

О. В. ВАСИЛЕНКО*, Е. А. ИСТОМИНА*, Н. Н. ВОРОПАЙ**

*Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН,
ул. Улан-Баторская, 1, Иркутск, 664033, Россия, oksa_na85@mail.ru, elena@irigs.irk.ru

**Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
пр. Академический, 10/3, Томск, 634055, Россия, nadya@irigs.irk.ru

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ТУНКИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ НА ЛАНДШАФТНОЙ ОСНОВЕ

Проведено исследование и картографирование особенностей сезонного и суточного хода температуры воздуха различных ландшафтов Тункинской котловины с применением ландшафтной карты на уровне групп фаций, а также датчиков-термохрон. Для анализа микроклиматических особенностей температурного режима воздуха различных ландшафтов использованы круглогодичные данные срочной температуры воздуха за 2013 г. с 37 площадок наблюдений. Для каждого класса фаций рассчитаны средние месячные значения температуры воздуха, максимальная и минимальная суточная температура, а также суточная амплитуда за определенные даты в летний и зимний период и представлены в виде карт средних месячных значений температуры воздуха для самого холодного (январь) и теплого (июль) месяцев и суточных амплитуд. Показано, что ландшафты, расположенные в центральной части котловины, более холодные, чем ландшафты ее бортов, в средних годовых значениях, однако температурный режим в летний и зимний периоды сильно различается. Установлено, что зимой наиболее низкими значениями температуры характеризуются ландшафты центральной части котловины, наиболее высокой — ландшафты склонов хребтов, что обусловлено наличием зимних температурных инверсий. Максимальные амплитуды суточной температуры и летом и зимой отмечены в ландшафтах центральной части Тункинской котловины.

Ключевые слова: ландшафтно-интерпретационное картографирование, горно-котловинные ландшафты, микроклимат, средняя месячная температура воздуха, суточная амплитуда температуры воздуха.

O. V. VASILENKO*, E. A. ISTOMINA*, N. N. VOROPAI**

*Sochava Institute of Geography, SB RAS,
ul. Ulan-Batorskaya, 1, Irkutsk, 664033, Russia, oksa_na85@mail.ru, elena@irigs.irk.ru

**Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS,
pr. Akademicheskii, 10/3, Tomsk, 634055, Russia, nadya@irigs.irk.ru

LANDSCAPE-BASED MAPPING OF THE AIR TEMPERATURE FIELD IN THE TUNKINSKAYA DEPRESSION

We investigated and mapped the characteristic features of the seasonal and daily air temperature variation for different landscapes of the Tunkinskaya depression by using the landscape map at the level of facies groups as well as thermochron sensors. In the analysis of the microclimatic characteristics of air temperature regime for different landscapes, we used year-round air temperature data obtained at fixed hours in 2013 at 37 observation sites. For each class of facies, we calculated the mean monthly values of air temperature, the maximum and minimum daily temperature as well as the daily amplitude for definite dates in the summer and winter periods and are presented in the form of maps of mean monthly air temperature values for the coldest (January) and the warmest (July) months and daily amplitudes. It is shown that the landscapes lying in the middle part of the depression are colder than the landscapes along its sides as regards mean annual values; however, the temperature regime differ dramatically for the summer and winter periods. It is established that the lowest and highest values of temperature in the wintertime correspond to the landscapes in the middle part of the depression and to the slopes of the mountain ridges, respectively, which is due to the occurrence of winter temperature inversions. Maximum amplitudes of daily temperature in summer and in winter were recorded in the landscapes of the middle part of the Tunkinskaya depression.

Keywords: landscape-interpretation mapping, mountain-depression landscapes, microclimate, mean monthly air temperature, daily amplitude of air temperature.

ВВЕДЕНИЕ

Температура воздуха — одна из важнейших климатических характеристик, используемая для изучения климата, исследования и моделирования растительности, гидрологических параметров, различных компонентов ландшафтов, а также геосистем в целом. Анализ изменения температуры воздуха становится особенно актуальным в последние десятилетия в связи с глобальным потеплением. Основной опыт изучения климата горно-котловинных ландшафтов Восточной Сибири приходится на период с 1960 по 1980 г. В это время активно развивались стационарные, а также экспедиционные наблюдения за природными процессами и закономерностями их формирования [1–4]. Исследований микроклиматических особенностей ландшафтов в Тункинской котловине до этого не проводилось.

