, но и солнечной радиации. Оказалось, что во все летние месяцы комфортные условия (10–20 °С) наблюдаются только на ст. Большое Голоустное, в июне – на ст. Байкальск, а в июне и в августе – на ст. Усть-Ордынский и Ербогачен. Необходимо отметить, что в течение лета наиболее комфортные условия отмечаются в июне, а наименее комфортные – в июле. Это можно объяснить тем, что в июле на фоне высоких температур на территории Иркутской области за счет частого выхода циклонов и выпадения атмосферных осадков значительно повышена относительная влажность воздуха, что неблагоприятно сказывается на самочувствии человека. В последние десятилетия средние значения биологически активных температур в летние месяцы растут, то есть условия проживания на территории Иркутской области летом становятся менее комфортными. Например, в июне в г. Иркутск условия проживания по значению БАТ из категории «комфортные» перешли в категорию «некомфортные».

Для оценки условий проживания в зимние месяцы по формуле 5 рассчитывался индекс Бодмана. По средним многолетним значениям за 1970–2012 гг. индекс суровости зим изменялся от 2,0 в декабре на ст. Байкальск, что оценивается как «малосуровая зима», до 3,8 в декабре на ст. Большое Голоустное, что оценивается как «суровая зима». В целом, согласно рис. 4, зимы последнего десятилетия на всех станциях, кроме ст. Большое Голоустное, относятся к категории «умеренно суровые». На ст. Большое Голоустное за счет более сильного ветра зимы относятся к категории «суровые». В многолетней динамике средние значения индекса суровости зим уменьшились, но на большинстве станций незначительно. Существенные изменения произошли лишь на ст. Усть-

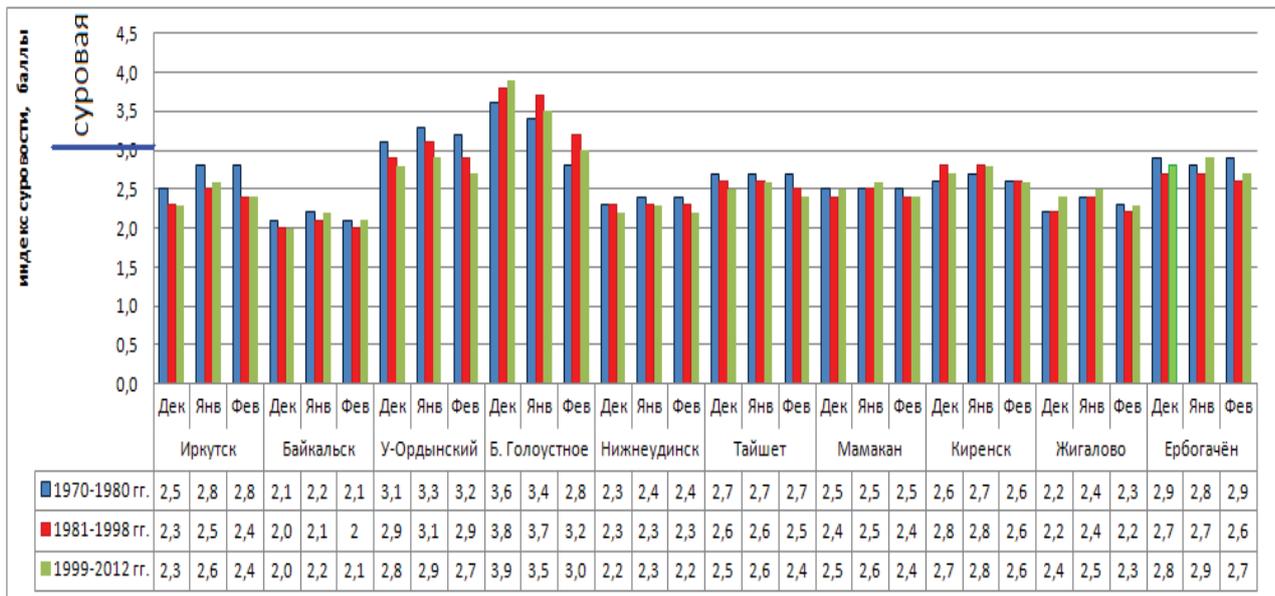


Рис. 4. Средние многолетние значения индекса суровости зим

Ордынский, где зимы из категории «суровые» перешли в категорию «умеренно суровые». На ст. Большое Голоустное, наоборот, суровость зим возросла.

Для оценки возможного влияния погодных условий на самочувствие человека по формуле (4) рассчитывались индексы контрастности по температуре воздуха и атмосферным осадкам. При расчете индекса контрастности по температуре по данным за каждый срок наблюдений рассчитывалась повторяемость периодов с любой погодой при межсуточной изменчивости температуры воздуха  $\geq 6$  °С. При расчете индекса контрастности по атмосферным осадкам рассчитывалась повторяемость смены периодов с ясной или облачной погодой на погоду с осадками  $\geq 1$  мм за сутки.

