

УДК 551.58:631.436 (571.1)

И. Е. ТРОФИМОВА, А. С. БАЛЫБИНА

Институт географии СО РАН, г. Иркутск

РАЙОНИРОВАНИЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ ПО ТЕРМИЧЕСКОМУ РЕЖИМУ ПОЧВ

На основе анализа многолетних данных метеорологических станций, расположенных на Западно-Сибирской равнине, проведена классификация термического режима почвенно-грунтовой толщи мощностью 3,2 м и выполнено районирование территории по данному признаку. Установлено, что летние термические условия всей почвенной толщи имеют отчетливо выраженное широтно-зональное распределение, соответствующее постепенному повышению температуры с севера (арктическая тундра) на юг (степь). При этом в тундре незначительное летнее прогревание почв отмечено до глубины 1–1,2 м. Нижним слоям почвы свойственна отрицательная температура. В степи довольно высокие положительные температуры охватывают весь почвенный профиль. Распределение зимних термических условий несколько иное. По мере продвижения к северу и югу от средней, южной тайги и подтайги, которым присущи умеренно холодные термические условия, охлаждение почвенно-грунтовой толщи усиливается, что соответствует закономерностям распространения мощности снежного покрова. Весьма низкие отрицательные температуры характерны для тундры и лесотундры. Сезонное промерзание здесь сливается с многолетней мерзлотой. В лесостепи и степи достаточно низкие температуры проникают до глубины 1–2 м. Ниже по профилю почвы температура положительная. На глубине 3,2 м она достигает 2–3 °С. Важная особенность пространственной дифференциации летнего и зимнего термических режимов — равные или близкие величины показателей в средней, южной тайге и подтайге.

Ключевые слова: Западно-Сибирская равнина, термический режим почвенно-грунтовой толщи, среднемесячная наибольшая и наименьшая температура, классификация, районирование.

On the basis of analyzing long-term data from meteorological stations located on the West Siberian Plain, we carried out a classification of the thermal regime of the soil-ground layer 3,2 m in thickness as well as a regionalization of the territory from this attribute. It was found that the summertime thermal conditions of the entire soil layer showed a clearly pronounced latitudinal-zonal distribution corresponding to a gradual rise in temperature from north (Arctic tundra) to south (steppe). Also, a slight summertime warming of soils in the tundra was recorded to a depth of 1–1,2 m. The lower soil layers are characterized by sub-zero temperatures. Relatively high above-zero temperatures in the steppe encompass almost the entire soil profile. The distribution of wintertime thermal conditions is somewhat different. Further to the north and south of the middle and southern taiga and the subtaiga which are characterized by moderately cold thermal conditions, a cooling of the soil-ground layer is enhanced, which corresponds to the distribution patterns of snow thickness. Very low sub-zero temperatures are typical for the tundra and forest-tundra. Seasonal freezing in these areas merges with permafrost. In the forest-steppe and steppe, relatively high temperatures penetrate to depths of 1–2 m. Above-zero temperature occurs further down the soil profile. It reaches 2–3 °C at a depth of 3,2 m. An important feature of the spatial differentiation of the summer and winter thermal regimes are the equal or similar values of the indicators for the middle and southern taiga and the subtaiga.

Keywords: West Siberian Plain, thermal regime of soil-ground layer, mean monthly highest and lowest temperature, classification, regionalization.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Общая картина климатических условий Западно-Сибирской равнины достаточно широко представлена в научных статьях и монографиях. Их обзор и глубокое видение особенностей климатической организации территории даны в работе [1]. Между тем в процессе теплообмена в системе приземный слой воздуха—наземный покров—почва—почвообразующая порода солнечная энергия весьма активно преобразуется и аккумулируется в почве. С этой точки зрения тепловое состояние почвы можно рассматривать как приоритетный показатель, отражающий интегральные качества климато-экологического ресурса территории, имеющего ключевое значение в почвообразовании, геохимических и биологических процессах, а также в функционировании, структуре и динамике природных систем в целом.

Изучением теплового состояния почв начали заниматься довольно давно. Первые обзорные карты температуры почв на разных глубинах вошли в Климатический атлас СССР [2]. В последующие годы на более обширном фактическом материале, полученном в результате наблюдений на сети метеорологических станций, была выполнена классификация температурного режима почв и приведена

пространственная картина проявления этого процесса на территории СССР [3]. Схематическая карта зональных типов криогенных почв СССР дана в работе [4]. Большое внимание в ней уделено исследованию мерзлотно-термического режима почв южной части территории Западно-Сибирской равнины для целей тепловой мелиорации.

На основе фактических данных о температуре почвы, полученных экспериментально в естественных природных условиях и на метеорологических станциях южной части Западно-Сибирской равнины, рассмотрены закономерности сезонного промерзания почв и построены схематические карты по ряду показателей [5]. Подробно изучены особенности формирования и закономерности пространственно-временной изменчивости гидротермических режимов зональных почв Среднего Приобья и осуществлено среднемасштабное районирование почвенного климата [6]. Важный вклад в оценку термического режима минеральных почв и торфяных залежей привнесли экспериментальные исследования в средней и южной тайге Западной Сибири [7–12].

Отметим, что детальный анализ научных публикаций по оценке теплового состояния почв Западно-Сибирской равнины — это предмет монографических обобщений. Тем не менее даже краткий их обзор позволяет сформулировать актуальную с научной и практической точек зрения задачу. Она состоит в том, чтобы через тепловое состояние почв на региональном уровне оценить климато-экологические ресурсы территории, выявить причинную обусловленность тех или иных особенностей их пространственного изменения и в конечном итоге провести классификацию термического режима почв и районирование территории по данному признаку.

ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА

Западно-Сибирская равнина расположена между Уралом на западе и высокоприподнятым Среднесибирским плоскогорьем на востоке. На юге она простирается до подножия Казахского мелкосопочника и Горного Алтая, на севере омывается водами Карского моря.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать новые подходы и методы изучения климата почв, одним из важнейших показателей которого является термический режим почв (почвенно-грунтовой толщи мощностью 3,2 м). Оценка теплового состояния почв базируется на обширном, едином с методической точки зрения материале, получаемом в результате наблюдений на сети метеорологических станций. Однако, к сожалению, пункты наблюдений за температурой почвы распределены по территории неравномерно. В северных районах (тундра) Западно-Сибирской равнины они вообще отсутствуют. В лесотундровой зоне метеостанции единичны (Игарка, Советская Речка, Сидоровск). Несколько больше их в северной тайге. В средней и южной тайге инструментальные наблюдения за температурой почвы расширены, к тому же метеостанции расположены относительно равномерно. Вполне удовлетворительно оснащены пунктами наблюдений лесостепная и степная территории.

Одно из условий корректного проведения анализа — это использование сравнимых данных по всем метеостанциям. Для этого рассчитывались средние многолетние значения температуры почвы за один и тот же период инструментальных наблюдений. Нами взят временной отрезок 1963–1986 гг., когда измерения температуры проводились наибольшим количеством метеостанций, а данные были вполне доступны [13]. В отдельных случаях привлекались материалы метеостанций с более короткими рядами наблюдений. Для оценки изменений температуры за 1963–1986 гг. ее средние многолетние значения сравнивались с таковыми, размещенными в справочниках по климату [14].