При картографировании поля температуры воздуха в горных районах для экстраполяции точечных наземных измерений (в большинстве случаев это данные метеорологических станций) необходим учет большого количества факторов [5], поэтому дополнительно используются космические снимки и результаты моделирования. В работе ставится задача изучения и картографирования особенностей сезонного и суточного хода температуры воздуха в различных ландшафтах Тункинской котловины на основе данных микрометеорологических измерений приземной температуры воздуха и ландшафтной карты территории.

ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследований выбрана территория Тункинской межгорной котловины, которая находится на стыке хребтов Тункинские Гольцы и Хамар-Дабан, относится к зоне островного распространения многолетнемерзлых толщ [6, 7] и характеризуется резко континентальным климатом [8]. Годовая сумма осадков в центральной части дна относительно невелика и увеличивается к ее бортам [9, 10]. В связи с существенными природными отличиями центральной части котловины и ее горного обрамления рассмотренный участок характеризуется разнообразием ландшафтных условий, форм рельефа и почвообразующих пород, а также длительной историей хозяйственного освоения [11, 12]. Все это позволяет на компактной территории изучать большое разнообразие ландшафтов (от гольцовых и горно-таежных до степных) и их температурные особенности, наблюдать проявление котловинных эффектов.

Начиная с 2007 г. в Тункинской котловине проводятся комплексные физико-географические [8, 13, 14] исследования. Создана геоинформационная база данных, содержащая топографические, мелкомасштабные геологические и ландшафтные карты, цифровую модель рельефа (SRTM), космические снимки Landsat-5, Landsat-7, SPOT-4. Ранее по данным наземных измерений температуры воздуха с помощью автономных терморегистраторов DS-1922 была проведена валидация данных спутниковых измерений в инфракрасном диапазоне [15], и на их базе выполнен анализ пространственно-временных изменений поля приземной температуры территории [8, 13, 14]. Применялся метод ландшафтно-интерпретационного картографирования [16] характеристик температурного поля, основанный на том, что определенный тип геосистем (например, группа фаций) имеет однородные природные характеристики на протяжении своего ареала. Это позволяет экстраполировать характеристики (в том числе температуру воздуха), измеренные в одной или нескольких точках ареала определенной группы фаций, на весь ареал этой группы.

Картографирование поля температуры воздуха производится на основе ландшафтно-типологической карты территории м-ба 1:200 000 на уровне классов фаций [17]. Зона исследования представлена на 30 группами фаций, относящимися к девяти классам фаций, четырем группам геомов (рис. 1).

Для микрометеорологических измерений приземной температуры воздуха используются автономные термографы DS-1922, которые позволяют решить задачи исследования климата на локальном уровне. Терморегистратор представляет собой защищенный от внешнего воздействия электронный самописец (логгер), накапливающий в собственной энергозависимой памяти значения температуры окружающей его корпус среды с привязкой к реальному времени.

В настоящее время на территории Тункинской котловины организовано 37 наблюдательных площадок, расположенных в диапазоне высот от 806 до 2119 м над ур. моря (см. таблицу), которые образуют трансект от правого до левого борта котловины и попадают в ареал каждого класса фаций. Терморегистраторы установлены на высоте 2 м от подстилающей поверхности и запрограммированы, как и на метеостанциях, на измерения с периодичностью 3 ч. Информация считывается с терморегистраторов один раз в год. Для анализа микроклиматических особенностей температурного режима воздуха в различных ландшафтах использованы круглогодичные срочные данные за 2013 г.

