Об «ощущаемой температуре» воздуха северных регионов России и ее значении при проведении геологоразведочных работ

Иванов К. С.^{1*}, Костров Н. П.¹

¹ Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: ivanovks55@ya.ru

Реферат

Цель работы. Численная оценка «ощущаемой температуры» для арктических и др. холодных регионов России.

Актуальность работы обусловлена планированием и проведением геологоразведочных, горных и других видов работ при исследовании и разработке нефтегазовых и других месторождений Арктики.

Методология проведенной работы заключается в обобщении результатов предыдущих исследований и использовании новых идей.

Результаты. Все меры температурных ощущений можно разделить на те, что основаны на уравнении теплового баланса, и на эмпирические меры. Все без исключения «эффективные» температуры не имеют универсального характера, а их применение оправдано только для территорий, для которых они разрабатывались. Возможным для применения индексом для территорий севера Урала, Сибири и российского сегмента Арктики для оценки холодовой опасности является «приведенная температура» по Адаменко–Хайруллину на основе информации о скорости ветра, температуре воздуха и радиационном балансе. Последний можно измерить доступными актинометрами либо приблизительно оценить из публикаций. Показания шарового термометра дают напрямую ощущаемую температуру при соответственном подборе диаметра сферы. Однако пока нет однозначной универсальной методики подсчета «ощущаемой температуры» воздуха, упоминаемой в метеопрогнозах. Предложена максимально упрощенная формула расчета «ощущаемой температуры» воздуха удобная для практического применения.

Область применения. Численная оценка «ощущаемой температуры» необходима при проведении геологоразведочных работ в северных районах России.

Выводы. Существует объективная потребность в исчислениях «ощущаемой температуры», в том числе и для принятия оперативных управленческих решений на производствах, работающих в условиях Арктики. Предложены три очень простых, но эффективных формулы для расчета «ощущаемой температуры» воздуха в наибольшей части северных территорий России.

Ключевые слова: Арктика; ощущаемая температура; шаровой термометр; ветер; влажность; освещенность.

Введение (актуальность и цели работы). Исследования Арктики и освоение ее полезных ископаемых (главным образом, газа и нефти) приобрели в последнее время особую важность и вошли в число наиболее приоритетных задач развития России. Суровые природные условия, и в первую очередь низкие температуры, являются одним из главных препятствий в освоении северных регионов. Так, на полуострове Ямал (главной части газовой провинции страны) зима длится обычно 8 месяцев, и среднемесячные температуры с ноября по апрель изменяются от -20 до -25 °C. Самые холодные месяцы – январь, февраль и март со среднемесячными температурами $-24...-26$ °C, самые теплые – июль и август со

среднемесечными температурами $+5 \dots -6$ °С. Для метеостанции Тамбей среднее число дней в году с температурой ниже нуля составляет двести пятьдесят восемь дней. Самая ветреная погода наблюдается осенью и зимой. В это время была зарегистрирована максимальная скорость ветра 110 км/ч [1].

Для планирования и проведения геологоразведочных, горных и других работ в суровом климате весьма важно учитывать температуру воздуха, особенно «ощущаемую температуру», т. е. то, как организм человека реагирует на окружающую среду и, в частности, сколько геологи, геофизики, буровики и др. могут работать на открытом воздухе в тех или иных метеоусловиях без ущерба для здоровья.

Методология (обобщение результатов предыдущих исследований). Прогнозы погоды, кроме обычных показателей, иногда включают в себя показатель «ощущений», который формируется метеорологами на основе сложных вычислений с учетом множества погодных факторов, о смысле которых, как правило, не сообщают. Например, «температура воздуха -7 °С ощущается как -14 °С». Есть множество формул и индексов, сопоставляющих ощущения холода человеком с температурой и влажностью воздуха, а также скоростью ветра зачастую без какого-либо обоснования. Получили широкое распространение различного рода «эффективные», «действующие», «ощущаемые» и др. параметры, с помощью которых результаты этих исследований интерпретировались в терминах, чаще всего никак не определенных и нигде более не употребляющихся [2]. Близки к «эффективным» и прочим температурам и понятия «жесткость погоды» и «ветро-холодовой индекс». Обзор наиболее употребляемых эффективных температур дан в [2–5].