При отсутствии измерений температуры почвы на площадках метеостанций в области сплошного распространения многолетней мерзлоты дополнительным источником информации могут быть мониторинговые наблюдения на геокриологических стационарах [15]. Довольно ценные сведения содержатся в монографиях [16–18].

Второй аспект обработки и анализа достаточно большого массива данных, включающего годовой цикл, пять или восемь стандартных глубин измерения температуры почвы, состоит в выборе показателей максимальной информативности. К ним можно отнести среднемесячные значения наибольшей и наименьшей температуры независимо от времени ее фиксирования в годовом цикле на отдельных глубинах почвенного профиля. Весьма целесообразно рассмотрение процессов сезонного промерзания–оттаивания (в условиях сезонного промерзания) или сезонного промерзания–протаивания (в условиях распространения многолетней мерзлоты) почвенно-грунтовой толщи, определение глубины проникновения температур 10 и 15 °С и других характеристик.

Обозначенный период и имеющаяся в нашем распоряжении база данных о температуре почвенно-грунтовой толщ (за исключением северных районов равнины) вполне достаточны для общей оценки многолетнего термического режима почв, его классификации и районирования территории по данному показателю.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Связь температуры почвы с температурой воздуха и высотой снежного покрова. Региональные особенности формирования и изменения в пространстве и времени температурного режима почвы зависят от многих факторов. Среди них большое значение имеют физико-географические (ландшафтные) и геоморфологические условия территории, теплофизические свойства самой почвы и почвообразующих пород, их влажность и т. д. К важному фактору относятся и современные климатические условия. Из показателей климата приземного слоя атмосферы особое место занимают температура воздуха летом, температура воздуха и высота снежного покрова зимой.

Многочисленные исследования связей между температурой почвы на глубине 0,2 м и температурой приземной атмосферы показали, что в теплый сезон года рост температуры воздуха, безусловно, влечет за собой повышение температуры почвы. Нами проведено сравнение корреляционных связей июльских температур воздуха и почвы на глубине 0,2 м со связями сумм среднесуточных температур воздуха и почвы выше 0 °С ($\Sigma T > 0$ °С) на той же глубине. И в том, и в другом случаях соотношения показателей идентичны и свидетельствуют о весьма высокой степени прямолинейной зависимости (коэффициенты корреляции 0,96).

В то же время при сохранении общего характера связей прослеживается некоторое изменение соотношений летних температур воздуха и почвы в зависимости от зональной принадлежности их количественных значений. На рис. 1 видно, что на корреляционном поле I наблюдается некоторое превышение $\Sigma T_{п20} > 0$ °С над $\Sigma T_{в} > 0$ °С. Данная ситуация типична для степной зоны. Поле II характеризует связь показателей на большей части равнины, где температуры воздуха и почвы достаточно близки. В северных районах равнины температура почвы заметно ниже температуры воздуха, что и зафиксировано на корреляционном поле III.

О таком соотношении температур воздуха и почвы на глубине 0,2 м свидетельствует и термический показатель [3], выражающий степень нагреваемости почв. Нами он рассчитан как отношение $\Sigma T_{п20} > 0$ °С к $\Sigma T_{в} > 0$ °С. Его величина в степи и лесостепи варьирует от 1 до 1,13 (климат почв засушливый). На большей части достаточно увлажненной территории числовые значения показателя нагреваемости почв равны единице или близки к ней, т. е. температуры почвы и воздуха практически равны. На севере территории его значение самое низкое (0,8–0,82), а климат почвы характеризуется избыточным увлажнением.

Совершенно по-другому происходит формирование температуры почв в холодный период года, когда в теплообмен между приземным слоем атмосферы и почвой вносит свои коррективы снежный покров. Влияние температуры воздуха и мощности

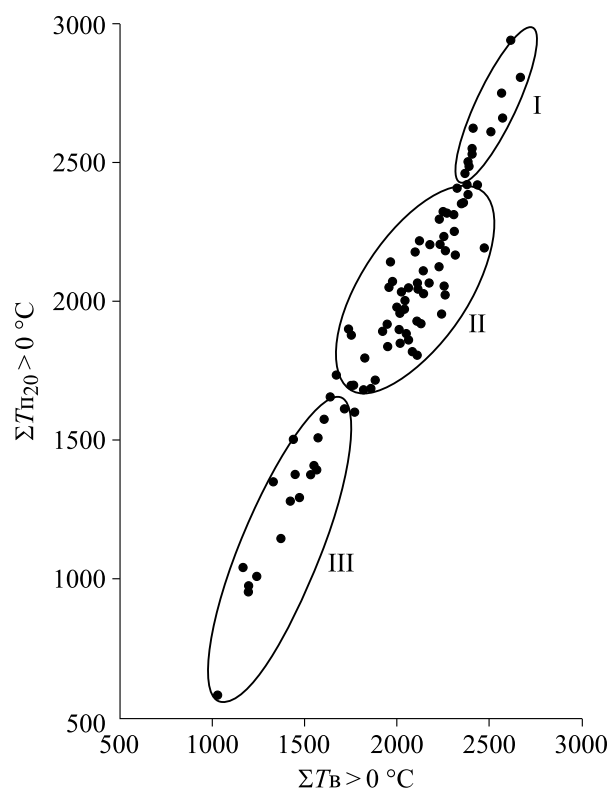


Рис. 1. Взаимосвязь сумм среднесуточных температур почвы на глубине 0,2 м ($\Sigma T_{п20} > 0$ °С) и приземного слоя воздуха ($\Sigma T_{в} > 0$ °С).

Корреляционные поля: I — для южной, II — центральной, III — северной частей Западно-Сибирской равнины.

снега на температуру почвы столь сложно, что определение вклада каждого из них весьма затруднительно. Тем более что теплоизолирующее свойство снежного покрова, обусловленное его высотой, плотностью, стратиграфией и т. д., в течение зимнего сезона существенно меняется [19].

Проанализирована связь январской температуры воздуха с январской температурой почвы на глубине 0,2 и 0,4 м. Корреляционные поля весьма размыты и для этих глубин идентичны. Основное поле представлено температурой воздуха $-17,5 \div -22,5$ °С, которая соотносится с температурой почвы на глубине 0,2 м $-0,5 \div -9$ °С (рис. 2, а). Отмечено, что конкретному значению температуры воздуха, относящемуся к указанному диапазону, соответствуют как высокие, так и низкие значения температуры почвы (поле обозначено точками). В данной ситуации коэффициент корреляции достаточно низкий, к тому же отрицательный ($-0,4$). Нет определенной корреляционной связи и между температурой воздуха ниже $-22,5$ °С (метеостанции северных и приенисейских районов) и температурой почвы, которая варьирует от -1 до -6 °С (поле обозначено треугольниками). Здесь отрицательный коэффициент корреляции еще ниже ($-0,22$). Сохраняется подобное соотношение и между $\Sigma T_{\text{в}} < 0$ °С и $\Sigma T_{\text{п}20} < 0$ °С. Можно констатировать, что на территории Западно-Сибирской равнины в зимний период роль температуры приземного слоя воздуха в формировании температуры почвы не является определяющей.

