НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ

Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 1, с. 7–20 **http://www.izdatgeo.ru**

ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.525 (09)

ИСТОРИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОЧВЫ НА СЕТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ РОССИИ

С.С. Быховец, В.А. Сороковиков, Р.А. Мартуганов*, В.Г. Мамыкин, Д.А. Гиличинский

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Пущино, Московская обл., ул. Институтская, 2, Россия,
bykhovets@issp.serpukhov.su , gilichin@issp.serpukhov.su*

** Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) Росгидромета,
249020, Обнинск, Калужская обл., ул. Королева, 6, Россия, rafael@meteo.ru*

Температура почв является одной из важнейших мерзлотных характеристик. Она позволяет судить о чувствительности ландшафтов к антропогенному воздействию и климатическим флуктуациям. Основные этапы развития наблюдений воссозданы с использованием обзоров по истории метеорологических наблюдений в России. Вековые наблюдения за реакцией 1/6 суши на изменения температуры воздуха являются уникальными в мировом масштабе.

Температура почв, метеорологические станции, история

HISTORY OF SOIL TEMPERATURE MEASUREMENTS AT THE NETWORK OF METEOROLOGICAL STATIONS IN RUSSIA

S.S. Bykhovets, V.A. Sorokovikov, R.A. Martuganov*, V.G. Mamykin, D.A. Gilichinsky

*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS,
142290, Pushchino, Moscow region, Institutskaya str., 2, Russia,
bykhovets@issp.serpukhov.su, gilichin@issp.serpukhov.su*

** All-Russian Research Institute of Hydro-Meteorological Information – World Data Center (RIHMI-WDC) of Russian Hydro-Meteorological Service,
249020, Obninsk, Kaluga region, Korolev str., 6, Russia, rafael@meteo.ru*

Soil temperature is one of the most important geocryological parameters. It displays the sensitivity of landscapes to anthropogenic influence and climatic fluctuations. The main stages of the development of soil temperature monitoring in Russia have been reconstructed. The secular observations for the response of 1/6 part of Earth surface to air temperature fluctuations are unique on a global scale.

Soil temperature, meteorological stations, history

ВВЕДЕНИЕ

Большинство исследований изменения климата основано на анализе сведений о температуре воздуха ($T_в$). Однако для многих теоретических и прикладных задач, связанных с оценкой отклика земной поверхности на изменения температуры воздуха, первостепенное значение имеют наблюдения за температурой почв ($T_п$). Величина $T_п$ является одной из важнейших характеристик климатических, мерзлотных, почвообразовательных и инженерно-геологических условий. Она определяет функционирование наземных биогеоценозов и позволяет судить о чувствительности ландшафтов к антропогенному воздействию, изменению природной среды и климатическим флуктуациям. Особый интерес к последнему аспекту диктуется растущим вниманием научной общественности к проблеме глобального потепления. В настоящее время для такого рода выводов в планетарном масштабе имеющихся данных недостаточно.

Гидрометеорологической службой России за более чем столетний период наблюдений собран огромный массив данных о температуре почв. Старейшие метеорологические станции на территории страны были организованы еще в XVIII в., но из-

© С.С. Быховец, В.А. Сороковиков, Р.А. Мартуганов, В.Г. Мамыкин, Д.А. Гиличинский, 2007

мерения $T_п$ долгое время в программу наблюдений не входили. Собственно наблюдения за $T_п$ на глубинах и сейчас не входят в перечень стандартных метеорологических наблюдений, поэтому выполняются на ограниченном числе метеорологических станций. Но это "ограниченное число" достаточно велико – в 70–80-х гг. прошлого столетия на территории СССР наблюдения за температурой почв производились более чем на 1000 метеорологических станций. Очевидно, что в процессе становления и развития наблюдений за $T_п$ изменялись приборы и методика измерений, происходило обобщение и дифференциация понятий. Цель данной статьи – исторический экскурс по этапам развития этой системы (периодам наблюдений и перечням данных), знание которых позволяет корректно учитывать особенности источников информации при обработке базовых массивов, необходимых для конкретных работ.

Основные этапы развития наблюдений воссозданы с использованием обзоров по истории метеорологических наблюдений в России [*Нездюров, 1969; Мошениченко, 1970; Бедрицкий и др., 1997, 1999*], трудов климатологов, почвоведов и мерзлотоведов по термическому режиму почв [*Ваннари, 1897; Лоске, 1911; Перунова, 1952; Уль, 1961; Шульгин, 1957, 1972; Димо, 1972; Шкадова, 1979*], учебных пособий по методам наблюдений [*Охлябинин, 1915; Кедроливанский, Стернзат, 1953; Стернзат, 1978*], нормативных документов [*Инструкции..., 1879–1912; Инструкции..., 1922; Руководство..., 1928–1940; Наставление..., 1946–1985*] и информационно-справочных изданий [*Летописи..., 1873–1918; Метеорологические..., 1951–1965; Климатологический..., 1947–1950; Климатологический..., 1958–1964; Метеорологический..., 1961–1990; Справочник..., 1964–1966; Справочник..., 1969–1978*], выпущенных Гидрометеорологической службой СССР (Госкомгидрометом).

ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Для восприятия исторического процесса изменения методик наблюдений необходимо описать термины, употребляемые в дальнейшем изложении в качестве неких условных понятий, смысл которых несколько различался во времени. Кроме того, отдельные инструктивно-методические издания 1920–1930-х гг. стали библиографической редкостью, а сведения о методиках наблюдений, принятых до 40-х гг. XX в., в более поздних публикациях немногочисленны и неполны, а иногда и противоречивы.