Выработка, по-видимому, первых эмпирических формул и таблиц была вызвана стремлением вооруженных сил США подготовить своих солдат для холодной зимы Западной Европы во время Второй мировой войны. Они обратились к полярным исследователям Полу Сайплу и Чарльзу Пасслу, которые во время второй антарктической экспедиции Р. Бэрда (1939–1941) зимой 1941 г. провели ряд экспериментов. Исследователи оценивали скорость замерзания воды в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра. Температура воздуха T во время эксперимента колебалась от -56 до -9 °С, скорость ветра V от 0 до 12 м/с. Ученые вывели достаточно сложную формулу:

$$WCT = 33 + (0,478 + 0,237\sqrt{V} - 0,0124V)(T - 33).$$

Эффективные эмпирические температуры, как следует из упомянутых ранее обзоров, разрабатывались для конкретного региона планеты и для жителей этого региона. Даже «эффективные температуры», основанные на уравнении баланса энергии, производимой организмом человека и рассеиваемой в окружающую среду, зависят от многих субъективных факторов. Адаптивные возможности человеческого организма настолько велики в плане приспособления к условиям проживания, что, возможно, имеет смысл говорить даже о региональных «эффективных температурах» [4]. Кроме того, исследуемые параметры зависят от того, находится человек в покое или работает. В зависимости от затрат энергии на производство механической работы ощущения комфорта и дискомфорта при прочих равных условиях (влажность, температура воздуха, скорость ветра, наличие излучающих тел, таких как Солнце, лучевой нагрев от раскаленного металла или ИК-излучателя, одежда и ее качество) будут разными, т. е. будут соответствовать разной «эффективной температуре» или иным подобным индикаторам *переохлаждения–перегрева*. Исчерпывающее физическое обоснование «объективизации» ощущений в связи с погодными условиями дано в [6]. При оценке дискомфорта холодного периода одной из наиболее объективных является «приведенная

температура» по Адаменко–Хайруллину [4]. Приведенная температура [7] учитывает радиационный баланс поверхности тела, смягчающий холодовой дискомфорт, и является такой температурой воздуха в условиях безветрия, при которой теплообмен с открытых частей тела такой же, как при заданном значении температуры воздуха, скорости ветра и радиационного баланса. Соотношения, полученные на основании экспериментальных работ и натурных наблюдений [7], учитывают действие внешних метеорологических факторов на тепловой режим человека и его ответные реакции, в них сделана попытка учета метаболизма и теплопродукции человека.

Приведенная температура, когда радиационными условиями можно пренебречь (полярная ночь, облачный день), рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{в}} - 8,2\sqrt{V}, \quad (1)$$

где $T_{\text{в}}$ – температура воздуха, °C; V – скорость ветра, м/с. В этой формуле учитывается также влажность воздуха, поскольку она получена на основании экспериментов, проведенных в различных климатических условиях (Армения, Ленинград, Якутия, Забайкалье, Антарктида) [7]. Формула (1) была получена при поиске зависимости температуры открытых частей тела (уши, нос, щеки) от температуры воздуха, скорости ветра и радиации, которые являются наиболее значимыми факторами термического режима открытых частей тела человека для холодного времени года. При низких температурах влажность воздуха задана уравнением Магнуса [8] и, следовательно, температурой воздуха. Для этого измерялась температура кожи лица (щека, нос, мочка уха), скорость ветра на уровне лица и радиационная обстановка, связанная с действием коротковолнового излучения. На основании экспериментальных работ [9] была получена зависимость приведенной температуры воздуха $T_{\text{пр}}$ от радиационного баланса B , кал/(см² · мин) открытых частей тела и скорости ветра:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{в}} + \Delta T_{\text{пр}}; \quad (2)$$