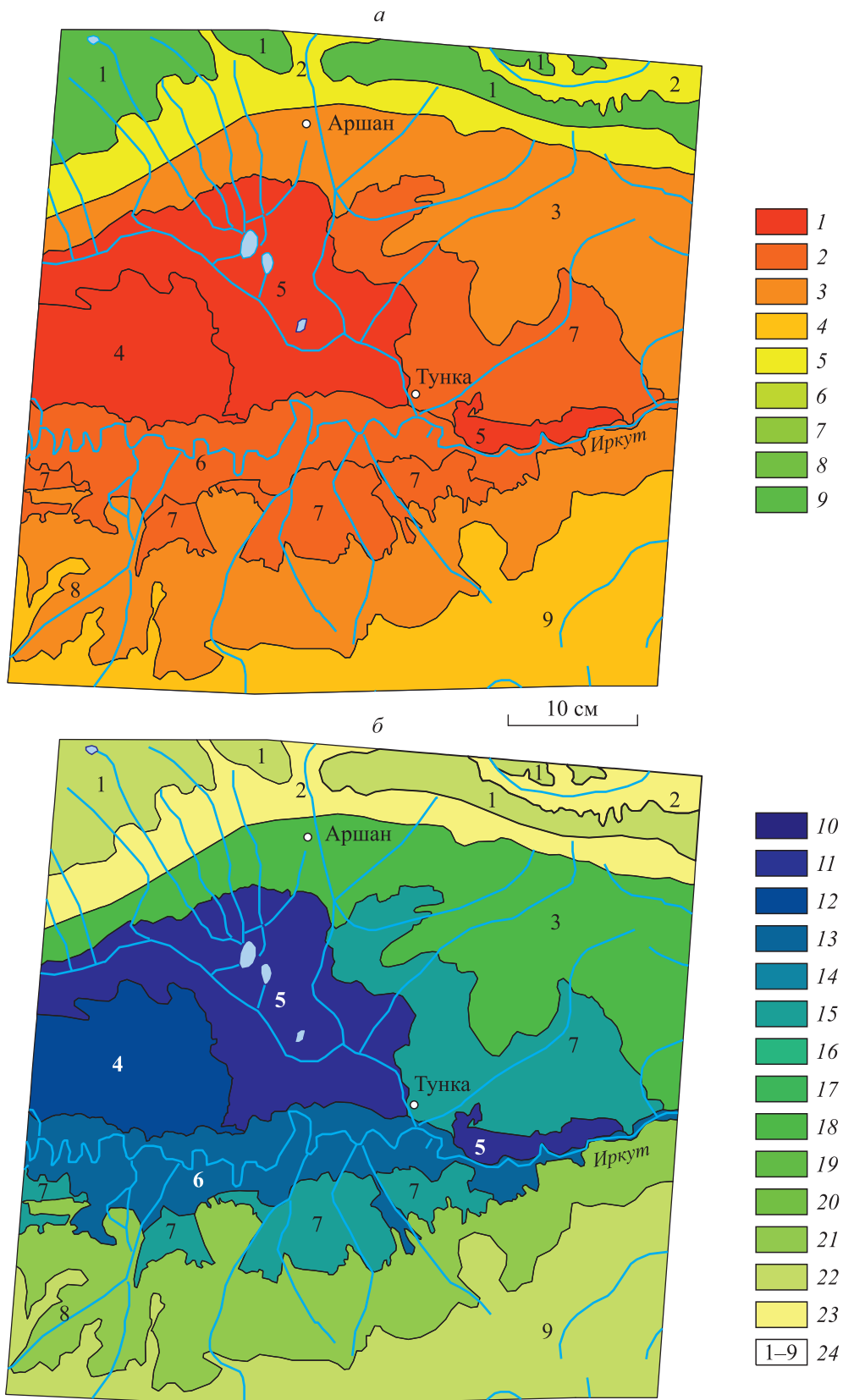


Рис. 1. Пространственное распределение средней месячной температуры воздуха (°С) в пределах различных классов фаций Тункинской котловины.

а — в июле: 1 — 17–18, 2 — 16–17, 3 — 15–16, 4 — 14–15, 5 — 13–14, 6 — 12–13, 7 — 11–12, 8 — 10–11, 9 — 9–10; б — в январе: 10 — –27÷–28, 11 — –26÷–27, 12 — –25÷–26, 13 — –24÷–25, 14 — –23÷–24, 15 — –22÷–23, 16 — –21÷–22, 17 — –20÷–21, 18 — –19÷–20, 19 — –18÷–19, 20 — –17÷–18, 21 — –16÷–17, 22 — –15÷–16, 23 — –14÷–15. 24 — границы и номера классов фаций.

Ландшафты Тункинской котловины*Гольцовые байкало-джугджурские*

1. Класс литоморфных гольцовых фаций (кедрово- и лиственнично-редколесные).

*Горно-таежные байкало-джугджурские (хр. Тункинские Гольцы)***Горно-таежные сосново-лиственничные ограниченного развития**

2. Класс сублитоморфных фаций (сосново-лиственничных с кедром лесов).

Подгорные лиственнично-кедровые оптимального развития

3. Класс сублитоморфных фаций (кедрово-лиственничных и сосновых лесов).

*Горно-таежные южно-сибирские***Подгорные подтаежные сосновые**

4. Класс субпсаммоморфных фаций (сосновых лесов).

Центрально-азиатские степные геосистемы

5. Класс криогидроморфных лугово-озерно-болотных фаций.
6. Класс субгидропсаммоморфных (лугово-степных) фаций долины Иркутка.
7. Класс антропогенных фаций (днищ котловин остепненно-луговые).

*Горно-таежные байкало-джугджурские (хр. Хамар-Дабан)***Горно-таежные лиственничные редуцированного развития**

8. Класс сублитоморфных фаций (лиственничных лесов).