Проведена оценка связей между январской температурой почвы на глубине 0,2 м и высотой накопленного к этому времени снега на площадках метеостанций в условиях открытого места. В отличие от неопределенной связи между зимней температурой воздуха и почвы (см. рис. 2, а), в корреляционных связях температуры почвы и высоты снежного покрова явно прослеживается положительная прямолинейная зависимость, хотя на графике наблюдается значительный разброс точек (см. рис. 2, б). Общее корреляционное поле условно можно разделить на две части. В одной из них сосредоточено соотношение температуры почвы $-9 \div -0,5$ °С и высоты снежного покрова 12–45 см (поле обозначено точками). Очевидно, что росту мощности снежного покрова соответствует рост температуры почвы (коэффициент корреляции 0,67). Полученная связь характерна для большей части рассматриваемой

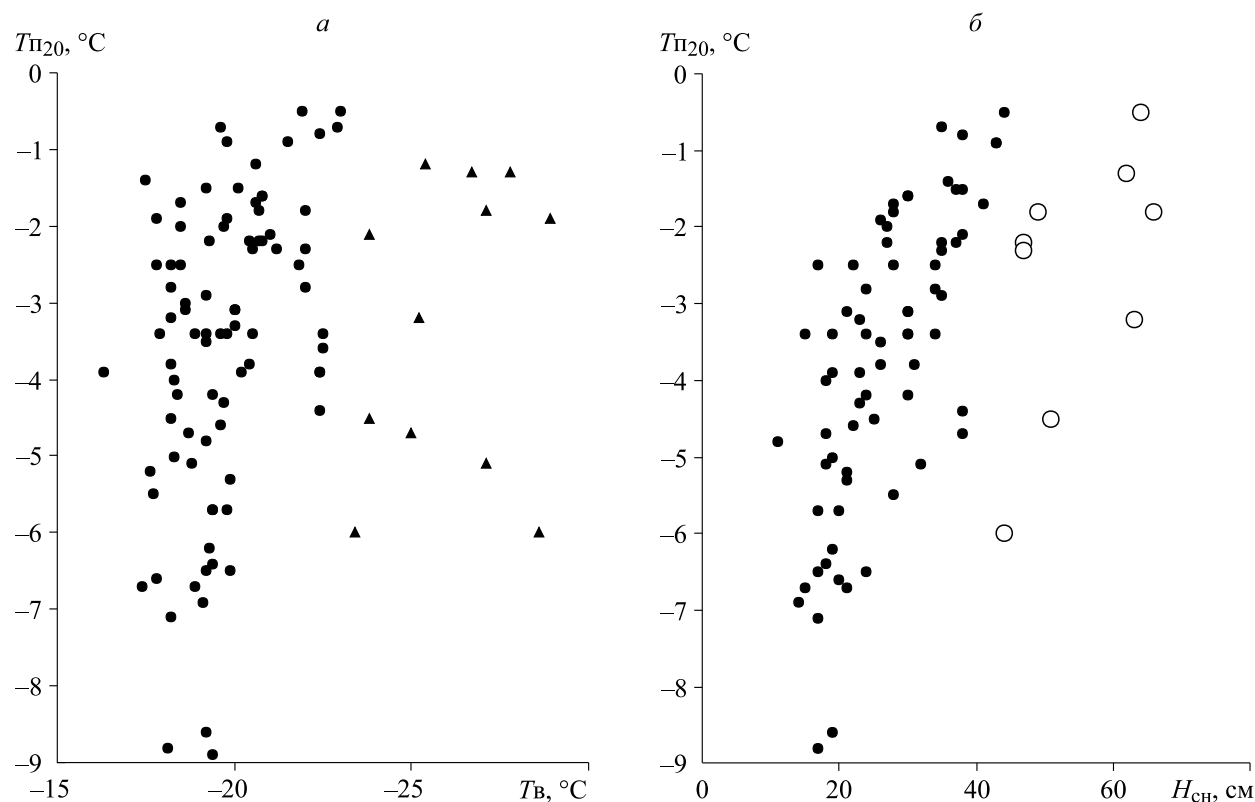


Рис. 2. Взаимосвязь температуры почвы ($T_{\text{п}20}$, °С) с температурой приземного слоя воздуха ($T_{\text{в}}$, °С) (а) и с высотой снежного покрова ($H_{\text{сн}}$, см) (б) в январе.

Характеристику полей, обозначенных точками, треугольниками и кружками, см. в тексте.

территории. В другой части значения температуры находятся в диапазоне $-6 \div -0,5$ °С, а высота снега — в пределах 45–65 см (поле обозначено кружками). Данное соотношение показателей свойственно северным и приенисейским районам (без учета показателей для тундровой зоны), где отмечено некоторое снижение коэффициента корреляции между признаками (0,55). Следует отметить, что характер связей показателей для глубин 0,2 и 0,4 м идентичен. Подобная картина корреляционных связей типична и для $\Sigma T_{п20} < 0$ °С и наибольшей за зимний сезон высоты снежного покрова.

Полученные закономерности корреляционных связей проверены на многолетних рядах (1963–2011 гг.) январской температуры почвы на глубине 0,2 м, температуры воздуха и мощности снежного покрова на четырех метеостанциях (Игарка, Берёзово, Колпашево и Славгород), расположенных в разных частях равнины. На метеостанции Славгород (степной район) наблюдается малая мощность снежного покрова с крайними значениями по годам от 3 до 34 см (среднее 15 см). Поэтому здесь самый высокий коэффициент корреляции между температурой почвы и температурой воздуха (0,66), а между температурой почвы и высотой снежного покрова он всего лишь 0,13. На других метеостанциях многолетнее снегонакопление среднее (42–54 см). Здесь коэффициенты корреляции между температурой почвы и мощностью снежного покрова достаточно высокие (0,50–0,69), а между температурой почвы и температурой воздуха существенно ниже (0,23–0,42).

Таким образом, установленные региональные зависимости температуры почвы от климатических параметров свидетельствуют о преобладающем влиянии на температуру почвы снежного покрова. Причем степень влияния как температуры воздуха, так и мощности снежного покрова зависит от территориальной принадлежности их количественных значений. Подобные закономерности отмечены и в других регионах Сибири [20].

Классификация термического режима почв. Для оценки многолетнего термического режима всей почвенно-грунтовой толщ и его классификации строятся вертикальные профили среднемесячной наибольшей и наименьшей температуры почвы. Распределение наибольшей температуры по профилю почвы соответствует инсоляционному типу (температура с глубиной понижается), а наименьшей — радиационному (температура с глубиной повышается). Их изменение по профилю почвы протекает криволинейно. Вместе с тем вертикальные температурные профили имеют разную степень кривизны, зависящую от механического состава почвообразующих пород, их однородности или слоистости. К тому же распределение температуры по глубине в сезоннопромерзающей почве отличается от характера распределения в почве, подстилаемой многолетнемерзлой породой.