$$\Delta T(B, V) = \frac{2,5B}{0,04 + 0,01\sqrt[3]{e^V}}; \quad (3)$$

$$\Delta T_{\text{пр}} = \Delta T(B, V) - 8,2\sqrt{V}, \quad (4)$$

где e – основание натурального логарифма. Влияние радиационного баланса на приведенную температуру можно оценить исходя из его распределения по месяцам для Арктики [10] и, таким образом, посчитать «приведенную температуру». Для обоснования методики расчета составляющих радиационного баланса в высоких широтах были использованы актинометрические данные наблюдений, опубликованные или взятые из фондов Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (АНИИ), некоторые из которых доступны на сайте АНИИ (http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=783:aktinometrija&catid=43:aktinometrija&lang=ru). С 1963 г., судя по карте (http://wrdc.mgo.rssi.ru/wwwrootnew/wrdc_ru_new.htm), приведенной на сайте Мирового центра радиационных данных, число станций в Российском сегменте Арктики не увеличилось. Можно также приобрести прибор актинометр (<http://www.medical-enc.ru/1/aktinometry.shtml>) для измерения интенсивности лучистой энергии и оценить величину радиационного баланса самостоятельно.

Авторы считают нужным остановиться на этой «ощущаемой температуре» потому, что исследования, в результате которых были выведены формулы (1)–(4), проведены для зимнего периода условий Сибири и Арктики [7, 9], а формулы были получены на основе анализа температуры кожи человека, которая, по мнению физиологов, является наиболее репрезентативной характеристикой степени комфортности состояния человека.

Теорию теплового баланса человека (см., например, [11]) для оценки «ощущаемой температуры» стремились использовать многие исследователи [6, 7]. Однако вид зависимости коэффициента внешней диффузии от ветра при отрицательных температурах воздуха был известен недостаточно [7]. Также не выяснен вопрос о возможности использования одного и того же коэффициента диффузии для оценки величины потерь тепла на испарение и турбулентный обмен. С. В. Ткачук [4] указывает, что разработанная на основе метода теплового баланса человека эквивалентная физиологическая температура РЕТ для данного места [12] является удачным индексом для оценки теплового комфорта в уличных условиях: в нем учтено полное уравнение теплового баланса, температура внутренних органов, интенсивность потоотделения, влажность кожи, а также метеорологические параметры. Данный индекс является достаточно универсальным, он может быть использован для всех типов климата и как для каждого человека индивидуально, так и для многочисленных групп людей. Но несмотря на все преимущества этого индекса, имеется и существенный недостаток, заключающийся в том, что градации значений эквивалентно-физиологической температуры в литературе приведены для климатических условий Центральной Европы. Поэтому чтобы использовать данный индекс для людей, адаптированных к другому типу климата, для других климатических условий, необходимо провести дополнительные совместные исследования биометеорологов и врачей. Однако П. Хёппэ [12], указывая принципы расчета, к сожалению, не дает явных формул, которые позволили бы повторить вычисления в приведенных примерах.

Какими бы сложными не были процессы в организме и окружающей среде, их вклад в теплообмен на границе *организм–окружающая среда* может быть описан только в терминах, которые фиксируют сами процессы теплообмена [6]. Идеи восходят к работам П. О. Фангера [13].