В табл. 1 приведены средние многолетние значения индексов контрастности по температуре воздуха для центральных месяцев календарных сезонов года. Отчетливо видно, что наиболее часто перепады температур  $\geq 6$  °С отмечаются в январе. Минимальная повторяемость резких перепадов температур в течение суток отмечается в июле. Повторяемость перепадов весной и осенью примерно одинакова по вкладу.

Табл. 1

**Средние многолетние значения индекса контрастности по температуре воздуха по данным 10 метеорологических станций за период 1970–2012 гг., в %**

Станции	Индекс контрастности, в %			
	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Ербогачён	51	24	8	27
Мамакан	38	18	3	19
Киренск	54	20	3	23
Тайшет	45	19	3	20
Нижеудинск	44	17	2	15
Жигалово	35	10	2	13
Усть-Орда	29	9	3	10
Иркутск	23	10	3	11
Б. Голоустное	19	7	1	7
Байкальск	13	10	2	5

С учетом пространственного расположения станций в январе наибольшие значения индекса контрастности по температуре воздуха отмечаются на ст. Киренск (54%) и Ербогачен (51%), то есть на севере и северо-востоке Иркутской области. Далее по вкладу следуют ст. Тайшет (45%) и Нижнеудинск (44%), которые расположены в западном районе Иркутской области. Наименьшая изменчивость температур в январе отмечалась на байкальских станциях: Байкальск (13%) и Большое Голоустное (19%). В апреле изменчивость температур в среднем по станциям в два раза меньше, чем в январе. Наибольшие значения индекса изменчивости температур в апреле также на северных станциях Ербогачен (24%) и Киренск (20%), а наименьшая изменчивость отмечается на станциях Большое Голоустное (7%) и Усть-Орда (9%). В июле резкие изменения температур в течение суток со значениями  $\geq 6$  °С на большинстве станций в среднем за многолетний период (1970–2012 гг.) составляют 2–3%. Наибольшие показатели отмечаются на северной станции Ербогачен

(8%), наименьшие – на байкальской станции Большое Голоустное (1%). В октябре изменчивость температур вновь возрастает, достигая значений, близких к апрелю. Максимальная изменчивость отмечается на северной станции Ербогачен (27%), минимальная – на ст. Байкальск (5%).

В табл. 2 приведены рассчитанные средние многолетние значения индекса контрастности по осадкам. В отличие от температуры воздуха, у осадков изменчивость максимальна на большинстве станций летом, в июле (на ст. Ербогачен и Тайшет – в октябре). В январе наибольшие значения индекса контрастности по осадкам составили 21% и отмечались на станциях Байкальск, Тайшет, Мамакан, а наименьшие значения составили 3% на ст. Большое Голоустное и 5% – на ст. Усть-Орда. В апреле ситуация примерно аналогичная, но величины индексов изменчивости на большинстве станций становятся меньше. В июле, когда на территории области выпадает максимум осадков, их изменчивость в течение суток достигает своего максимума. Наибольшие значения составили 35% (ст. Мамакан) и 34% (ст. Нижнеудинск), наименьшие значения составили 22% (ст. Ербогачен).

Табл. 2

**Средние многолетние значения индекса контрастности по атмосферным осадкам по данным 10 метеорологических станций за период 1970–2012 гг., в %**

Станции	Индекс контрастности, в %			
	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Ербогачён	15	16	22	33
Мамакан	21	15	35	23
Киренск	25	15	31	29
Тайшет	21	21	29	31
Нижеудинск	10	14	34	18
Жигалово	12	8	25	14
Усть-Орда	5	7	27	10
Иркутск	15	14	31	17
Б. Голоустное	3	7	27	6
Байкальск	21	20	33	22

Если проанализировать индексы по станциям, то получим следующее. На ст. Иркутск наиболее выражена изменчивость по осадкам в июле (31%) и по температуре в январе (23%), наименее изменчив температурный режим летом (3%). На байкальских станциях Байкальск и Большое Голоустное более выражена изменчивость осадков, особенно в июле (33 и 27% соответственно), наименее изменчив температурный режим в июле (2 и 1% соответственно). На ст. Усть-Орда, Нижнеудинск, Мамакан, Киренск и Жигалово наиболее изменчив температурный режим в январе (29, 44, 38, 54 и 35% соответственно), а по осадкам – в июле (27, 34, 35, 31 и 25% соответственно), а наименее изменчив температурный режим в июле (2, 2, 3, 3 и 2% соответственно). На ст. Тайшет наиболее изменчив температурный режим в январе (45%) и суммы осадков в октябре (31%), а наименее изменчив температурный режим в июле (3%). На северной станции Ербогачен наиболее изменчив температурный режим в январе (51%) и суммы осадков в октябре (33%), а наименее изменчив температурный режим в июле (8%).