Большая протяженность рассматриваемой территории с севера на юг и с запада на восток в целом обуславливает высокую степень пространственной дифференциации термического режима почв. Немалую роль в формировании поля температуры играют крупные орографические элементы рельефа (водораздельные возвышенности, увалы, гряды, плато, наклонные равнины, низменности), ориентированные в основном в субширотном и субмеридиональном направлениях [18], а также связанная с этим мозаичность почвенного покрова [21]. Это создает трудности в выборе диапазонов изменений температур, в пределах которых отразилась бы сущность глубоких физико-географических процессов, определяющих функционирование, структуру и динамику природных систем. Поэтому вполне уместно особенности пространственного изменения температуры почвы соотнести с почвенным, растительным и другими природными подразделениями, что станет для них дополнительным энергетическим звеном единого физико-географического процесса. Количественные значения температуры почвенно-грунтовой толщ, характеризующие природные территориальные структуры, послужат основой для выделения собственных границ термического состояния почв.

По многолетним фактическим данным, на равнинной территории Западной Сибири среднемесячная наибольшая температура почв на глубине 0,2 м изменяется в направлении с севера (лесотундра) на юг (степная зона) от 11–12 до 23 °С. На глубине 3,2 м в лесотундре отмечена как близкая к 0 °С температура (Игарка, Сидоровск), так и положительная — до 3 °С (Советская Речка). В степях почва на этой глубине может нагреваться до 10 °С (Славгород). Указанный диапазон зафиксированных пространственных изменений наибольшей температуры может быть существенно расширен за счет привлечения дополнительных сведений о термическом режиме почв в лесотундре и тундре.

Весь имеющийся массив данных о среднемесячной наибольшей температуре почвенной толщ разбивается на градации количественных значений, которым придается качественная характеристика по степени летнего нагревания почв. Их количество зависит от диапазона пространственных изменений показателя. Градации имеют неравные интервалы, поскольку определяются посредством соотнесения пространственного размещения значений температуры с хорошо упорядоченными, но разными по площади природными структурами. К тому же из-за существенных площадных вариаций темпе-

ратуры в градации входят значения, характерные и для сопредельных территорий. Выделенные градации наибольшей температуры отражают постепенное повышение ее значений в направлении с севера на юг, что подтверждает зональные закономерности термического режима почв теплого полугодия. Важная особенность пространственной дифференциации температуры почв — равные или близкие ее величины в средней и южной тайге, а также подтаежной зоне (мелколиственные леса), поэтому они объединены в одну градацию. В результате летние термические условия почв представлены шестью градациями (табл. 1).

Весьма специфично изменяется в пространстве температура почв в зимний период: в ее формирование свой вклад вносит снежный покров как промежуточная среда между приземным слоем воздуха и почвенной толщей. В северной части равнины средняя дата образования устойчивого снежного покрова приходится на октябрь. В южном направлении эта дата постепенно смещается на ноябрь. Снегонакопление происходит в основном в первую половину зимы и достигает своего максимума

Таблица 1

Пространственное распределение среднемесячной наибольшей температуры почвенно-грунтовой толщи в пределах Западно-Сибирской равнины

Показатель, °С	Температура на глубине, м							Качественная оценка термических условий
	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4	3,2	
Тундра (Норильск)								
T_{cp}	7,5	5,2	1,0	-0,3	-1,1	-2,0	-2,3	I. Очень холодные
T_1-T_2	7,9-7,2	5,6-4,9	1,3-0,7	-0,3÷-0,4	-1÷-1,2	-1,8÷-2,1	-2,0÷-2,6	
Δ	0,7	0,7	0,6	0,1	0,2	0,3	0,6	
Лесотундра ($n = 3$)								
T_{cp}	11,7	9,1	6,6	4,5	3,1	1,7	0,9	II. Холодные
T_1-T_2	12,3-11,2	10,2-8,6	7,5-5,4	5,8-3,0	5,0-1,4	3,7-0,1	3,0÷-0,6	
Δ	1,1	1,6	2,1	2,8	3,6	3,6	3,6	
Северная тайга ($n = 12$)								
T_{cp}	14,2	12,7	10,7	9,4	8,4	6,6	5,5	III. Умеренно холодные
T_1-T_2	16,6-11,4	15,2-10,4	13,2-8,4	11,8-7,2	10,7-6,4	9,0-4,8	7,5-3,8	
Δ	5,2	4,8	4,8	4,6	4,3	4,2	3,7	
Средняя тайга ($n = 22$)								
T_{cp}	16,8	15,1	13,0	11,7	10,5	8,7	7,3	IV. Умеренно теплые
T_1-T_2	18,6-14,5	17,1-13,0	14,8-11,4	13,3-10,2	12,2-9,2	10,2-7,5	8,7-6,0	
Δ	4,1	4,1	3,4	3,1	3,0	2,7	2,7	
Южная тайга ($n = 17$)								
T_{cp}	17,1	15,4	13,4	11,9	10,7	8,9	7,6	IV. Умеренно теплые
T_1-T_2	18,8-14,8	17,6-13,8	15,2-12,0	13,8-10,6	12,6-9,4	10,6-7,7	8,8-6,4	
Δ	4,0	3,8	3,2	3,2	3,2	2,9	2,4	
Подтайга ($n = 19$)								
T_{cp}	17,4	15,7	13,5	12,1	10,8	9,0	7,7	V. Теплые
T_1-T_2	19,0-15,0	17,6-14,0	15,4-12,2	13,8-10,6	12,6-9,8	10,6-7,8	8,8-6,4	
Δ	4,0	3,6	3,2	3,2	2,8	2,8	2,4	
Лесостепь ($n = 27$)								
T_{cp}	18,4	16,3	13,7	12,1	10,9	9,0	7,7	V. Теплые
T_1-T_2	20,2-15,6	18,5-14,2	15,8-12,2	14,2-10,6	12,8-9,8	10,6-7,8	8,8-6,2	
Δ	4,4	4,3	3,6	3,6	3,0	2,8	2,6	
Степь ($n = 10$)								
T_{cp}	20,2	18,1	15,2	13,5	12,1	10,1	8,6	VI. Очень теплые
T_1-T_2	22,7-18,0	20,7-16,2	18,1-13,6	16,1-12,2	14,4-10,9	12,1-9,0	10,0-7,5	
Δ	4,7	4,5	4,5	3,9	3,5	3,1	2,5	

Примечание. Здесь и в табл. 2: T_{cp} — среднее площадное значение температуры; T_1-T_2 — предел ее изменений (градация); Δ — величина интервала; n — число метеостанций, расположенных на данной площади.