В сложившейся метеорологической и климатологической терминологии, более общее понятие "температура почв" ($T_п$) включает два относительно самостоятельных метеорологических элемента: собственно "$T_п$ на глубинах" и "температуру поверхности почвы" ($T_{пп}$). Точнее, последнюю следует называть температурой подстилающей поверхности (либо температурой поверхности почвы или снежного покрова), так как при наличии снежного покрова реально измеряется температура его поверхности, а вовсе не поверхности почвы. Однако, если в современных методических изданиях [*Наставление..., 1985*] эти термины уже уточнены, то в климатологической литературе, включая последние справочники [*Научно-прикладной..., 1988–1993*], все еще широко употребляется $T_{пп}$. Для простоты изложения и сохранения преемственности терминологии мы также будем использовать этот термин.

Измерения $T_{пп}$ были первым видом наблюдений за $T_п$ на территории России и сохранились до настоящего времени в перечне стандартных наблюдений на метеорологических станциях.

Измерения $T_{пп}$ и $T_п$ в различных диапазонах глубин зачастую проводились в разных условиях подготовки участков для установки термометров. Эта особенность наблюдений требует особого внимания при совместной обработке рядов данных одной станции или нескольких, даже "близко расположенных" станций. Можно выделить три основных вида участков по состоянию их поверхности.

1. *Участок с естественным покровом*. Характеризуется ненарушенной структурой почвы и грунта, сохранением растительного покрова, характерного для окружающей местности (но трава обычно скашивается, если ее высота достигает 20 см), и ненарушенным снежным покровом зимой. Основной вариант измерения $T_п$ на глубинах более 20 см с конца XIX в.

2. *Участок без растительного покрова, или черный пар*. Участок весной перекапывается, в течение лета растительность удаляется, снежный покров зимой сохраняется. С середины XX в. это стандартный вариант измерения $T_{пп}$ и $T_п$ на глубинах до 20 см. Данный вариант иногда также называют оголенным участком, что вносит некоторую путаницу.

3. Собственно *оголенный участок*. Удаляется как растительность летом, так и снежный покров зимой, при этом почва не перекапывается. Вариант был широко распространен в XIX в. До середины XX в. встречается наряду с двумя другими, позднее – крайне редко, как нестандартный.

Требования, предъявлявшиеся в различных методических материалах к выбору участков, были недостаточно унифицированы. Особенно это касается участков для измерения $T_{пп}$ до середины XX в. Кроме того, неоднократно менялись требования к расположению резервуаров напочвенных термометров по отношению к поверхности почвы (снега), и лишь начиная с [*Наставления..., 1947*] окончательно утвердилась рекомендация погружать его наполовину в почву (снег). В отдельные периоды наряду с измерениями $T_{пп}$ (или вместо

них, как в 1940–1946 гг.) проводились наблюдения по термометру, расположенному на определенной высоте (2–4 см) над этой поверхностью. В связи со сказанным выше в настоящее время данные по $T_{пп}$ до 1947 г., как правило, не используются.

Приведенных фактов достаточно, чтобы понять всю условность понятия "температура поверхности почв". А именно с $T_{пп}$ связана амплитуда колебаний температур на поверхности почвы – основной параметр, определяющий глубину слоя сезонного промерзания–оттаивания и мощность слоя годовых теплооборотов [*Кудрявцев, 1959; Основы..., 1974*], используемый практически во всех расчетах мерзлоты. Под поверхностью почвы в данном случае понимается поверхность почвы в естественных условиях под снежным и растительным покровами.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ

XIX век

Первые в России измерения температуры почв и грунтов на глубинах были начаты в 30-х гг. в созданной по инициативе Н.И. Лобачевского Метеорологической обсерватории Казанского университета. Наблюдения производились по ртутным термометрам, вмонтированным в стенки специального колодца на разных глубинах (1–32 м), а в 1841 г. использовался сконструированный им же дистанционный биметаллический термометр. Результаты измерений на глубине 1 м частично опубликованы профессором университета Э.А. Кнорром [*1835*], но в целом материалы утрачены при пожаре, уничтожившем обсерваторию в 1842 г.

А.Я. Купфер, также участвовавший в организации Метеорологической обсерватории Казанского университета, внес впоследствии огромный вклад в развитие сети метеорологических наблюдений в России. В 1834 г. в С.-Петербурге он основал Нормальную обсерваторию (с этой даты отсчитывается история Российской гидрометеорологической службы), а в 1849 г. – Главную физическую обсерваторию (ГФО). Судя по переписке А.Я. Купфера с коллегами – Д. Араго во Франции и А. Кетле в Бельгии [*Бедрицкий и др., 1997*], он и далее продолжал интересоваться $T_{п}$. Одна из его методических инструкций "Прибавление к руководству для наблюдений", изданная в 1850 г., содержала рекомендации по включению "геотермических" наблюдений за $T_{п}$ в программу дополнительных наблюдений на отдельных станциях [*Нездюров, 1969*]. Но найти эту инструкцию, как и результаты измерений того периода, нам не удалось. Исключение составляют приведенные в монографии К.С. Веселовского [*1857*] наблюдения на глубине 1 аршин (≈0,7 м), выполненные г. Денгинком в 1847–1856 гг. в Кишиневе (Молдавия) и Б.А. Целлинским в 1853–1855 гг. в Горках Могилевской губернии (Белоруссия). Методика измерений отличалась от современной и уже тогда признавалась несовершенной (снятие показаний с термометра, установленного на заданной глубине, осуществляли через смотровое отверстие, закрываемое соломой), тем не менее эти наблюдения позволили сделать первые выводы о годовом ходе $T_{п}$. Там же опубликованы результаты первых наблюдений за промерзанием–оттаиванием пахотного слоя почв в ряде пунктов Финляндии. Титульные листы этой и ряда других ранних публикаций, посвященных температуре почв, приведены на рис. 1.