Горно-таежные темнохвойные оптимального развития

9. Класс сублитоморфных плакорных фаций (лиственнично-кедровых лесов и ерников).

**Средняя месячная и срочная температура воздуха
в пределах различных классов фаций Тункинской котловины**

| Класс фаций | Кол-во площадок | Диапазон высот, м | Средняя месячная температура, °С | | Срочные значения температуры воздуха, °С | | | | | |
|--|-----------------|-------------------|----------------------------------|------|--|-------------|--------------------|--------------|-------------|--------------------|
| | | | января | июля | 9 февраля | | | 1 июля | | |
| | | | | | максимальная | минимальная | суточная амплитуда | максимальная | минимальная | суточная амплитуда |
| 1 | 2 | 1968–2120 | –15,7 | 9,6 | –12 | –20,5 | 8,5 | 22 | 8 | 14 |
| 2 | 4 | 1070–1735 | –14,3 | 13,9 | –12 | –19 | 7 | 26 | 12,5 | 13,5 |
| 3 | 6 | 770–848 | –19,4 | 15,7 | –13 | –25,5 | 12,5 | 28,5 | 7 | 21,5 |
| 4 | 4 | 766–806 | –25,5 | 17,2 | –19 | –33,2 | 14,2 | 28 | 5,3 | 22,7 |
| 5 | 10 | 717–729 | –27,6 | 17 | –18,5 | –39,5 | 21 | 27 | 4 | 23 |
| 6 | 4 | 720–721 | –24,8 | 16,9 | –14,5 | –33 | 18,5 | 28,5 | 3,5 | 25 |
| 7 | 3 | 714–890 | –22,7 | 16,8 | –15 | –33 | 18 | 31,5 | 5 | 26,5 |
| 8 | 3 | 980–1190 | –16,7 | 15,3 | –14,5 | –22 | 7,5 | 29,5 | 8 | 21,5 |
| 9 | 1 | 1405 | –15,7 | 14,7 | –10,5 | –21 | 11 | 34 | 11 | 23 |
| Максимальное различие между классами фаций | | | 13,3 | 7,6 | 8,5 | 20,5 | 14 | 12 | 9 | 13 |

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На предварительном этапе проведено сравнение средних месячных температур воздуха за 30-летний период (1980–2010 гг.) и за 2013 г., по данным метеостанции Тунка, расположенной в центральной части котловины. Оно показало, что 2013 г. не был аномальным и, таким образом, данные микрометеорологических наблюдений могут быть использованы для анализа поля температуры воздуха в ландшафтах Тункинской котловины. Для каждого класса фаций рассчитаны среднегодовые и среднемесячные значения приземной температуры воздуха (см. таблицу). Результаты представлены в виде карт для самого холодного (январь) и самого теплого (июль) месяцев (см. рис. 1). Оценка достоверности полученных полей температуры воздуха проведена путем их сравнения с итогами наблюдения на площадках в течение года. В среднем отклонения не превышают 0,12 °С (по модулю 0,34 °С), при этом разница измеренных средних месячных температур на отдельных площадках и температурных полей, представленных на карте, в течение года в 96 % случаев не выше ± 1 °С, а в 87 % случаев — $\pm 0,5$ °С.

Также были проанализированы различия суточного хода температуры в разных ландшафтных условиях. Для этого в пределах каждого класса фаций взята одна точка, наиболее соответствующая по ландшафтным характеристикам данному классу. Микроклиматические различия термического режима

ландшафтов, обусловленные влиянием подстилающей поверхности, сильнее всего выражены в ясную безоблачную погоду при минимальных скоростях ветра. По данным метеостанции Тунка были выбраны два безветренных солнечных дня за холодный и теплый периоды — 9 февраля и 1 июля 2013 г. соответственно. Для этих дней были рассчитаны минимальная и максимальная суточная температура, а также суточная амплитуда (см. таблицу). Построены карты суточных амплитуд температуры (рис. 2).