Активность человека определяется тепловыделением M , а его состояние – суммарными теплопотерями W , показатель комфорта пропорционален разности между тепловыделением и теплопотерями:

$$PVM = A(M - W).$$

Коэффициент A зависит от тепловыделения M . Если $M > W$, то происходит перегрев организма, что выражается в ощущении «тепла» и «жара». В обратном случае имеет место переохладение – ощущение «прохлады» и «холода». На основе идей П. О. Фангера разработан стандарт ISO 7730-84 (E), в котором в конечном виде приведены формулы для расчета PVM . Однако тепловой баланс может поддерживать достаточно сильное напряжение систем терморегуляции, что не будет восприниматься как комфортное состояние. Учитывающий такое напряжение подход предложен в [6]. Решение, какой режим терморегуляции и насколько интенсивно включить, зависит от сигналов, получаемых терморегуляционным центром от рецепторов, расположенных в разных частях организма. Постоянно работают рецепторы температуры, информирующие центр о тепловом состоянии организма и необходимости принятия мер по его нормализации. Вероятнее всего, степень напряжения тех или иных механизмов терморегуляции определяется со-

вокупностью информации о температуре разных частей тела. Ощущение комфорта должно быть связано с «легкостью» и «естественностью» поддержания теплового баланса с окружающей средой. Е. И. Тимофеева и Г. В. Федорович [6] предлагают в качестве параметра объективизации теплоощущений средневзвешенную температуру кожи и на ее основе вычислять индекс $PVM+$. Связующим звеном между средневзвешенной температурой кожи и индексом являются исследования, которые использовали одну и ту же технику опроса [13, 14] – авторы методик В. И. Кричагин и П. О. Фангер. Однако Е. И. Тимофеева и Г. В. Федорович [6] также не приводят алгоритмов вычислений, позволяющих повторить результаты расчета $PVM+$, приведенные в таблицах. Кроме того, ISO 7730-84 (Е) указывает на то, что для корректного вычисления индекса PVM температура воздуха не должна быть в интервале от 10 °С до 30 °С.

Удобна для использования канадская шкала «индекса охлаждения», где по вертикали скорость ветра, а по горизонтали – температура воздуха. Так, например, согласно этой шкале, при скорости ветра 10 м/с, $T = -10$ °С ощущается как -20 °С, $T = -25$ °С ощущается как -40 °С (и это «Высокий риск переохлаждения и обморожения открытых участков кожи в течение 5–10 минут»), $T = -40$ °С ощущается как -60 °С (оценивается как «Опасно! Крайне высокий риск переохлаждения и обморожения открытых участков кожи в течение 2 минут»).

Обращает на себя внимание метод оценки «ощущаемой температуры» по измерениям шаровым термометром [2] – сферой Вернона (Horace Middleton Vernon) – с соответственно подобранным коэффициентом конвективного теплообмена на поверхности сферы, равным коэффициенту конвективного теплообмена *кожа–воздух*. Температура внутри шарового термометра [15] определяется из условия баланса кондуктивного и радиационного потоков тепла на поверхности сферы. Поскольку главными из каналов теплообмена, обеспечивающих максимальные потоки тепла, являются кондуктивный теплообмен *кожа–воздух* и теплообмен излучением, то становится ясной целесообразность использования шарового термометра в оценке тепловой обстановки. При этом отпадает необходимость прямого определения радиационной температуры.

Как видно из приведенных ранее работ, эмпирические формулы ощущаемой температуры с точки зрения физиков некорректны. Как можно, например, складывать градусы с метрами в секунду, или что такое экспонента от скорости? Авторы считают, что величины, входящие в эмпирические формулы, следует рассматривать как отвлеченные (безразмерные) параметры, назначаемые баллы, численно совпадающие с соответствующими физическими величинами. Именно в этом смысле следует понимать и дальнейшие рассуждения.

Результаты работы и область их применения. Таким образом, все меры температурных ощущений можно разделить на те, что основаны на уравнении теплового баланса, и на эмпирические меры, целью введения которых была однопараметрическая оценка воздействия на человека различных факторов среды. Все без исключения «эффективные» температуры не имеют универсального характера, а их применение оправдано, как правило, только для территорий, для которых они разрабатывались, поскольку они базируются на определении адаптационных возможностей местного населения.