Первые методические исследования и долговременные наблюдения по методикам, близким к современным, начаты в 70–80-х гг. по инициативе Г.И. Вильда в ГФО (С.-Петербург – с 1869 г. измерения $T_{пп}$, а с 1872 г. – $T_{п}$ на глубинах по вытяжным термометрам) и ее филиалах (Павловск – 1879, Тифлис – 1880, Екатеринбург – 1881, Иркутск – 1887). Затем они начали распространяться на выборочной сети станций II разряда, где первоначально производились преимущественно под оголенной поверхностью. Тогда же по инициативе А.В. Клоссовского [*1888*] были начаты наблюдения на ряде станций юго-западной сети Новороссийского университета, а по инициативе А.И. Воейкова – на нескольких станциях Географического общества.

В начале 90-х гг. под влиянием идей А.И. Воейкова [*1889*] наблюдения за $T_{п}$ под естественной поверхностью (летом – травяная растительность, зимой – ненарушенный снежный покров) стали стандартным вариантом. Наблюдения под другими видами поверхности (оголенной и черным паром) сохранились лишь на нескольких станциях, где велись параллельно со стандартными. Помимо станций сети ГФО наблюдения организовывались также на станциях Географического общества, Министерства земледелия, отдельных учебных заведений, других организаций и ведомств. Следует отметить, что на метеорологических станциях опытных лесничеств, основанных Особой экспедицией Лесного департамента под руководством В.В. Докучаева, как и на станции Лесного института в С.-Петербурге, наряду с $T_{п}$ впервые стала измеряться влажность почвы.

Для измерений использовались различные варианты конструкции вытяжных термометров, в частности:

– "старые геотермометры Краузе" (описание не найдено);

– "установка Ламона" – деревянный брус с вмонтированными на нескольких уровнях термометрами, опускаемый во вкопанную в землю деревянную трубу;
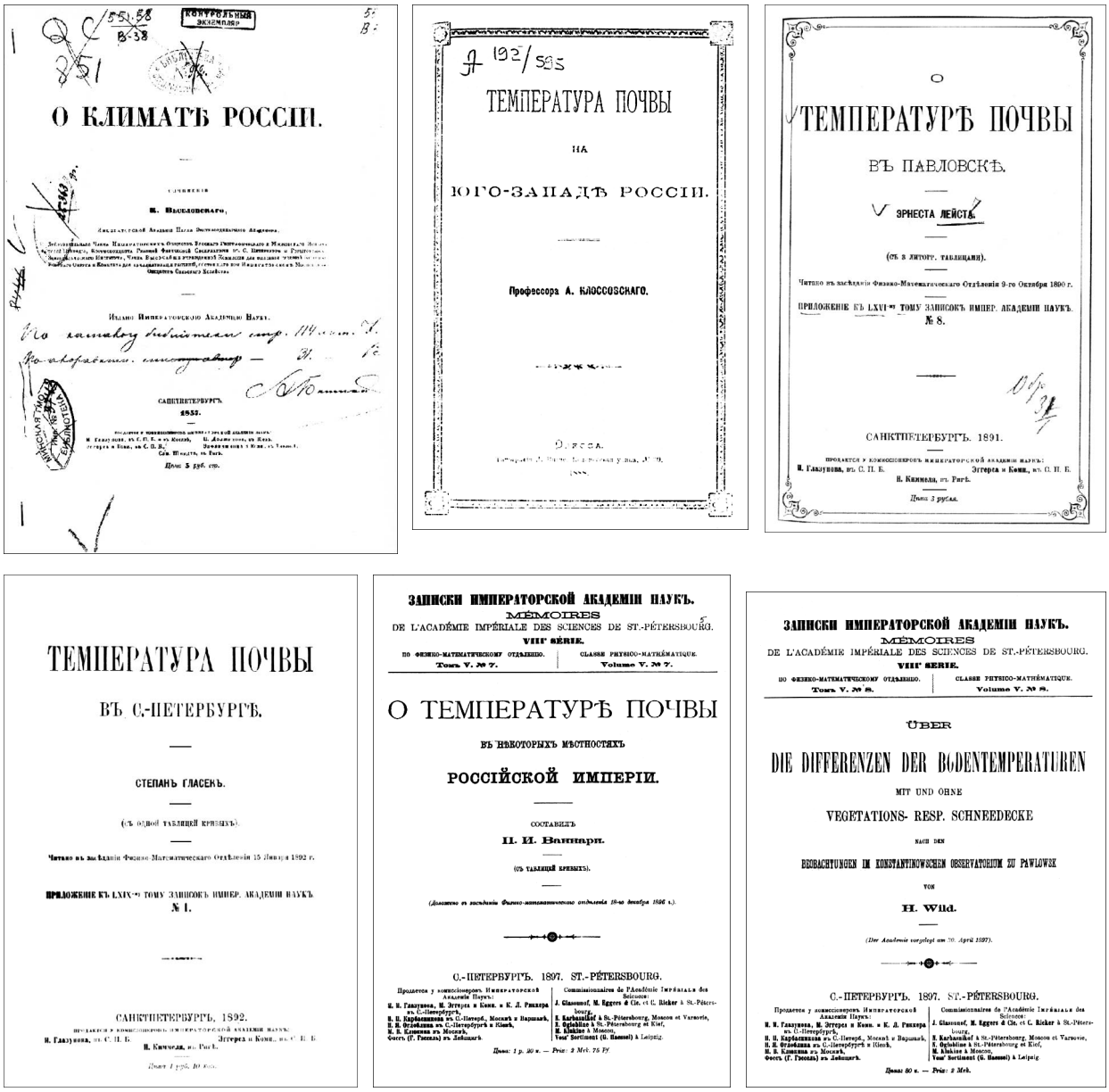
Рис. 1. Первые научные труды, посвященные температуре почв в России.