Средняя годовая температура воздуха в Тункинской котловине колеблется от $-1,5^{\circ}\text{C}$ на склонах до $-2,6^{\circ}\text{C}$ в центральной части. Наиболее холодный месяц — январь (средняя температура воздуха $-20,3^{\circ}\text{C}$), наиболее теплый — июль ($15,3^{\circ}\text{C}$). Это средние значения по данным со всей территории котловины, они не отображают особенностей микроклимата в отдельных типах ландшафтов, которые четко проявляются в зимний период, когда разница между самым теплым и самым холодным классом фаций составляет $13,3^{\circ}\text{C}$. Для срочных значений температуры воздуха в ночное время суток эта разница равна $20,5^{\circ}\text{C}$. Самая низкая средняя месячная температура воздуха в январе была отмечена в ландшафтах центральной части котловины: это класс криогидроморфных лугово-озерно-болотных фаций ($-27,6^{\circ}\text{C}$), субсаммоморфных фаций сосновых лесов ($-25,5^{\circ}\text{C}$), субгидропсаммоморфных лугово-степных фаций долины Иркуты ($-24,8^{\circ}\text{C}$), антропогенных фаций днищ котловин остепненно-луговых ($-22,7^{\circ}\text{C}$). Этим же классам фаций соответствуют самые низкие значения суточных минимумов температуры воздуха в холодный период: $-39,5^{\circ}\text{C}$ — для класса криогидроморфных фаций и -33°C — для остальных. Самые низкие значения суточных максимумов в феврале отмечены для классов субсаммоморфных фаций (сосновых лесов) (-19°C) и криогидроморфных фаций.

Следует отметить большую разницу между средней месячной (5°C) и срочной температурой воздуха ($6,5^{\circ}\text{C}$) в зимний период между различными фациями, расположенными в днище котловины. Наименьшими температурами воздуха, как средними месячными, так и срочными, характеризуются криогидроморфные фации, что обусловлено, на наш взгляд, наличием вечной мерзлоты [18], низкими абсолютными высотами (717 м над ур. моря), а также отсутствием древесной и кустарниковой растительности на площадках наблюдения. Река Иркут и сосновый лес не оказывают значительного согревающего эффекта в зимнее время, температура здесь близка к средним значениям по котловине. Наиболее высокой температурой характеризуются фации антропогенного класса.

При продвижении от центра котловины к ее бортам значения средней месячной и срочной температуры воздуха зимой повышаются. На хр. Тункинские Гольцы средняя месячная температура января составляет $-19,4^{\circ}\text{C}$ в предгорье (класс сублитоморфных фаций кедрово-лиственничных и сосновых лесов), к середине склона повышается до $-14,3^{\circ}\text{C}$ (класс сублитоморфных фаций сосново-лиственничных с кедром лесов), а в гольцовом поясе понижается до $-15,7^{\circ}\text{C}$. На хр. Хамар-Дабан средняя месячная температура января в нижней части склона составляет $-16,8^{\circ}\text{C}$ (класс сублитоморфных фаций лиственничных лесов) и растет до $-15,8^{\circ}\text{C}$ в средней части склона (класс сублитоморфных плакорных фаций). Аналогичным образом ведут себя срочные значения температуры, причем минимальные (ночные) убывают с высотой намного быстрее, чем максимальные суточные (дневные). Это обусловлено тем, что зимой инверсионные процессы ярче выражены в ночное время. Таким образом, ландшафтные условия на склонах не оказывают значительного влияния на средние месячные и срочные значения температуры в зимний период, дифференциация температуры по склону объясняется наличием мощных температурных инверсий.

Распределение по классам фаций средней месячной температуры июля более однородно, чем в январе. Разница между самым теплым и самым холодным классом составляет $7,5^{\circ}\text{C}$, а без учета гольцового класса фаций хр. Тункинские Гольцы — 3°C . Эта же разница для значений срочной температуры воздуха в июле равна 12 и 9°C в дневное и ночное время соответственно, что значительно меньше, чем различия минимальной срочной температуры в зимний период.

Наиболее прогреты в летнее время классы фаций, расположенные в центральной части котловины, средние месячные значения температуры воздуха здесь составляют $16,9$ – $17,2^{\circ}\text{C}$ для сосновых лесов, лугово-болотных, долинных, а также антропогенных фаций. В отличие от распределения средней месячной температуры воздуха в январе, разница между значениями для этих классов фаций незначительна ($0,3^{\circ}\text{C}$). Небольшая разница средней месячной температуры лесных и открытых котловинных ландшафтов может свидетельствовать о том, что охлаждающее влияние леса в летнее время слабо сказывается на средних месячных значениях.

Максимальные срочные значения температуры воздуха летом в дневное время соответствуют ландшафтам центральной части котловины, на хр. Тункинские Гольцы температура с высотой убывает. В ночное же время в ландшафтах центральной части котловины наблюдаются минимальные значения температуры воздуха, температура на склонах выше на 5 – 9°C .