преимущественно в марте. Сход снежного покрова начинается в апреле (южная часть равнины) и заканчивается в мае (крайний север). Его мощность в пределах равнины существенно различается. В северном и южном направлении от таежной зоны она уменьшается. С запада на восток наибольшая высота снежного покрова зафиксирована в долине Енисея [22].

Среднемесячная наименьшая температура почвы варьирует в пространстве (лесотундра–степь) в пределах от -10 до -1 °С на глубине 0,2 м и от $-0,4$ до 3 °С на глубине 3,2 м. Определение градаций наименьшей температуры и их интервалов проводится по той же схеме, что и для наибольшей температуры. Закономерности пространственной дифференциации наименьшей температуры почв отличаются от закономерностей распределения наибольшей.

Умеренно холодные термические условия почв зимой свойственны среднетаежной, южнотаежной и подтаежной территориям. По мере продвижения к северу и югу от нее охлаждение почв усиливается. Самые холодные почвы в тундре и лесотундре, где сезонное промерзание сливается с многолетней мерзлотой. Сильное охлаждение верхних слоев почвы наблюдается в лесостепи и степи. По результатам анализа термические условия холодного периода, как и теплого, разделены на шесть градаций (табл. 2).

Таблица 2

Пространственное распределение среднемесячной наименьшей температуры почвенно-грунтовой толщи в пределах Западно-Сибирской равнины

Показатель, °С	Температура на глубине, м							Качественная оценка термических условий
	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4	3,2	
Тундра (Норильск)								
T_{cp}	-11,8	-10,6	-9,0	-8,0	-7,4	-6,0	-5,4	1. Весьма суровые
T_1-T_2	-8,0÷-15,7	-7,1÷-14,0	-6,3÷-11,7	-5,5÷-10,6	-5,0÷-9,8	-4,0÷-8,0	-3,8÷-6,9	
Δ	7,7	6,9	5,4	5,1	4,8	4,0	3,1	
Лесотундра (n = 3)								
T_{cp}	-4,9	-4,3	-3,1	-2,1	-1,4	-0,6	-0,1	2. Суровые
T_1-T_2	-2,0÷-7,1	-1,5÷-6,0	-0,6÷-4,6	-0,2÷-3,6	0,1÷-2,9	0,2÷-1,4	0,3÷-0,4	
Δ	5,1	4,5	4,0	3,4	3,0	1,6	0,7	
Степь (n = 10)								
T_{cp}	-7,2	-5,8	-3,5	-1,9	-0,6	1,1	2,2	3. Очень холодные
T_1-T_2	-4,0÷-9,8	-2,7÷-8,4	-0,7÷-5,6	0,2÷-3,6	1,0÷-2,2	2,3-0,2	3,0-1,6	
Δ	5,8	5,7	4,9	3,8	3,2	2,1	1,4	
Лесостепь (n = 27)								
T_{cp}	-5,4	-3,9	-1,9	-0,7	0,2	1,4	2,2	4. Холодные
T_1-T_2	-3,0÷-8,0	-1,8÷-6,6	-0,4÷-4,5	0,6÷-3,2	1,4÷-1,5	2,4-0,4	3,0-1,6	
Δ	5,0	4,8	4,1	3,8	2,9	2,0	1,4	
Северная тайга (n = 12)								
T_{cp}	-3,6	-2,7	-1,3	-0,7	0,1	0,8	1,1	5. Относительно холодные
T_1-T_2	-1,4÷-6,6	-0,8÷-5,5	0,2÷-3,4	0,5÷-2,4	1,0÷-1,5	1,6-0	2,0-0,7	
Δ	5,2	4,7	3,6	3,1	2,5	1,6	1,3	
Средняя тайга (n = 22)								
T_{cp}	-2,9	-2,0	-0,7	0,1	0,6	1,3	1,8	6. Умеренно холодные
T_1-T_2	-0,8÷-5,8	-0,2÷-4,4	0,5÷-2,0	1,2÷-0,6	1,8-0,2	2,4-0,8	2,7-1,2	
Δ	5,0	4,2	2,5	1,8	1,6	1,6	1,5	
Южная тайга (n = 17)								
T_{cp}	-3,3	-2,0	-0,7	0,1	0,8	1,8	2,4	6. Умеренно холодные
T_1-T_2	-1,2÷-5,0	-0,6÷-3,8	0,4÷-2,2	1,1÷-1,1	1,7-0	2,7-1,2	3,0-2,0	
Δ	3,8	3,2	2,6	2,2	1,7	1,5	1,0	
Подтайга (n = 19)								
T_{cp}	-3,3	-2,4	-1,0	0	0,6	1,7	2,5	6. Умеренно холодные
T_1-T_2	-1,2÷-5,4	-0,5÷-4,3	0,3÷-2,6	1,0÷-1,3	1,7÷-0,6	2,6-0,8	3,0-1,8	
Δ	4,2	3,8	2,9	2,3	2,3	1,8	1,2	

Районирование территории по термическому режиму почв. Для построения схемы районирования Западно-Сибирской равнины использованы количественные и качественные градации температуры почв, представленные в табл. 1 и 2. Учитывая, что термические процессы в почвенной толще в летний и зимний периоды протекают под влиянием разного сочетания климатических факторов, районирование территории по данным показателям проводится раздельно. Вместе с тем существующие способы картографического изображения позволяют воспроизвести на схеме районирования несколько слоев информации [1]. На рис. 3 приведено совмещенное районирование территории по показателям термического режима почв летнего и зимнего периодов года. В процессе районирования широко привлекалась информация о почвенном и растительном покрове, климатических и геокриологических условиях и др. [1, 16–18, 21, 23, 24].

На территории Западно-Сибирской равнины почвенному покрову, как и другим компонентам природной системы, присущи широтно-зональные закономерности в распространении, которые проявляются в постепенном переходе с севера (тундра) на юг (степь) в виде зон (подзон).

Тундровая зона в природном отношении неоднородна. Летом здесь четко обособляются арктическая тундра с избыточно влажным и очень холодным климатом и субарктическая тундра с повышено-влажным и холодным климатом. Сложнее деление территории по климатическим условиям холодного периода года. В тундре Гыданского полуострова зимой климат суровый и малоснежный. На полуостровах Ямал и Тазовский он менее суровый и малоснежный. В зависимости от элементов рельефа, литологии материнских пород и других факторов среды изменяется и почвенный покров. Наиболее типичны для зоны маломощные тундровые глеевые почвы, сформировавшиеся на породах разного механического состава.

Как уже отмечалось, на площадках метеостанций данной территории отсутствуют наблюдения за температурой почвы. Вместе с тем в этом суровом, интенсивно осваиваемом крае весьма активно проводились исследования по распространению многолетнемерзлых пород, их температурному режиму и другим характеристикам. Здесь практически на всех элементах рельефа развита низкотемпературная многолетняя мерзлота.