Возможным для применения индексом для территорий Сибири и российского сегмента Арктики при оценке холодовой опасности является «приведенная температура» по Адаменко–Хайруллину, которая сравнительно проста в вычислении на основе информации о скорости ветра, температуре воздуха и радиационном балансе. Последний можно измерить доступными актинометрами либо приблизительно оценить из публикаций. Показания шарового термометра дают наприя-

мую «ощущаемую температуру» при соответственном подборе диаметра сферы. Было бы интересно сравнить показания этого прибора с оценками «приведенной температуры» по Адаменко–Хайруллину. Кроме того, ясно, что теплоотдачу правильнее вычислять по разным формулам (разными способами) для трех отдельных частей тела – открытых (лицо), неплотно закрытых (тело), плотно закрытых (ноги в обуви). Оценки «ощущаемой температуры» на основе требований теплового баланса организма с окружающей средой на данный момент требуют «привязки к местности», скажем, к Арктическим условиям, и дальнейшей проработки.

В целом обзор показывает, что пока нет однозначной универсальной методики подсчета «ощущаемой температуры» воздуха, упоминаемой в метеопрогнозах. Да и сами метеопрогнозы, как известно, далеко не всегда полностью точны.

Итак, как же, например, руководителю геологоразведочных, горных или иных производственных работ в условиях Арктики определить фактическую «ощущаемую температуру» в тот или иной день, здесь и сейчас? Ясно, что все ранее приведенные формулы в таком случае не работают ввиду их сложности и неоднозначности.

Именно поэтому с учетом отмеченных наработок (таблицы и формулы предшественников) и немалого опыта полевых работ в различных условиях сделана попытка максимально упростить формулу расчета «ощущаемой температуры» воздуха. И в первом приближении эта температура $T_{\text{ощ}}$ может быть определена по формуле:

$$T_{\text{ощ}} = T_{\text{воздух}} - V_{\text{ветер}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{воздух}}$ – температура воздуха вне помещений (но в «ветровой тени», т. е. без ветра) в градусах Цельсия, $V_{\text{ветер}}$ – скорость ветра в метрах в секунду. Например, температура воздуха -10°C , ветер 7 м/с , тогда $T_{\text{ощ}} = -17$ «градусов» (ощущается как минус 17 градусов). Или температура воздуха $+2^\circ\text{C}$, ветер 10 м/с , $T_{\text{ощ}} = -8$ «градусов» (ощущается как минус 8 градусов). Эта наипростейшая формула справедлива для большинства регионов страны, расположенных в умеренных и северных широтах, т. е. в диапазоне от -15°C до $+15^\circ\text{C}$.

Однако для условий Арктики (или же для весьма низких температур, т. е. ниже -15°C) эта формула слишком проста. При весьма низких температурах «отрицательное» значение ветра еще более возрастает (коэффициент $\sim 1,5$), а также необходимо учитывать условия освещенности и осадки. Итак, $T_{\text{ощАрк}}$ («ощущаемая температура» воздуха Арктики) в первом приближении:

$$T_{\text{ощАрк}} = T_{\text{воздух}} - 1,5V_{\text{ветер}} - O_{\text{в}} - O_{\text{с}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{воздух}}$ – температура воздуха вне помещений, в градусах Цельсия; $V_{\text{ветер}}$ – скорость ветра, в метрах в секунду; $O_{\text{в}}$ – освещенность, в баллах (солнце – 0 ; пасмурно – 1 ; сумерки – 2 ; глубокие сумерки или лунная ночь – 3 ; ночь, включая полярную – 4); $O_{\text{с}}$ – осадки (дождь, снег) в баллах, от нуля (без осадков) до сильнейшего ливня, снегопада или вьюги – 4 балла. Наибольшие дебаты в формуле (6) вызвал коэффициент учета скорости ветра. И хотя авторами он был принят (с учетом экспериментальных данных) как $1,5$, но высказывались мнения, что данный коэффициент должен быть как $2,0$, так и $1,0$ (и даже менее). Так, последнюю из точек зрения выразил при обсуждении данной статьи канд. геол.-мин. наук Е. В. Бурлаков, имеющий 15 -летний опыт круглогодичной работы и проживания на Приполярном Урале. Очевидно, здесь нужны дополнительные экспериментальные исследования, до их проведения принимается «коэффициент ветра»,