– “новые” вытяжные термометры, с незначительными изменениями сохранившиеся до наших дней. Ртутный термометр заключен в медную (ныне винипластовую с металлическим колпачком) оправу. Пространство между резервуаром термометра и колпачком оправы заполняется медными опилками для обеспечения теплового контакта и увеличения термической инерции. Оправа с термометром прикреплена к деревянному шесту, опускаемому в эбонитовую трубу с металлическим наконечником (первоначально к концу трубы крепился медный диск диаметром 11 см). Укрепленные на шесте суконные или фетровые кольца препятствуют воздухообмену внутри трубы. Первоначально на отдельных станциях термометры устанавливались в трубах из других материалов (деревянных, глиняных, стеклянных, металлических); с 1890-х гг. рекомендуется использовать преимущественно эбонитовые трубы и не рекомендуются металлические.

На сети станций ГФО был принят набор глубин 0,4, 0,8, 1,6, 3,2 м, реже – 0,2 и 0,1 м; на агрометеорологических станциях Министерства земледелия и ряде других станций – 0,1, 0,25, 0,5, 1,0 м, реже – 1,5, 2,0, 3,0 м. Встречались также нестандартные глубины и смешанные варианты.

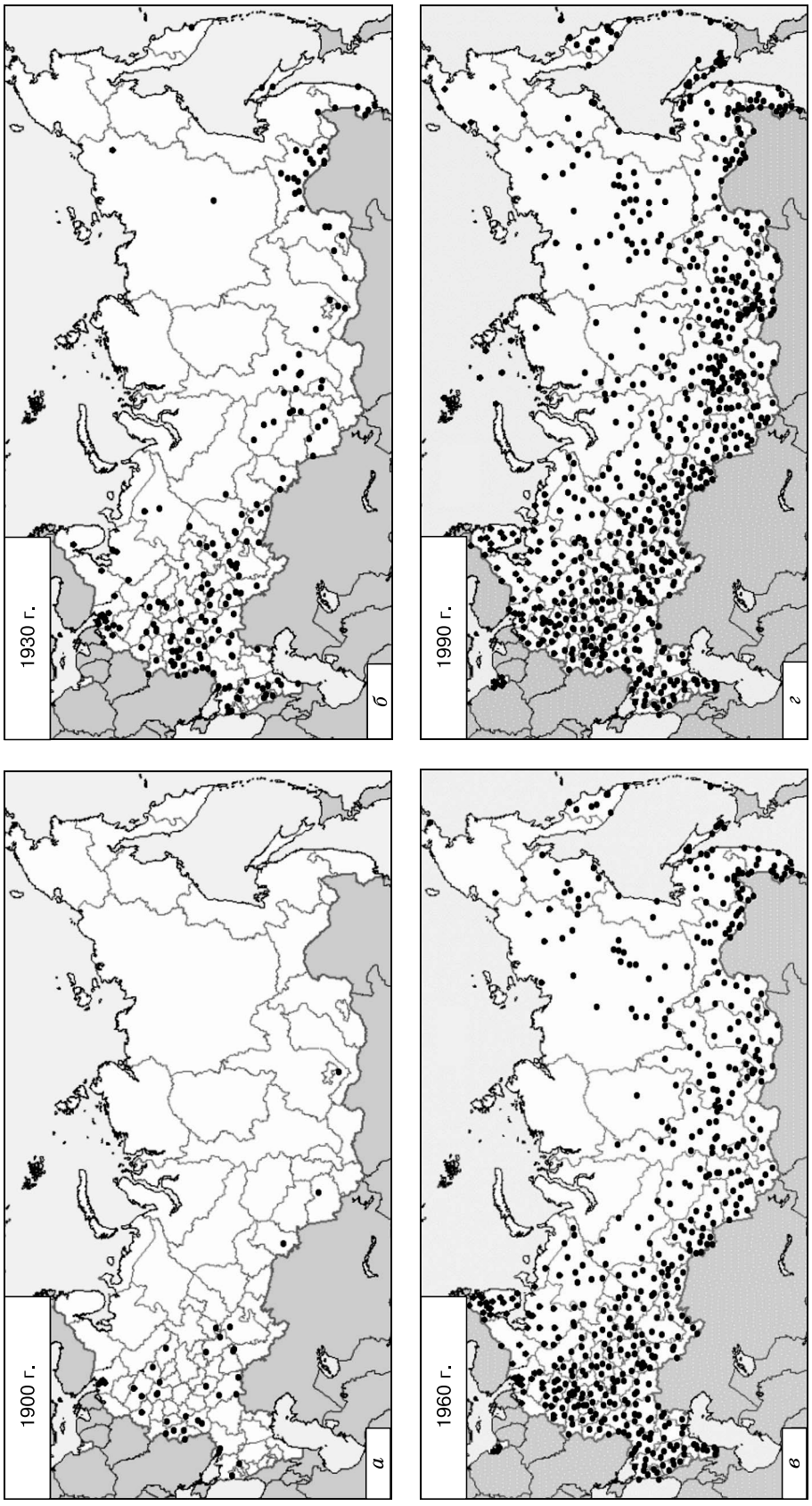

Рис. 2. Сеть метеорологических станций (в пределах современных границ России), производивших наблюдения по вытяжным термометрам под естественной поверхностью по состоянию на год:

а – 1900, *б* – 1930, *в* – 1960, *г* – 1990.

Общее количество станций, измерявших $T_п$, начало стремительно расти и к 1899 г. достигло более ста. Располагались станции в сельскохозяйственных районах, на севере и востоке страны их почти не было. Часть материалов наблюдений тех лет была впоследствии забракована из-за выявления не учитывавшихся ранее методических ошибок (смещения места нуля при сдавливании резервуаров вытяжных термометров вследствие окисления медных опилок или смещения шкалы вследствие неаккуратного опускания термометра в трубу), а также из-за нестандартного состояния подстилающей поверхности (на отдельных станциях летом сохранялся травяной покров, а зимой снег удалялся и т. д.). На рис. 2,*а* изображены лишь не забракованные (вошедшие в "Климатологические справочники") станции в пределах современных границ России.