В северной части зоны температура многолетнемерзлых пород составляет $-8 \div -10 \text{ }^\circ\text{C}$, а у южной границы зоны она повышается до $-2 \div -4 \text{ }^\circ\text{C}$. Мощность слоя сезонного промерзания–протаивания многолетней мерзлоты зависит от механического состава породы, толщи снежного покрова и составляет около 0,5–1,5 м. Для получения достоверной информации о состоянии и изменениях геокриологических условий на стационарах проводится мониторинг криолитозоны [15].

По имеющейся достаточно объемной информации о статических характеристиках многолетней мерзлоты и о текущем состо-

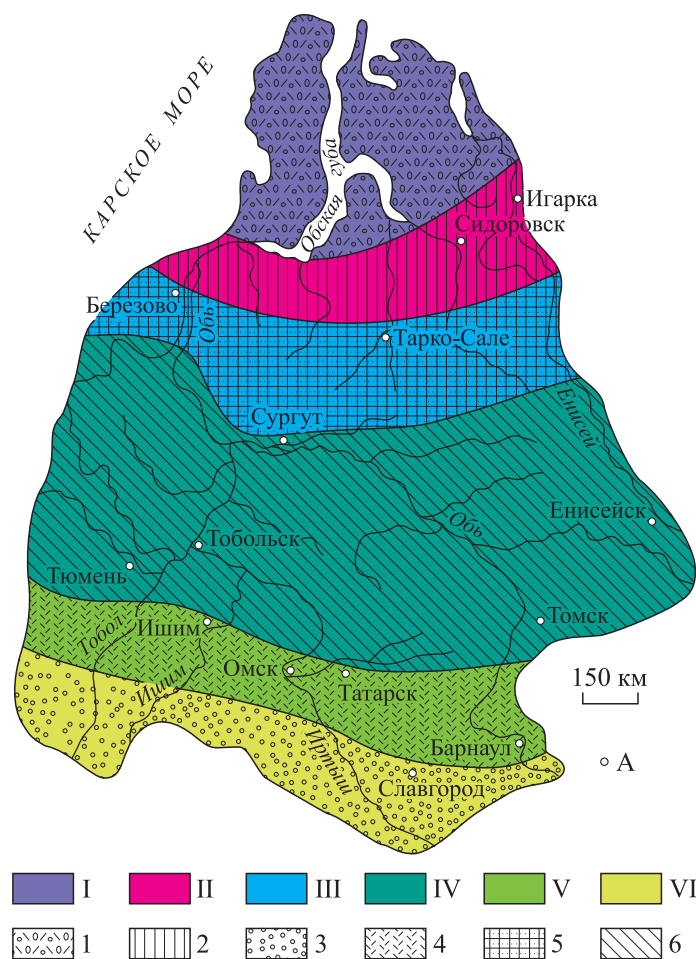


Рис. 3. Карта районирования Западно-Сибирской равнины по термическому режиму почвенно-грунтовой толщи.

A — метеорологические станции. Характеристики термического режима почвенно-грунтовой толщи теплого периода: I — очень холодные, II — холодные, III — умеренно холодные, IV — умеренно теплые, V — теплые, VI — очень теплые. Характеристики термического режима почвенно-грунтовой толщи холодного периода: 1 — весьма суровые, 2 — суровые, 3 — очень холодные, 4 — холодные, 5 — относительно холодные, 6 — умеренно холодные.

янии верхних горизонтов криолитозоны дана качественная оценка термического состояния тундровых почв. Они охарактеризованы как переувлажненные и очень холодные летом (I) и весьма суровые зимой (1) (см. табл. 1 и 2). Количественно термические условия в некотором приближении можно оценить по температуре почв близлежащего района сопредельной среднесибирской тундры (метеостанция Норильск), которая вместе с тем существенно изменяется даже при перемещении пункта измерений на небольшое расстояние. В данной ситуации зафиксированы весьма значительные различия температур в холодный период года, а в теплый они практически равны (см. табл. 1 и 2). Отмечено слияние сезонного промерзания почвы с многолетнемерзлыми породами на глубине около 1 м. Температура 5 °С проникает на глубину не более 0,5 м, активная температура (>10 °С) отсутствует.

Южнее тундры узкой полосой простирается зона лесотундры (редколесье). Климат теплого периода года здесь влажный и менее холодный, чем в тундре. Зима малоснежная и не такая суровая, и только в приенисейском районе она суровая и более снежная. Наряду с тундровыми почвами здесь на слабохолмистых равнинах развиты глеево-подзолистые, мощность которых невелика. В лесотундровой зоне распространены как сезонно-мерзлые, так и многолетнемерзлые породы, причем последние преобладают. Глубина промерзания—протаивания мерзлых толщ варьирует в пространстве в широком диапазоне. Их среднегодовая температура значительно выше, чем в тундре, температура талых пород составляет 0–3 °С.

Наблюдения за температурой разных по механическому составу почвенно-грунтовых толщ проводятся на отдельных метеостанциях, расположенных в восточной части лесотундры. Здесь в одних местоположениях (Игарка, Сидоровск) сезонное промерзание сливается с многолетней мерзлотой, в других (Советская Речка) оно достигает глубины 1,2 м, а ниже сохраняется температура, близкая к области фазовых переходов. Глубина проникновения температуры 5 °С составляет 1–1,6 м, а 10 °С — лишь 0,4 м. Средние площадные значения наибольшей и наименьшей температуры несколько ориентировочны, так как рассчитаны по данным только указанных трех метеостанций. В целом по качественной оценке термические условия почв лесотундры можно охарактеризовать как холодные в летний сезон (II) и суровые (2) зимой (см. табл. 1 и 2).

Южнее лесотундры простирается обширная, сильно заболоченная таежная зона. По природным условиям она неоднородна. Это нашло отражение в выделении четырех широтно-зональных подзон с различной природной обстановкой.

Подзона северной тайги занимает достаточно большую территорию. Летом климат здесь умеренно влажный и прохладный, зимой в западной и центральной частях подзоны — холодный и снежный, в восточной — более холодный. По сравнению с лесотундрой здесь несколько увеличивается мощность снежного покрова. Для всей территории подзоны характерно совместное распространение многолетнемерзлых и сезонно-мерзлых пород. Геокриологические условия в северной части близки к условиям лесотундры. В южном направлении возрастают среднегодовые температуры мерзлых толщ, увеличивается площадь сезонно-мерзлых пород. Почвенный покров в пределах подзоны разнообразен. Господствуют приуроченные к наиболее дренированным участкам глеево-подзолистые почвы, которые формируются на разных по механическому составу породах. Помимо зональных почв здесь распространены подзолисто-болотные и торфяно-болотные.

В северной тайге температура существенно выше, чем в лесотундре. Среднее площадное значение наибольшей температуры составляет 14,2 °С на глубине 0,2 м и 5,5 °С на глубине 3,2 м. Ее варьирование в пределах подзоны весьма значительно. Сильнее нагреваются почвы в центре подзоны и в ее западной части, слабее — в приенисейском районе. Глубина проникновения температуры 10 °С составляет 0,4–1,8 м, а 15 °С — 0,4 м. Среднее площадное значение наименьшей температуры составляет –3,6 °С на глубине 0,2 м и 1,1 °С на глубине 3,2 м. В центре и в западной части подзоны почвы зимой охлаждаются существенно, чем в приенисейских районах. Глубина промерзания почвы — от 0,8 до 2,4 м. В целом в северной тайге по качественной оценке термические условия почв можно охарактеризовать как умеренно холодные в летний сезон (III) и относительно холодные зимой (5) (см. табл. 1 и 2).