равный 1,5. Например, температура воздуха -20°C , ветер 8 м/с, полярная ночь, сильный снегопад, тогда $T_{\text{ощАрк}} = -20 - 1,5 \cdot 8 - 4 - 3 = -39$ (ощущается как минус 39 градусов).

В формулу (6) не включен учет влажности. Обычно считается, что, хотя субъективные ощущения человека сильно зависят от влажности, большинство населенных пунктов и промышленных территорий, где требуется оценка жесткости погоды, располагаются в зонах континентального климата, поэтому влиянием влажности воздуха чаще всего пренебрегают. Однако значительную часть российской Арктики составляют полярные моря и приморские территории, где пренебрегать наличием влажности воздуха неправильно. Поэтому итоговая простая формула для российской Арктики может быть выражена так:

$$T_{\text{ощАрк}} = T_{\text{воздух}} - 1,5V_{\text{ветер}} - O_{\text{в}} - O_{\text{с}} - \text{Вл}, \quad (7)$$

где Вл – относительная влажность воздуха: 0 баллов при относительной влажности до 60 %, 1 балл – от 61 до 70 %, 2 балла – от 71 до 80 %, 3 балла – от 81 до 90 % и 4 балла – более 90 %.

Эффективность формул (5)–(7) оценивалась методом сравнения ощущений геологов с большим опытом работы на Полярном и Приполярном Урале с величинами, получаемыми из формул.

Выводы. Итак, в измерениях и исчислениях «ощущаемой температуры» нет единых подходов. Главным образом постольку, поскольку в самом понятии «ощущаемая температура» изначально заложено противоречие. Это попытки оцифровать субъективные ощущения, которые всегда разнятся у разных наций, людей, и даже у одного и того же человека (в зависимости от самочувствия). Тем не менее попытка вывести универсальную формулу, по всей видимости, правомерна. Поскольку, во-первых, оцифровка всего и вся (включая и ощущения) это сейчас один из наиглавнейших трендов, а во-вторых, есть объективная потребность в определении «ощущаемой температуры» как в быту, так и на производстве, в том числе и для принятия оперативных управленческих решений на предприятиях, работающих в условиях Арктики. Предложены три простых, но эффективных формулы (5)–(7) для расчета «ощущаемой температуры» воздуха на наибольшей части территории страны. На основании работ [7, 9], исследований, которые суммированы в канадской шкале индекса переохлаждения, а также из анализа субъективных ощущений геологов, имеющих многолетний опыт круглогодичной работы в суровых условиях Приполярного Урала, сделан вывод о настоятельной рекомендации постоянного использования утепляющей маски для лица при «ощущаемой температуре» ниже минус 30 градусов.

Исследования проведены при поддержке РФФИ (программа «Арктика», проект № 18-05-70016).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Имшенецкий В. В., Орлов Ю. Н. Технология СПГ – перспективный вариант освоения ресурсов газа полуострова Ямал. Москва, 2007. 220 с. URL: <http://gasforum.ru/knizhki/589/> (дата обращения 10.09.2019).
2. Федорович Г. В. Оценка тепловой обстановки с помощью шарового термометра // Безопасность и охрана труда. 2011. № 1. С. 68–71. URL: <https://ntm.ru/control/108/7803> (дата обращения 10.09.2019).
3. Ткачук С. В. Сравнительный анализ биоклиматических индексов для прогноза с использованием мезомасштабной модели // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 20. С. 109–118.
4. Ткачук С. В. Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности // Труды Гидрометеорологического науч.-исслед. центра Российской Федерации. 2012. Вып. 347: Гидрометеорологические прогнозы. С. 223–245.
5. Auliciems A., Szokolay S. V. Thermal comfort // PLEA Notes. 2007. P. 66. URL: <http://www.plea-arch.org/wp-content/uploads/PLEA-NOTE-3-THERMAL-COMFORT.pdf> (дата обращения 10.09.2019).