Первоначально материалы наблюдений публиковались в "Летописях ГФО" [*1872–1911*], но до 1892 г. – лишь по ограниченному числу станций. По некоторым станциям они печатались в других изданиях. Достаточно полная подборка данных за эти годы приведена П.И. Ваннари [*1897*]. В 1893–1899 гг. в "Летописях" помещались материалы всех станций, проводивших наблюдения, независимо от их ведомственной принадлежности. По мере накопления и обработки материал начинает анализироваться. Первые работы сотрудников ГФО [*Wild, 1878, 1897; Лейст, 1891; Гласек, 1892; Ваннари, 1897*], посвященные в большей степени методическим аспектам и достаточно осторожные в обобщениях (за что неоднократно критиковавшиеся), сыграли важную роль в становлении методик наблюдений и обработки данных.

XX век

В начале века были проанализированы закономерности формирования теплового режима почв во взаимосвязи с их свойствами, климатом и растительностью [*Адамов, 1900, 1901; Воейков, 1904; Клоссовский, 1908; Любославский, 1909*]. Сеть станций продолжала расширяться, в первую очередь в осваиваемых земледельческих районах юга Сибири, Приамурья и Приморья. Следует отметить организацию наблюдений на сети станций Амурской области, где в Благовещенском метеорологическом бюро начинали научную деятельность основоположники отечественного мерзлотоведения – М.И. Сумгин и П.И. Колосков.

Совершенствовались и методы наблюдений. Стало очевидным, что вытяжные термометры на малых глубинах (<40 см) не обеспечивали достаточной точности измерений вследствие искажающего влияния самой установки на тепловой режим. Тогда в ГФО С.И. Савиновым и И.Б. Шукевичем были разработаны новые, менее громоздкие и не столь существенно нарушавшие естественный теплообмен конструкции термометров для верхних слоев почвы. Коленчатые термометры Савинова стали использовать с 1900 г. для глубин 0,05 и 0,10 м. Они представляли собой стеклянные ртутные термометры, изогнутые под углом 135° вблизи резервуара, с толстостенной капиллярной трубкой, на которую наносилась шкала. Впоследствии комплект был дополнен термометрами для 0,15 и 0,20 м, а сами термометры приобрели современный вид (с тонким капилляром и вставной шкалой в стеклянном корпусе). Термометры Шукевича (стандартные глубины 0,2 и 0,4 м, с возможностью установки в диапазоне 0,1–0,6 м) использовали в наблюдательной сети с 1908 по 1940 г. Ртутный термометр был заключен в оправу (металлическую для надземной части и эбонитовую с металлическим наконечником для подземной), а пространство между резервуаром термометра и наконечником оправы заполнялось ртутью. Подземная часть термометра имела постоянную длину, а глубина установки определялась углом наклона. К термометрам прилагался специальный бур и шаблон для бурения скважин под заданным углом. Существовало две модификации термометров Шукевича: коленчатые и прямые. Первые были изогнуты под прямым углом в месте сочленения подземной и надземной частей оправы для удобства наблюдений (шкала могла располагаться горизонтально). Однако на практике оказалось, что в месте перегиба капилляра термометра часто происходил разрыв столбика ртути, и от этой модификации вскоре отказались в пользу прямых термометров. В то время наблюдения по разным типам приборов на различных глубинах рассматривались как единый комплекс. Они велись под одним типом поверхности, как правило, естественной. Учитывая ограниченную применимость термометров Шукевича и, особенно, Савинова в зимних условиях, иногда наблюдения на одной и той же глубине производились разными приборами в зависимости от времени года.

В 1900 г. из-за недостатка штатов и средств практически прекратилась обработка в ГФО и публикация в "Летописях" данных о $T_п$, что существенно затормозило развитие этого вида наблюдений (наблюдения на массовой сети станций II разряда производились на добровольной основе, без материального вознаграждения, и публикация результатов была одним из важных моральных стимулов). В результате наблюдения, хотя и не прекратились полностью, стали вызывать меньше энтузиазма у исследователей. А отсутствие своевременной обработки привело в последующем к потере данных как из-за утраченного в наступившие непростые времена первичного материала, так и просто вследствие не обнаруженных и не устраненных своевременно неисправностей приборов и ошибок наблюдателей.

К началу 20-х гг. из-за войн и разрухи количество действующих станций заметно сократилось. Не всегда способствовали развитию метеорологической сети и изменения ее ведомственного подчинения. В 1913 г. она была передана из ведения Академии наук в Министерство просвещения, затем, уже в советский период, из Наркомпроса в Наркомзем, и лишь в 1936 г. было создано Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР. Тем не менее к концу 20-х гг. сеть наблюдений за $T_{\text{п}}$ постепенно, медленно и неравномерно, но восстанавливалась и развивалась (см. рис. 2,*б*). Более интенсивно она расширялась в 30-е гг., преимущественно на юге восточных районов страны, вдоль узкой полосы Транссибирской магистрали, где ранее $T_{\text{п}}$ измерялась на немногих станциях.

Возобновить широкомасштабную публикацию материалов наблюдений в первой половине века так и не удалось. В конце 20-х – начале 30-х гг. были изданы "Летописи ГФО" за несколько лет, но данные по температуре почв были опубликованы только в выпусках за 1914–1915 гг. и лишь по ограниченному числу станций Европейской России. Накапливались объемы необработанных данных. Тем не менее на материале отдельных станций и регионов С.И. Небольсин, М.И. Сумгин, П.И. Колосков и другие авторы уже в 20-е гг. выполнили ряд глубоких и серьезных работ. В Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО, бывшая ГФО) под руководством А.А. Каминского, а впоследствии – М.И. Перуновой, возобновилась обработка сначала архивных, затем и текущих материалов, что стало залогом успехов, достигнутых в послевоенные годы.