В южном направлении от северной тайги простирается подзона средней тайги, которой присуще некоторое однообразие природных условий. В основном это сочетание болотных и лесных массивов, расположенных на разных гипсометрических уровнях. Территория практически полностью занята сезонно-мерзлыми породами, но возможно образование локальных очагов многолетней мерзлоты. Для подзоны характерны летние пониженно-влажные и относительно теплые климатические условия. Зима снежная (многоснежная), в западной части менее холодная, чем в восточной. Почвенный

покров неоднороден. Подзолистые почвы распространяются на дренированных участках и сочетаются с подзолисто- и торфяно-болотными. По долинам крупных рек развиваются аллювиальные почвы.

Среднемесячные наибольшие температуры всей почвенной толщи в средней тайге значительно выше таковых в северной тайге, но их площадные вариации несколько ниже. Глубина проникновения температуры 10 °С находится в пределах 1,2–2,6 м, а 15 °С не опускается глубже 0,8 м. Среднемесячные наименьшие температуры почвы здесь также выше, чем в северной тайге. Глубина сезонного промерзания почв — 0,6–1,4 м. Исходя из количественных значений температур почвы, их можно отнести к умеренно теплым летом (IV) и умеренно холодной зимой (6) (см. табл. 1 и 2).

Территория южной тайги менее заболочена. Геокриологические условия здесь близки к условиям средней тайги. Климат недостаточно влажный и умеренно теплый летом, зимой менее холодный, чем в средней тайге, и снежный. Для этой подзоны типичны дерново-подзолистые почвы, которые сочетаются с подзолисто- и торфяно-болотными почвами.

Термические условия всей почвенной толщи на территории южной тайги практически идентичны таковым в средней тайге, хотя площадные вариации среднемесячной наименьшей температуры в верхних слоях (0,2–0,4 м) несколько ниже, чем в средней тайге. Температура 10 и 15 °С проникает немного глубже, а сезонное промерзание близко к промерзанию среднетаежных почв. Поэтому термические условия почв здесь, как и в средней тайге, можно отнести к умеренно теплым летом (IV) и умеренно холодным зимой (6) (см. табл. 1 и 2).

Подзона мелколиственных лесов (подтайги) протягивается узкой полосой с запада на восток, но по природным условиям она неоднородна. В северной ее части встречаются лесные массивы, в южной части — обширные участки степей. Климат здесь слабо засушливый и достаточно теплый летом, умеренно холодный и малоснежный зимой. На данной территории распространены сезонно-мерзлые породы, но могут встречаться перелетки и мелкие участки многолетней мерзлоты. Анализ многочисленных сведений о расположении островов мерзлых пород проведен в работе [25]. Самое южное местоположение многолетней мерзлоты в ядре бугра пучения обнаружено в восточной части подзоны [26].

На территории подзоны дерново-подзолистые почвы соседствуют с небольшими участками серых лесных почв и выщелоченных или оподзоленных черноземов, сформированных на лёссовидных суглинках или легких породах. Летний и зимний термические режимы почвенной толщи практически идентичны режимам в средней и южной тайге. Активные температуры опускаются на глубину 1,6–2,8 м, а верхний слой (до 0,8 м) нагревается до 15 °С. Глубина сезонного промерзания почв колеблется от 0,6 до 2 м. Термические условия почв здесь, как на среднетаежной и южнотаежной территориях, можно охарактеризовать как умеренно теплые летом (IV) и умеренно холодные зимой (6) (см. табл. 1 и 2).

Южнее подзоны мелколиственных лесов располагается лесостепная зона. Ей свойственны волнисто-увалистый рельеф, хорошо дренированные слегка волнистые междуречья, слабодренированные обширные понижения или замкнутые котловины. Здесь преобладают лугово-черноземные почвы в сочетании с меньшими по площади солонцеватыми почвами и солонцами. Для восточной и западной частей зоны характерны черноземы выщелоченные и оподзоленные. В долинах крупных рек развиваются аллювиальные почвы. В формирование термических условий почв существенный вклад вносит атмосферный климат, который в лесостепи летом умеренно засушливый и теплый, а зимой умеренно холодный и малоснежный. Термический режим почв чувствителен даже к незначительным различиям в рельефе (западины, ложбины, гривы и пр.).

В лесостепной зоне среднемесячная наибольшая температура только в верхнем слое (до 0,4 м) несколько выше, чем в подзоне мелколиственных лесов, в более глубоких слоях температуры практически равны. Пределы ее изменений в пространстве составляют от 4,4 °С (глубина 0,2 м) до 2,6 °С (глубина 3,2 м), но определенной закономерности в изменении температуры не наблюдается. Некоторая тенденция к более интенсивному нагреванию почвы отмечается в восточной части зоны и частично в средней. Температура 10 °С проникает до глубины 1,4–2,8 м, 15 °С — до 1 м. В отдельных местоположениях самый верхний слой (до 0,2 м) может нагреваться до 20 °С. Как результат малой мощности снежного покрова (30–40 см) сезонное промерзание почвы здесь составляет 1–2 м, а значения наименьшей температуры по всему почвенному профилю значительно ниже, чем в подтайге. Внутризональное варьирование наименьшей температуры достаточно высокое. Лесостепной зоне соответствуют теплые термические условия почв летом (V) и холодные зимой (4) (см. табл. 1 и 2).

Степная зона занимает самую южную часть равнины и характеризуется засушливым и очень теплым атмосферным климатом летом с характерными суховейными, сильно иссушающими и разру-

шающими почву весенними ветрами. Климатические условия зимой умеренно холодные и малоснежные. Поскольку равнинный рельеф зоны неоднороден (плато, наклонные равнины, низменности и более мелкие элементы рельефа), то и почвенный покров характеризуется большой пестротой. Здесь преобладают черноземы обыкновенные, южные, солонцеватые, а также темно-каштановые почвы и солонцы. Формируются почвы на породах разного механического состава (суглинки, лёссовидные суглинки, супеси и пески). В равнинной степи даже небольшие различия в рельефе (западины, ложбины, гряды и пр.) заметно влияют на свойства почв, а следовательно, и на их термические условия.