6. Тимофеева Е. И., Федорович Г. В. Экологический мониторинг параметров микроклимата. М.: НТМ-Защита, 2005. 212 с.
7. Адаменко В. Н., Хайруллин К. Ш. Проблемы биоклиматической оценки суровости погоды и мелиорация микроклимата застройки // Труды ГГО. 1973. Вып. 306. С. 3–18.
8. Панин Б. Д., Репинская Р. П. Прогноз влажности, облачности и осадков: конспект лекций. Л.: ЛПИ, 1982. С. 47.
9. Хайруллин К. Ш. Биоклиматическая оценка суровости погоды при отрицательных температурах воздуха // Проблемы зимоведения. 1972. Вып. 4. С. 54–55.
10. Гаврилова М. К. Радиационный климат Арктики. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 224 с.
11. Будыко М. И. О тепловом балансе живых организмов // Изв. АН СССР. Сер. География. 1959. № 1. С. 29–35.
12. Höppe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment // Int. J. Biometeorol. 1999. Vol. 43. P. 71–75. URL: <https://doi.org/10.1007/s004840050118> (дата обращения 10.09.2019).
13. Fanger P. O. Thermal comfort. McGraw-Hill, New York, 1972.
14. Кричагин В. И. Принципы объективной оценки теплового состояния организма // Авиационная и космическая медицина. М., 1963. С. 310–314.
15. Федорович Г. В. Оценка тепловой обстановки с помощью шарового термометра // Безопасность и охрана труда. 2011. № 1. С. 68–71.

Поступила в редакцию 26 сентября 2019 года

Сведения об авторах:

Иванов Кирилл Святославич – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геотектоники Института геологии и геохимии УрО РАН. E-mail: ivanovks55@ya.ru

Костров Николай Павлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геотектоники Института геологии и геохимии УрО РАН. E-mail: kostrov65@ya.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-124-132

On air “sensed temperature” in Russia’s northern regions and its significance for geological prospecting

Kirill S. Ivanov¹, Nikolai P. Kostrov¹

¹ Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Research aim is digital estimation of air “sensed temperature” for Arctic and other cold areas of Russia.

Relevance of the work is determined by Arctic geological survey for oil and gas prospecting.

Research methodology includes the generalization of the results of previous studies and the application of some new ideas.

Results. All measures of temperature senses can be divided into two classes: those based on the thermal balance equation and empirical ones. Without exception, no “effective” temperatures have a universal character and their use is good only for those regions for which they were developed. For Siberia and Russian Arctic segment, it is possible to apply “reduced temperature” by Adamenko-Khairullin based on information on wind speed, air temperature and radiation balance. The latter can be measured with actinometers or estimated from publications. Sphere thermometer readings give directly sensed temperature provided that the sphere has a proper diameter. Nevertheless there is not onevalued universal methodology to calculate air “sensed temperature” mentioned in weather forecast. The authors simplified “sensed temperature” calculations as much as possible. Field of implementation. Digital estimation of air “sensed temperature” is essential for geological prospecting in the northern territories of Russia.

Conclusion. There is an objective need in “sensed temperature” calculations including operational decisions in industries working in Arctic conditions. Three simple but effective formulas for “sensed temperature” of air were supposed for the biggest part of Russia’s northern territories.

Key words: Arctic; sensed temperature; sphere thermometer; wind; humidity; illuminance.

Acknowledgements. Research has been carried out with the support from Russian Foundation for Basic Research (Program Arctic, project no. 18-05-70016).