Рост сети станций, наметившийся в 20–30-е гг., был прерван Великой Отечественной войной. После освобождения территорий, подвергшихся боевым действиям и оккупации, метеорологические станции были восстановлены достаточно быстро, но наблюдения за температурой почв на многих из них возобновились не сразу, а лишь спустя 5–10 лет.

К середине века существенные изменения претерпела методика наблюдений. В 1936 г. был введен ночной срок наблюдений, они стали круглосуточными (4-срочными, с равным интервалом между сроками наблюдений в 6 ч), что повысило точность вычисления средних суточных значений температуры. Это существенно для малых глубин и, особенно, для поверхности почвы. Уже на глубине 0,2 м суточный ход не столь значителен и ошибка из-за отсутствия ночного срока невелика, а на глубинах 0,8 м и более суточный ход отсутствует, а наблюдения производятся один раз в сутки.

В 1939 г. для наблюдений за $T_{\text{пп}}$ предписывалось использовать лишь один срочный термометр. При этом наблюдения за $T_{\text{пп}}$ (а иногда и за $T_{\text{п}}$) производились одновременно на двух участках, площадью 5×5 м^2 каждый. Первый закладывался под типичной для окружающей местности растительностью летом (не выше 3 см) и под снегом зимой. Второй участок содержался оголенным круглый год, но с поверхностью, соответствующей характеру окружающей местности (например, если в окрестностях преобладали пахотные поля, то и на участке следовало создавать условия черного пара).

Участки предписывалось располагать на метеорологической площадке, а при малом размере площадки оголенный участок рекомендовалось выносить за ее пределы. Это пример значительных условностей в возможности формальных (без специального предварительного анализа) взаимных увязок наблюдений за $T_{\text{пп}}$ и $T_{\text{п}}$ на глубинах.

Одновременно, с 1939 г. вводились дополнительные наблюдения за $T_{\text{в}}$ на высоте 2–3 см вблизи поверхности почвы или поверхности растительного покрова, которые должны были проводиться на тех же двух участках. В зимнее время на участке, покрытом снегом, наблюдения за $T_{\text{в}}$ близ поверхности снега прекращались, а на оголенном продолжались. К 1940 г. вышли из употребления термометры Шукевича. Наблюдения по напочвенным, коленчатым (Савинова) и вытяжным термометрам стали все больше рассматриваться как самостоятельные виды наблюдений. Причем методика наблюдений за $T_{\text{пп}}$ подверглась ряду не вполне последовательных изменений. Так, в 1940–1946 гг. наблюдения за $T_{\text{пп}}$ не производились, а были заменены измерениями $T_{\text{в}}$ на высоте 2 см. В то же время наблюдения за минимальной температурой на поверхности почвы продолжались. С 1946 г. введена обязательная установка трех напочвенных термометров: срочного, минимального и максимального, и к концу 40-х гг. в общем сложилась современная программа наблюдений. В ее основе лежат наблюдения по напочвенным и коленчатым термометрам на участке с черным паром (часто называемым оголенной поверхностью, что, строго говоря, не одно и то же) и по вытяжным – под естественной поверхностью. Наблюдения за $T_{\text{пп}}$ вошли в состав основных метеорологических наблюдений и стали производиться практически на всех станциях. Наблюдения по коленчатым термометрам Савинова под черным паром также вскоре стали массовыми, по крайней мере в зоне развитого земледелия, а вне этой зоны были в 60-х гг. прекращены. В это же время были начаты широкомасштабные измерения глубин промерзания почв, вначале – по цементации образцов, а с конца 50-х гг. – по мерзлотомеру Данилина.

Методика наблюдений за $T_{\text{п}}$ на глубинах под естественной поверхностью (по вытяжным термометрам) не претерпела столь серьезных изменений. Произошла лишь замена цельнометалличес-

кий оправы термометра на пластмассовую с металлическим колпачком (это уменьшило погрешность измерений и позволило вернуться к использованию вытяжных термометров на глубине 0,2 м), а набор глубин был стандартизован и приобрел вид, близкий к современному. Основные глубины – 0,2, 0,4, 0,8, 1,6 и 3,2 м, дополнительные – 0,6 м (в 60-х гг. вышла из употребления), 1,2 и 2,4 м. В 50–60-е гг. сеть наблюдений значительно расширилась и в 70–80-х гг. достигла максимального охвата территории страны (см. рис. 2,*в, г*). Наметилась тенденция к выравниванию плотности сети: в северных и северо-восточных районах число станций, производящих такие наблюдения, продолжало расти, а в регионах с более густой сетью число станций стабилизировалось или начало сокращаться (центр Европейской части России, Приморье).

В 60-е гг. была предпринята попытка внедрения электрических термометров М-54 в качестве альтернативы вытяжным. Датчики (медные термометры сопротивления) устанавливались на глубинах 0,02, 0,05, 0,10, 0,15, 0,2, 0,4, 0,8, 1,2, 1,6 и 3,2 м под естественной поверхностью (до 1969 г. – на глубинах до 0,2 м под черным паром, по аналогии с коленчатыми термометрами). К началу 70-х гг. около половины станций, ведущих наблюдения на глубинах под естественной поверхностью, были оборудованы этими установками, но вследствие недостаточной надежности они уже к концу 70-х гг. почти полностью вышли из употребления. Тем самым был существенно осложнен климатологический анализ рядов температуры почв. Мы не располагаем сведениями о серьезных систематических различиях показаний электрических и вытяжных термометров, но всякая переустановка почвенных термометров сама по себе способна привести к нарушению однородности рядов и требует повышенного внимания при их обработке и анализе.

Еще одно существенное изменение в методике произошло в 1966 г., когда метеорологическая сеть СССР перешла с четырех климатических сроков (по местному времени) на 8-срочные наблюдения в единые сроки по Московскому времени.