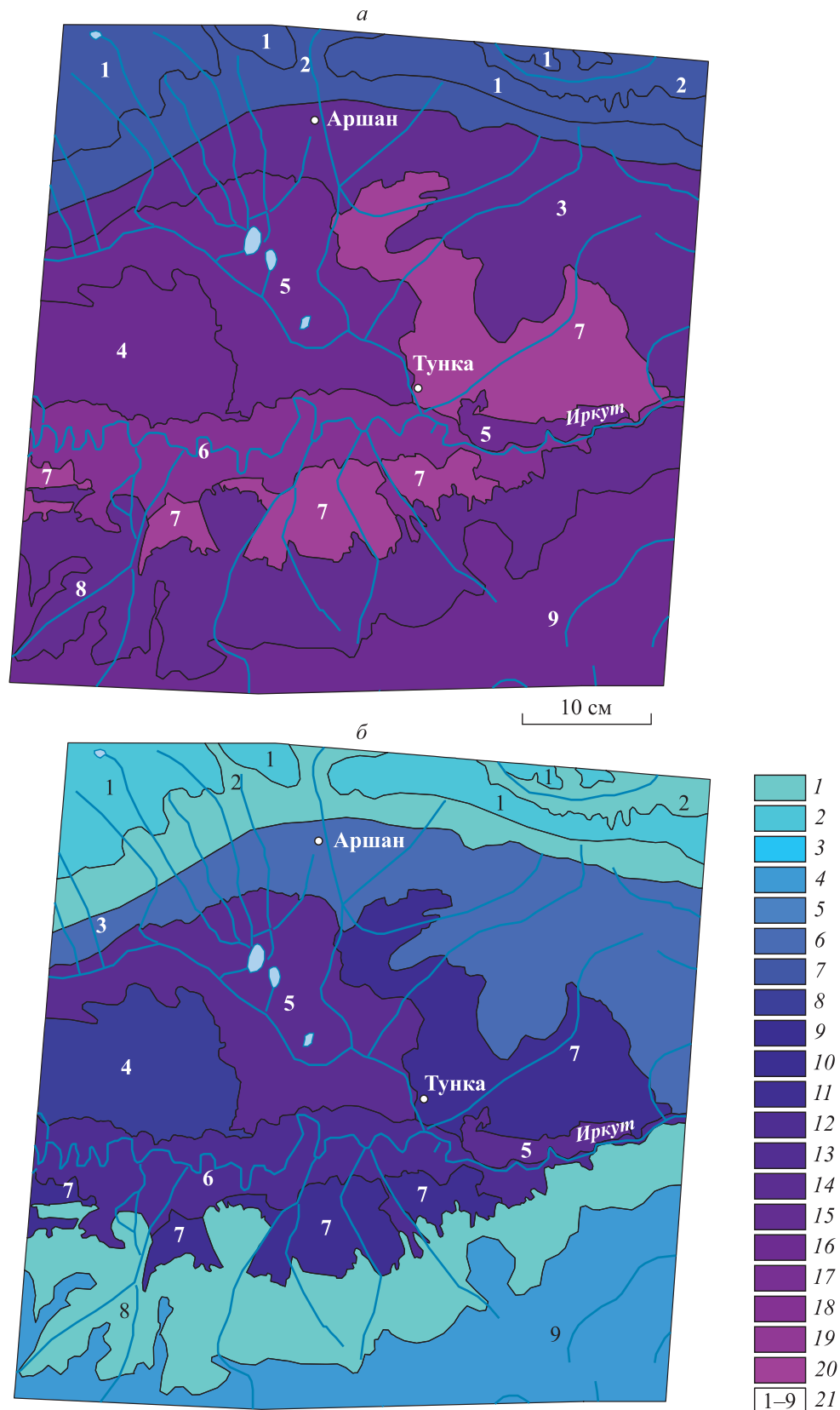


Рис. 2. Пространственное распределение суточных амплитуд температуры воздуха в пределах различных классов фаций Тункинской котловины.
 а — июль, б — январь. Амплитуда: 1 — 7–8, 2 — 8–9, 3 — 9–10, 4 — 10–11, 5 — 11–12, 6 — 12–13, 7 — 13–14, 8 — 14–15, 9 — 15–16, 10 — 16–17, 11 — 17–18, 12 — 18–19, 13 — 19–20, 14 — 20–21, 15 — 21–22, 16 — 22–23, 17 — 23–24, 18 — 24–25, 19 — 25–26, 20 — 26–27. 21 — границы и номера классов фаций.