Таким образом, на исследуемых станциях температурный режим наименее изменчив в июле, а наиболее изменчив в январе, а суммы осадков – в июле и в октябре. В многолетней динамике индексов контрастности за отдельный месяц нет четко выраженных закономерностей.

На примере ст. Иркутск были выделены синоптические процессы, которые наблюдались в различные сезоны года в периоды времени, когда значения индексов контрастности были максимальными за весь исследуемый период (1970–2012 гг.). В январе наиболее часто резкие изменения температуры воздуха ( $\geq 6^\circ\text{C}$ ) отмечаются при смене на высотах оси холодного высотного циклона на ось теплого высотного гребня. В апреле наиболее резкие изменения температур были связаны с прохождением после теплого фронта активных холодных фронтов. В июле максимальные значения индекса контрастности по температуре отмечались, когда прохождение холодного фронта у земли сопровождалось прохождением через районы Иркутска оси холодного высотного циклона. Аналогичная синоптическая ситуация наблюдалась в октябре.

Если рассматривать синоптические условия максимальных значений, полученных при расчете индексов контрастности по атмосферным осадкам, то выпадение осадков  $\geq 1$  мм за сутки после длительного периода их отсутствия было вызвано в январе тем, что у поверхности земли проходил холодный фронт, а на синоптических картах АТ-500 гПа (5 км) прослеживались ось высотной фронтальной зоны (ВФЗ) и струйное течение. В апреле максимальная изменчивость атмосферных осадков была связана с прохождением как теплых, так и холодных фронтов. В июле такие условия были вызваны частой сменой теплых и холодных фронтов, а в октябре – прохождением через районы Иркутска центра высотного холодного циклона, прослеживаемого на метеорологических картах абсолютной барической топографии АТ-500 гПа (5 км).

Таким образом, наиболее часто резкие изменения температуры воздуха в течение суток в Иркутске в 1970–2012 гг. в январе были связаны с перестройкой высотного поля, когда происходила смена оси бари-

ческой ложбины на ось гребня, в остальные сезоны – когда прохождение холодного фронта у земли через районы Иркутска сопровождалось смещением оси циклона на высотах. Выпадение атмосферных осадков после их отсутствия в апреле и июле было связано с частой сменой холодных и теплых фронтов, в январе – с влиянием ВФЗ и струйного течения на высотах, а в октябре – с прохождением центра холодного циклонического вихря.

## Заключение

Проведено комплексное исследование биоклиматических показателей по данным срочных наблюдений 10 метеорологических станций на территории Иркутской области, выявлены зоны комфортных погодно-климатических условий и их пространственное распределение в различные сезоны года на исследуемой территории.

В последние десятилетия условия проживания становятся менее комфортными летом и более комфортными зимой. Однако в целом с учетом комплексного воздействия температурно-влажностных и ветровых характеристик на организм человека условия проживания в Иркутской области стали более благоприятными по сравнению с периодом 1970–1980 гг.

Впервые рассчитаны индексы контрастности по температуре воздуха и атмосферным осадкам. На исследуемых станциях наименее изменчив температурный режим в июле, а наиболее изменчив температурный режим – в январе, а суммы осадков – в июле и в октябре.

В Иркутске наиболее резкие изменения температуры воздуха в течение суток в январе связаны с перестройкой поля на высотах, в остальные сезоны – с прохождением холодного фронта у земли и оси циклона на высотах. Выпадение осадков после их длительного отсутствия в апреле и июле связано с частой сменой холодных и теплых фронтов, в январе – с влиянием ВФЗ и струйного течения на высотах, в октябре – с прохождением центра холодного циклонического вихря.

Полученные результаты следует учитывать для планирования в различных сферах деятельности человека на территории Иркутской области.

## Литература

1. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. – Л. : Гидрометеиздат, 1966. – 248 с.
2. Арнольди И.А. Акклиматизация человека на севере и юге. – М. : Медгиз, 1962. – 71 с.
3. Байбакова Е.М., Ильичева Е.М., Невре-ев Г.А., Шварева Ю.Н. Методика изучения и схема описания климата курортов. – М. : Наука, 1964. – 68 с.
4. Белоусова Е.П., Латышева И.В., Потемкин В.Л., Тимофеева С.С. Исследование термико-влажностного режима как индикатора климатических изменений на территории Восточной Сибири // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2007. – № 3. – С. 36.
5. Божиллина Е.А., Белова Д.А., Сорокина В.Н. Климатические карты для рекреации и туризма // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2008. – № 3. – С. 19–23.
6. Бокша В.Г. Справочник по климатотерапии. – Киев : Здоров'я, 1989. – 208 с.
7. Будыко М.И., Циценко Г.В. Климатические факторы теплоощущения человека // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. – 1960. – № 3. – С. 3–11.
8. Виноградова В.В. Биоклиматические индексы в оценке воздействия современного потепления климата на условия жизни населения России // Известия РАН. Сер. Геогр. – 2009. – № 3. – С. 82–89.
9. Головина Е.Г., Гарабатыров О.Е. Биометеорологические показатели рекреационных ресурсов аридной зоны // Климатические ресурсы и методы их представления для при-

кладных целей. – СПб. : Гидрометеоздат, 2005. – С. 216–222.