Публикация материалов наблюдений за температурой почв была возобновлена лишь в 50-е гг. в части III "Метеорологического ежегодника" [*1951–1965*], причем в конце 50-х – начале 60-х гг. "Ежегодники" были изданы и ретроспективно, по 1912 г. (год фактического прекращения издания "Летописей ГФО") включительно. С 1961 по 1990 г. вместо "Ежегодников" издавались "Метеорологические ежемесячники". Наряду с перечисленными изданиями, охватывавшими всю территорию страны, в отдельные периоды материалы наблюдений по некоторым регионам и отдельным станциям публиковались в ряде других изданий, в частности в "Материалах наблюдений водобалансовой станции", издававшихся для каждой станции в виде отдельного ежегодника, или в Агроклиматических ежегодниках по административным областям сельскохозяйственных регионов СССР.

Результатом полномасштабной обработки и анализа материалов наблюдений стало издание нескольких серий климатологических справочников, содержащих как результаты обобщения многолетних рядов наблюдений, так и сами эти ряды, прошедшие тщательную дополнительную проверку, анализ однородности и т. д. В 40–50-е гг. был издан первый многотомный "Климатологический справочник СССР" [*1947–1950*], содержавший осредненные данные по $T_{\text{п}}$ с начала наблюдений до середины 40-х гг. В конце 50-х – начале 60-х гг. ряды данных, собранные и проанализированные при подготовке этого справочника и продленные до 1950 г., были опубликованы в издании "Климатологический справочник СССР: Метеорологические данные за отдельные годы" [*1958–1964*]. Во второй половине 60-х гг. был издан новый "Справочник по климату СССР" [*1964–1966*], содержащий многолетние средние значения за период 1891–1960 гг. В нем данные станций с короткими рядами, как правило, приводились к длинному ряду, что обеспечивало лучшую сравнимость средних величин. Подготовленные при этом ряды данных за 1951–1965 гг. были опубликованы в 70-е гг. как "Справочник по климату СССР: Метеорологические данные за отдельные годы" [*1969–1978*]. Основные методы климатологической обработки и анализа рядов $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{пп}}$, применявшиеся при составлении указанных справочников, были разработаны М.С. Перуновой, Е.П. Архиповой и Т.В. Покровской [*Перунова, 1952; Перунова и др., 1957*], а позднее развиты А.К. Шкадовой [*1979*]. Исследованиями климата почв в этот период также занимались В.Р. Волобуев [*1953, 1983*], А.М. Шульгин [*1957, 1972*], В.Н. Димо [*1972*].

В конце столетия внимание климатологов к $T_{\text{п}}$ несколько ослабло. Новый "Научно-прикладной справочник по климату СССР" [*1988–1993*] содержит расширенный набор статистических характеристик, вычисленных по фактическим рядам до 1980 г. по выборочной сети станций. Однако в нем приведены данные только напочвенных и коленчатых термометров. Отсутствие данных по вытяжным термометрам и глубине промерзания ограничивает ценность этого издания для характеристики температурного режима почв. Соответствующие справочники с данными за отдельные годы, за редким исключением, также не были изданы. Таким образом, основным источником данных за эти годы остается "Метеорологический ежемесячник", а наиболее полным климатологическим обобщением по $T_{\text{п}}$ – предыдущий "Справочник по климату СССР" [*1964–1966*]. Значительный объем данных по вытяжным термометрам за пос-

ледние десятилетия (причем 60–80-е гг. – период самых массовых наблюдений), по существу, до сих пор не проанализирован.

Переходный период в экономике в 1985–1998 гг. негативно отразился на состоянии и возможностях всей гидрометеорологической службы. В первую очередь, это вынужденное сокращение наблюдательной сети (закрытие метеорологических станций и постов, включая некоторые "длиннорядные" станции). На многих оставшихся пунктах наблюдений сокращены их программы (и по перечню, и по количеству сроков наблюдений). Это вызвано и отсутствием приборов для выполнения наблюдений (в конце 80-х гг. прекратилось серийное производство комплектов вытяжных термометров, а приемлемая модель электротермометра так и не внедрена).

В конце 90-х гг. эту тенденцию удалось переломить, и с 2000 г. наблюдается рост числа восстановленных и открытых вновь станций и постов. В настоящее время после большого числа преобразований и не оправдавших себя попыток переподчинения другим ведомствам Гидрометеорологическая служба России функционирует как самостоятельная "Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" (Росгидромет).

В связи с экономическими трудностями с 1991 г. в течение длительного времени с большими задержками публиковались текущие материалы наблюдений в "Метеорологических ежемесячниках". Публикацию "Метеорологического ежемесячника, часть 1" удалось восстановить достаточно быстро в виде "Метеорологического ежемесячника станций стран Содружества Независимых государств, часть 1, ежедневные данные". В отношении издания "Метеорологического ежемесячника, часть 2", в котором публиковались обобщенные данные по $T_{пп}$ и $T_{п}$ на стандартных глубинах, до сих пор имеются значительные проблемы. Соответствующие службы Росгидромета, прежде всего ВНИИГМИ-МЦД, как депозитарий изданий по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, прилагают усилия по восстановлению полных перечней "Метеорологического ежемесячника, часть 2" по всей территории России.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ АРХИВЫ

Традиционные печатные издания – не единственный доступный источник данных наблюдений за $T_{п}$. ВНИИГМИ-МЦД включает "Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении" (ГОСФОНД) – депозитарий, обеспечивающий сбор, хранение и обслуживание пользователей данными о состоянии окружающей среды (http://www.meteo.ru/rfund/priz.htm). Он содержит информацию по территории СССР (с 1992 г. – России) на традиционных бумажных (Справочно-информационный фонд) и машинных носителях (Гидрометеорологические архивы). Создание системы метеорологических архивов – важная часть истории наблюдений за $T_{п}$. Знание этапов развития этой системы, включающих данные наблюдений за $T_{п}$, позволяет более корректно учитывать особенности источников данных наблюдений, а знание списка основных метеорологических архивов и их возможностей по перечням данных и периодам времени наблюдений – правильно оценить возможности формирования и обработки базовых массивов, необходимых для конкретной работы.