На хр. Хамар-Дабан средняя месячная температура июля в нижней части склона составляет 15,3 °С (класс сублитоформных фаций лиственничных лесов) и снижается до 14,8 °С в средней части склона (класс сублитоформных плакорных фаций). На хр. Тункинские Гольцы этот показатель понижается от 15,8 °С в предгорье (класс сублитоформных фаций кедрово-лиственничных и сосновых лесов) до 14 °С к середине склона (класс сублитоформных фаций сосново-лиственничных с кедром лесов), а в гольцовом поясе — до 9,6 °С. Таким образом, относительно января трансформируется картина изменения средних значений температуры от центра котловины к ее бортам: центральная часть котловины сильнее прогревается летом, значения температуры уменьшаются при переходе к горно-таежным ландшафтам, с высотой температура падает. Эти тенденции не повторяются в срочных температурах за 1 июля 2013 г., температура воздуха растет с высотой и в дневное, и в ночное время. Это обусловлено инверсией температуры воздуха в рассматриваемые сутки, которая летом меньше по температурному градиенту, длительности и повторяемости, и поэтому не отражается в средних месячных значениях.

Максимальная суточная амплитуда температуры воздуха в летний и зимний период отмечена в ландшафтах центральной части котловины. При этом летом она значительно выше и достигает 26,5 °С в классе антропогенных фаций. Минимальной суточной амплитудой характеризуются ландшафты склонов хребтов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Для экстраполяции данных точечных наблюдений температуры воздуха применяются различные модели, учитывающие преимущественно характеристики рельефа, а также циркуляцию атмосферы, распределение солнечной радиации и другие параметры [19, 20]. Такие модели зачастую основаны на данных метеорологических станций, и в них заложены общие закономерности колебания температуры при изменении других параметров, например уменьшение температуры с высотой. Метеорологические станции на территории Тункинской долины расположены на равнинных открытых участках, анализируя их данные, сложно судить о климате горных районов, а также изучать микроклимат.

Кроме того, на территории котловины за счет инверсионных процессов нарушаются общие закономерности убывания температуры с высотой, что приводит к ошибочным расчетам подобных моделей. Так, проведено сравнение показателей температуры воздуха, содержащихся в глобальной климатической базе данных WorldClim [20], с результатами наших исследований. Набор данных WorldClim свободно доступен в сети Интернет и содержит ежемесячные регулярно-сетевые (растровые) данные о минимальной, максимальной и средней месячной температуре воздуха, осадках, высоте над уровнем моря и другие параметры. Сопоставление средней месячной температуры января и июля выявило, что температура июля в модели WorldClim значительно (на 5–7 °С) отличается от данных, полученных нами, но в целом корректно отражает изменение температуры с высотой (уменьшение). Температура же января в модели WorldClim также убывает с высотой, что не соответствует действительности, и отличается от данных натуральных наблюдений на 4–15 °С для бортов котловины. Это указывает на то, что в модели не учтены зимние температурные инверсии.

Также в последние десятилетия для анализа пространственного распределения поля температуры широко применяются дистанционные данные [21]. Однако они содержат неточности [14, 22], а также отражают лишь определенный временной срез (время съемки), по ним сложно судить о суточных и сезонных изменениях температуры, особенно о средних месячных значениях.

Преимущество данной работы — использование густой сети наземных наблюдений с помощью термографов DS-1922, а также метода ландшафтно-интерпретационного картографирования. Ландшафтный подход при картографировании метеорологических элементов позволяет учитывать влияющие факторы, которые уже рассмотрены при составлении ландшафтной карты, что значительно упрощает процесс картографирования.

Таким образом, проведенное исследование и картографирование сезонной температуры воздуха различных ландшафтов Тункинской котловины в разрезе классов фаций показало, что по средним годовым значениям температуры ландшафты, расположенные в центральной части котловины, более холодные, чем ландшафты ее бортов, однако температурные режимы в летний и зимний период сильно различаются. Зимой наиболее низкими значениями температуры обладают ландшафты центральной части котловины, наиболее высокими — ландшафты склонов хребтов, что обусловлено наличием зимних температурных инверсий; летом наблюдается обратная картина. Минимальной температурой воздуха за сутки с ясной и безветренной погодой в летний и зимний периоды характеризуются ландшафты центральной части котловины, максимум в зимний период приходится на склоны котловины,