10. *Золотокрылин А.Н., Канцеровская И.В., Кренке А.Н.* Районирование территории России по степени экстремальности природных условий для жизни // Изв. АН СССР. Сер. Географ. – 1992. – № 2. – С. 16–30.

11. *Краснощекоев Г.П., Розенберг Г.С.* Здоровье населения как критерий оценки качества среды. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 1994. – 53 с.

12. *Кучер Т.В., Колтащикова И.Ф.* Медицинская география. – М. : Просвещение, 1996. – 160 с.

13. *Латышева И.В., Белоусова Е.П., Иванова А.С., Потемкин В.Л.* Циркуляционные условия аномально холодной зимы 2005/06 г. над Сибирью // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 9. – С. 36–40.

14. *Латышева И.В., Макухин В.Л., Потемкин В.Л.* Исследование характеристик Азиатского максимума и его влияния на загрязнение атмосферы в регионе оз. Байкал // Оптика атмосферы и океана. – 2005. – Т. 18. – С. 466–470.

15. *Лиопо Т.Н., Циценко Г.В.* Климатические условия теплового состояния человека. – Л. : Гидрометеоздат, 1971. – 51 с.

16. *Меркулов П.И., Меркулова С.В., Колокотрони К.О.* Динамика самоочищающей способности атмосферы и биоклиматическая характеристика г. Саранска // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 5. – С. 192–198.

17. *Мизандронцева К.Н.* Биоклиматические особенности зоны БАМ // Климатические особенности зоны БАМ. – Новосибирск : Наука СО, 1979. – С. 61–73.

18. *Мизандронцева К.Н.* Климат в погодах и рекреационные ресурсы больших озёр // Климат больших озёр Сибири. – Новосибирск : Наука СО, 1984. – С. 105–126.

19. *Поволоцкая Н.П., Голицын Г.С., Гранберг И.Г., Ефименко Н.В., Жерлицина Л.И., Рубинштейн К.Г., Сенник И.А., Васин В.А., Ткачук 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 индек-

се патогенности погоды на курортах Кавказских Минеральных Вод для медицинского прогноза погоды // НПК «Актуальные вопросы курортологии, восстановительной медицины и профпатологии». – Пятигорск, 2010. – С. 69–72.

20. *Покровский В.И.* Энциклопедический словарь медицинских терминов. – М. : Медицина, 2005. – 1591 с.

21. *Русанов В.И.* Методы исследования климата для медицинских целей. – Томск : Изд-во ТГУ, 1973. – 191 с.

22. *Тимофеева С.С., Латышев С.В., Лоценко К.А., Потемкин В.Л.* Мониторинг опасных природных явлений на территории Иркутской области // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2010. – Т. 43. – № 3. – С. 30–35.

23. *Царфис П.Г.* Рекреационная география СССР. – М. : Мысль, 1979. – 311 с.

24. *Цвид А.А.* Комплексный учет климата в строительстве на Дальнем Востоке. – Благовещенск : ДВ ПромстройНИИПроект, 1967. – 232 с.

25. *Almeida S., Casimiro E., Calheiros J.* Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto // Portugal. Environmental Health. – 2010. – Vol. 9. – P. 45–56.

26. *Epstein Y., Moran D.S.* Thermal comfort and the Heat Stress Indices // Industrial Health. – 2006. – Vol. 44. – P. 388–398.

27. *Matzarakis A., Rudel E., Zygmuntowski M., Koch E.* Thermal bioclimatic conditions for Austria and the Alps // Croatian Meteorological Journal. – 2005. – № 40. – P. 190–193.

28. *Osczevski R., Bluestein M.* The new wind chill equivalent temperature chart // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 2005. – Vol. 86. – P. 1453–1458.

29. *Sheridan S.C., Kalkstein L.S.* Progress in heat watch-warning system technology // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 2004. – Vol. 85. – P. 1931–1941.

30. *Weiwei Y., Mengersen K., Wang X., Xiaofang Y., Guo Y., Pan X., Tong S.* Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence // Int. J. Biometeorol. – 2011. – Vol. 10. – P. 43–51.