Летняя температура всей почвенной толщи в степи значительно выше, чем в лесостепи. Самое интенсивное нагревание темно-каштановой почвы легкого механического состава наблюдается в Кулундинской степи (метеостанция Славгород). В других местоположениях данного района уровень нагревания почв несколько ниже. Среднемесячная наибольшая температура почвы в южной части зоны незначительно превышает температуру в ее северной части. В направлении с востока на запад отмечается некоторое ее понижение. Различие между крайними значениями наибольшей температуры в пределах зоны составляет 4,7 °С на глубине 0,2 м и 2,5 °С на глубине 3,2 м. Температура 10 °С достигает глубины 2–3,2 м. На глубине 0,2 м она держится около трех месяцев. Температура 15 °С фиксируется на глубине 0,6–1,4 м. В связи с тем что снежный покров здесь устанавливается поздно и имеет малую мощность, к тому же с больших площадей снег сдувается ветром, зимой почвы охлаждаются сильнее, чем в лесостепи. Более того, до глубины 1 м почвы охлаждаются значительно, чем в лесотундре. Среднемесячная наименьшая температура на глубине 0,2 м колеблется в пределах $-4 \div -9,8$ °С, на глубине 3,2 м — 3–1,6 °С. Сезонное промерзание почв достигает 1,2–2,4 м. В целом летние термические условия степных почв очень теплые (VI), а зимние — очень холодные (3) (см. табл. 1 и 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный способ районирования территории Западно-Сибирской равнины по термическому режиму почвенно-грунтовой толщи мощностью 3,2 м позволяет систематизировать знания об интегральных климато-экологических ресурсах, количественная оценка которых дополнит энергетическое звено единого физико-географического процесса. Поскольку районирование построено на основе количественных показателей, полученные результаты имеют как определенный научный интерес, так и практическую значимость. Оценка интегральных термических ресурсов особенно важна для северных и южных районов равнины с разной антропогенной нагрузкой на наземный и почвенный покров.

Результаты анализа достаточно большого объема информации показали, что летние термические условия всей почвенной толщи имеют отчетливо выраженное широтно-зональное распределение, соответствующее постепенному повышению температуры с севера (арктическая тундра) на юг (степь). Зимнее распределение несколько иное. К северу и югу от средней, южной тайги и подтайги, которым свойственны умеренно холодные термические условия, охлаждение почвенно-грунтовой толщи усиливается, что обусловлено особенностями распространения мощности снежного покрова.

Следует отметить, что проведенный анализ и районирование территории отражают лишь общий региональный фон термических условий минеральной почвенно-грунтовой толщи, который присущ положительным формам рельефа открытых (безлесных) пространств. Вне поля зрения остается проблема оценки климато-экологических ресурсов в естественных условиях (лес, болото, пойма и т. д.), решение которой возможно лишь при расширении экспериментальных исследований в физико-географических подразделениях разного масштабного уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова И. Е., Балыбина А. С. Классификация климатов и климатическое районирование Западно-Сибирской равнины // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 2. — С. 11–21.
2. Климатический атлас СССР / Гл. ред. Ф. Ф. Давитая. — М.: ГУГ СМ СССР, 1960. — Т. 1. — 181 с.
3. Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. — М.: Колос, 1972. — 359 с.
4. Чигир В. Г. Тепловая мелиорация длительно-сезонномерзлотных почв. — М.: Наука, 1978. — 146 с.
5. Гиличинский Д. А. Сезонная криолитозона Западной Сибири. — М.: Наука, 1986. — 143 с.
6. Азьмука Т. И. Климат почв Среднего Приобья. — Новосибирск: Наука, 1986. — 120 с.
7. Природные режимы средней тайги Западной Сибири / Отв. ред. В. С. Михеев. — Новосибирск: Наука, 1977. — 302 с.

8. **Климатические** условия и микроклимат таежных геосистем Сибири / Отв. ред. В. В. Буфал, Л. П. Сорокина. — Новосибирск: Наука, 1980. — 229 с.
9. **Структура** и функционирование южнотаежных геосистем Прииртышья / Е. Г. Нечаева, А. М. Антоненко, Ю. В. Кустов, М. Я. Лайвиньш, Н. Л. Линевич, З. И. Никитина, Ю. В. Полошкин. — Новосибирск: Наука, 1982. — 120 с.
10. **Трофимова И. Е.** Термический режим почвогрунтов в западно-сибирских среднетаежных геосистемах водораздельного типа // География и природ. ресурсы. — 1984. — № 2. — С. 62–69.
11. **Трофимова И. Е.** Сезонная ритмика термических процессов в почвах западно-сибирских сосновых сообществ // География и природ. ресурсы. — 1985. — № 3. — С. 66–73.
12. **Дюкарев Е. А., Головацкая Е. А.** Особенности температурного режима торфяной залежи олиготрофного болота в южной тайге Западной Сибири // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 1. — С. 65–71.
13. **Метеорологический** ежемесячник. — Омск, 1963–1986. — Вып. 17, ч. 2; Новосибирск, 1963–1986. — Вып. 20, ч. 2; Вып. 21, ч. 2. — № 1–13.
14. **Справочник** по климату СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1965. — Вып. 17, ч. 2. — 276 с.; 1965. — Вып. 20, ч. 2. — 369 с.; 1967. — Вып. 21, ч. 2. — 504 с.; 1968. — Вып. 17, ч. 4. — 259 с.; 1969. — Вып. 20, ч. 4. — 332 с.; 1969. — Вып. 21, ч. 4. — 402 с.
15. **Павлов А. В.** Мониторинг криолитозоны. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 229 с.
16. **Шполянская Н. А.** Мерзлая зона литосферы Западной Сибири и тенденции ее развития. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. — 168 с.
17. **Геокриологическое** районирование Западно-Сибирской плиты / В. Т. Трофимов, Ю. Б. Бадю, Ю. К. Васильчук, П. И. Кашперюк, В. Г. Кудряшов, Н. Г. Фирсов. — М.: Наука, 1987. — 220 с.
18. **Трофимов В. Т.** Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. — 347 с.
19. **Павлов А. В.** Энергообмен в ландшафтной сфере Земли. — Новосибирск: Наука, 1984. — 255 с.
20. **Трофимова И. Е., Балыбина А. С.** Мониторинг температуры почвы и толщины снежного покрова на территории Иркутской области // Лед и снег. — 2012. — № 1 (117). — С. 62–68.
21. **Ковалёв Р. В., Трофимов С. С.** Географические закономерности распределения почвенного покрова Западной Сибири // Географические проблемы Сибири. — Новосибирск: Наука, 1972. — С. 68–106.
22. **Копанёв И. Д.** Снежный покров на территории СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 181 с.
23. **Западная Сибирь.** Природные условия и естественные ресурсы СССР / Отв. ред. Г. Д. Рихтер. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 475 с.
24. **Растительный** покров Западно-Сибирской равнины / И. С. Ильина, Е. И. Лапшина, Н. Н. Лавренко, Л. И. Мельцер, Е. А. Романова, Б. А. Богоявленский, В. Д. Махно. — Новосибирск: Наука, 1985. — 251 с.
25. **Васильчук Ю. К.** Современное положение южной границы зоны многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской низменности // Криосфера Земли. — 2013. — Т. 17, № 1. — С. 17–27.
26. **Дюкарев А. Г., Пологова Н. Н.** Современные криоморфозы в ландшафтах южной тайги Западной Сибири // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 1. — С. 96–100.

Поступила в редакцию 19 января 2015 г.