REFERENCES

1. Imshenetskii V. V., Orlov Iu. N. LNG technology is a promising variant of developing gas resources in the Yamal peninsular. Moscow; 2007. Available from: <http://gasforum.ru/knizhki/589/> [Accessed 10 September 2019]. (In Russ.)

2. Fedorovich G. V. Estimating thermal environment with the help of a sphere thermometer. *Bezopasnost i okhrana truda = Occupational Safety and Health*. 2011; 1: 68–71. Available from: <https://ntm.ru/control/108/7803> [Accessed 10 September 2019]. (In Russ.)
3. Tkachuk S. V. Comparative analysis of bioclimatic indexes for prediction using a mesoscale model. *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Proceedings of Russian State Hydrometeorological University*. 2011; 20: 109–118. (In Russ.)
4. Tkachuk S. V. The review of weather comfort indexes and their relationship with mortality rates. *Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia*. 2012; 347: 223–245. (In Russ.)
5. Auliciems A., Szokolay S. V. Thermal comfort. *PLEA Notes*. 2007; 66. Available from: <http://www.plea-arch.org/wp-content/uploads/PLEA-NOTE-3-THERMAL-COMFORT.pdf> [Accessed 10 September 2019].
6. Timofeeva E. I., Fedorovich G. V. *Ecological monitoring of the parameters of microclimate*. Moscow: NTM-Zashchita Publishing; 2005. (In Russ.)
7. Adamenko V. N., Khairullin K. Sh. Problems of bioclimatic estimation of weather severity and housing microclimate melioration. *Trudy GGO = Proceedings of MGO*. 1973; 306: 3–18. (In Russ.)
8. Panin B. D., Repinskaia R. P. *The forecast of humidity, cloudiness, and precipitation: compendium of lectures*. Leningrad: LPI; 1982. (In Russ.)
9. Khairullin K. Sh. Bioclimatic estimation of weather severity at sub-zero air temperature. *Problemy zimovedeniia = Problems of Winter Study*. 1972; 4: 54–55. (In Russ.)
10. Gavrilova M. K. *Radiation climate of the Arctic*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publishing; 1963. (In Russ.)
11. Budyko M. I. On the thermal balance of life forms. *Izvestiia AN SSSR = Proceedings of AS USSR*. Ser. Geography. 1959; 1: 29–35. (In Russ.)
12. Höppe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* 1999; 43: 71–75. Available from: <https://doi.org/10.1007/s004840050118> [Accessed 10 September 2019].
13. Fanger P. O. *Thermal comfort*. McGraw-Hill, New York, 1972.
14. Krichagin V. I. The principles of objective estimation of body thermal status. *Aviatsionnaia i kosmicheskai meditsina = Aerospace Medicine*. Moscow; 1963: 310–314. (In Russ.)
15. Fedorovich G. V. Estimation of thermal environment with the help of a sphere thermometer. *Bezopasnost i okhrana truda = Occupational Safety and Health*. 2011; 1: 68–71. (In Russ.)

Received 26 September 2019

Information about authors:

Kirill S. Ivanov – DSc (Geology and Mineralogy), senior researcher of the laboratory of Regional Geology and Geotectonics, Institute of Geology and Geochemistry UB RAS. E-mail: ivanovks55@ya.ru
Nikolai P. Kostrov – PhD (Engineering), senior researcher of the laboratory of Regional Geology and Geotectonics, Institute of Geology and Geochemistry UB RAS. E-mail: kostrov65@ya.ru

Для цитирования: Иванов К. С., Костров Н. П. Об «ощущаемой температуре» воздуха северных регионов России и ее значении при проведении геологоразведочных работ // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 1. С. 124–132. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-124-132

For citation: Ivanov K. S., Kostrov N. P. On air “sensed temperature” in Russia’s northern regions and its significance for geological prospecting. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 1: 124–132 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-124-132