в летний период — на ее центральную часть. Наибольшая суточная амплитуда температуры воздуха наблюдается в ландшафтах центральной части в летнее время, наименьшая — на склонах в зимнее время. Следовательно, на режим температуры воздуха в масштабе средних месячных значений в первую очередь влияют общие физико-географические условия на мезо- и региональном уровне (наличие высотной поясности, ориентация склона, котловинные эффекты и пр.). Непосредственно локальными особенностями ландшафта (высота площадки, почва, наличие растительности) определяются характеристики изменчивости срочной и средней суточной температуры воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Караушева А. И.** Климат и микроклимат района Кодар—Чара—Удокан. — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — 125 с.
2. **Природные** режимы степей Минусинской котловины / Отв. ред. И. А. Хлебович, В. В. Буфал. — Новосибирск: Наука, 1976. — 233 с.
3. **Геосистемы** предгорий Западного Саяна / Отв. ред. В. В. Буфал, И. А. Хлебович. — Новосибирск: Наука, 1979. — 320 с.
4. **Башалханова Л. Б., Буфал В. В., Русанова В. И.** Климатические условия освоения котловин Южной Сибири. — Новосибирск: Наука, 1989. — 149 с.
5. **Исаев А. А.** Статистика в метеорологии и климатологии. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. — 248 с.
6. **Выркин В. Б., Кузьмин В. А., Снытко В. А.** Общность и различия некоторых черт природы Тункинской ветви котловин // География и природ. ресурсы. — 1991. — № 4. — С. 61–68.
7. **Ламакин В. В.** Прошлое рельефообразование в Тункинском Прибайкалье // Землеведение. — М.; Л.: Объед. науч.-техн. изд-во, 1935. — Т. 38, вып. 1. — С. 1–26.
8. **Василенко О. В., Воропай Н. Н.** Особенности формирования климата котловин Юго-Западного Прибайкалья // Изв. РАН. Сер. географ. — 2015. — № 2. — С. 98–104.
9. **Белоусов В. М., Будэ И. Ю., Радзиминович Я. Б.** Физико-географическая характеристика и проблемы экологии юго-западной ветви Байкальской рифтовой зоны: Учеб. пособие. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2000. — 160 с.
10. **Картушин В. А.** Агроклиматические ресурсы юга Восточной Сибири. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1969. — 100 с.
11. **Ларин С. И.** Основные этапы освоения ландшафтов Тункинских котловин // Историко-географические исследования Южной Сибири. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 1991. — С. 70–85.
12. **Холбоева С. А., Намзалов Б. Б.** Степи Тункинской котловины (Юго-Западное Прибайкалье). — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. ун-та, 2000. — 116 с.
13. **Воропай Н. Н., Истомина Е. А., Василенко О. В.** Исследование температурного поля земной поверхности Тункинской котловины с использованием космических снимков Landsat // Оптика атмосферы и океана. — 2011. — Т. 24, № 1. — С. 67–73.
14. **Истомина Е. А., Василенко О. В.** Геоинформационный анализ температурного поля ландшафтов Тункинской котловины с использованием космических снимков Landsat и наземных данных // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 4. — С. 162–170.
15. **Термохрон.ру:** все о защищенных регистраторах iButton / Научно-техническая лаборатория «Электронные инструменты» [Электронный ресурс]. — <http://www.thermochron.ru> (дата обращения 01.06.2016).
16. **Ландшафтно-интерпретационное** картографирование / Отв. ред. А. К. Черкашин. — Новосибирск: Наука, 2005. — 424 с.
17. **Истомина Е. А.** Геоинформационное картографирование ландшафтов Тункинской котловины на основе метода факторально-динамической классификации // Геодезия и картография. — 2012. — № 4. — С. 32–39.
18. **Карнаухов Н. И.** Коймарские болота Тункинской котловины и основное направление их мелиорации // Труды Бурят. комплекс. науч.-исслед. ин-та. Сер. биолого-почвенная. — 1960. — Вып. 4. — С. 38–45.
19. **Stahl K., Moore R. D., Floyer J. A., Asplin M. G., McKendry I. G.** Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density // Agricultural and Forest Meteorology. — 2006. — N 139. — P. 224–236.
20. **Global Climate Data** [Электронный ресурс]. — <http://worldclim.org/> (дата обращения 18.04.2016).
21. **Li Zh., Tang B., Wu H., Ren H., Yan G., Wan Z., Trigo I. F., Sobrino J. A.** Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives // Remote Sensing of Environment. — 2013. — Vol. 131. — P. 14–37 [Электронный ресурс]. — <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712004749#> (дата обращения 01.02.2015).
22. **Krishnan P., Kochendorfer J., Dumas E. J., Guillevic P. C., Baker C. B., Meyers T. P., Martos B.** Comparison of in-situ, aircraft, and satellite land surface temperature measurements over a NOAA Climate Reference Network site // Remote Sensing of Environment. — 2015. — Vol. 165. — P. 249–264.

Поступила в редакцию 12 декабря 2016 г.