"Справочник по климату СССР" и "Научно-прикладной справочник по климату СССР" были подготовлены с использованием "метеорологических архивов" как основы для расчета рабочих таблиц этих справочников. При этом первый из них – "прародитель" системы метеорологических архивов СССР, поскольку именно для его разработки с использованием вычислительных машин (в 1960-х гг. это была система "счетно-перфорационных машин") на государственном уровне было принято решение о подготовке массивов данных метеорологических наблюдений на основе технических носителей информации (перфокарт).

В результате огромной работы специалистов Гидрометеорологической службы СССР в кооперации с системой "машиносчетных станций" Центрального статистического управления (ЦСУ) СССР была проведена вручную перекодировка (неформальная перезапись) с большого числа исходных форм таблиц, в которых хранились результаты метеорологических наблюдений на территории СССР, в четыре вида унифицированных таблиц:

– для записи данных основных метеорологических наблюдений: ТМ1-СРОКИ и ТМ1-СУТКИ;

– для записи данных наблюдений за температурой почв: ТМ3А – для срочных данных и ТМ3 – для суточных данных.

Для выполнения этих работ были разработаны детальные методические указания. Перекодированные таблицы (ТМ1-СРОКИ, ТМ1-СУТКИ, ТМ3А и ТМ3) были переданы на машиносчетные станции ЦСУ для создания перфокартотек с метеорологическими архивами. С использованием перфокартотек выполнены массовые расчеты рабочих таблиц для подготовки "Справочника по климату СССР".

С появлением в 1970-х гг. мощных электронно-вычислительных машин (ЭВМ) предпринимались попытки создания архивов метеорологических наблюдений на основе магнитных лент, но успешными были только сравнительно небольшие

специализированные метеорологические архивы. Создание метеорологических архивов в достаточно полном объеме не соответствовало возможностям техники того периода. Но уже к 1977 г. на базе специальной технологии с использованием отечественных ЭВМ "Минск-32" началось создание архива текущих метеорологических данных. Технология позволяла с задержкой в 3–5 месяцев подготавливать данные, получаемые на сети наблюдений (метеорологические станции и посты), для архивации в специальном формате на стандартных 0,5-дюймовых лентах. Эти архивы накапливались во ВНИИГМИ-МЦД в течение 1977–1983 гг. и использовались для текущей работы, а в дальнейшем были преобразованы в современный архив на магнитных лентах ЭВМ ЕС (архив ТММ1). В состав архива ТММ1 входит и полный набор наблюдений за температурой почв (поверхность и стандартные глубины), включая данные о высоте снежного покрова на площадках почвенных термометров.

В 1980 г. было принято решение о создании нового справочника по климату СССР ("Научно-прикладной справочник по климату СССР") на основе компьютерных технологий. За базовый период наблюдений для нового справочника были выбраны:

– ряды в 15 лет (1966–1980) для метеорологических данных срочного разрешения;

– ряды в 50 лет (1931–1980) для метеорологических данных суточного разрешения (для некоторых видов метеорологических величин принимался меньший период).

В рамках подготовки к расчетам таблиц нового климатического справочника были начаты работы по созданию четырех метеорологических архивов на основе перфокартотек ТМ1-СРОКИ, ТМ1-СУТКИ, ТМ3, ТМ3А. В настоящее время в Госфонде имеются следующие метеорологические архивы:

– архив ТМ-1-СРОКИ – основные метеорологические наблюдения (четырехсрочные) – содержит данные основных срочных наблюдений (1936–1965), включая данные по $T_{пп}$;

– архив ТМ1-СУТКИ – основные метеорологические наблюдения – содержит данные основных суточных наблюдений (1874–1965), включая данные по минимальной $T_{пп}$;

– архив ВОСХОД – основные метеорологические наблюдения (восьмисрочные) – содержит данные основных срочных наблюдений (1966–1976), включая данные по $T_{пп}$;

– архив СУТКИ 76 – основные метеорологические наблюдения – содержит данные основных суточных наблюдений (1966–1976), включая данные по минимальной $T_{пп}$;

– архив СУТКИ ТМ3 63.76 – суточные данные – содержит данные суточных наблюдений за $T_{п}$ на глубинах (1963–1976);

– архив СРОКИ ТМ3А 66.76 – восьмисрочные данные – содержит данные срочных наблюдений за $T_{п}$ на глубинах (1963–1976).

С 1984 г. по настоящее время во ВНИИГМИ-МЦД и ряде региональных управлений гидрометеорологии используется специальная технология обработки текущих метеорологических наблюдений. Результатом применения этой технологии являются элементы регулярно пополняемых трех метеорологических архивов, включающих и данные наблюдений за температурой почв (поверхность и стандартные глубины) за период с 1984 г. по настоящее время:

– ТМС – режимная (текущая) приземная метеорологическая информация, включающая полный комплект данных наблюдений за $T_{п}$;

– ТМСС – суточные выводы режимной приземной метеорологической информации, включая суточные обобщения данных наблюдений за $T_{п}$;

– ТМСМ – месячные выводы режимной приземной метеорологической информации, включая месячные обобщения данных наблюдений за $T_{п}$.

КАЧЕСТВО ДАННЫХ

При критическом контроле массивов данных по $T_{п}$ часть станций приходится выбраковывать по причинам, не типичным для других метеорологических параметров. Наглядный пример: перенос установки приборов на несколько метров на открытой местности практически не нарушает непрерывности рядов наблюдений за $T_{в}$, но может принципиально сказаться на измеренной $T_{п}$. Поэтому если в период наблюдений площадка переносилась, в результате чего возникала неоднородность, то данные исключаются из анализа или рассматриваются как отдельные ряды. В отсутствие данных по $T_{п}$ на отдельных глубинах их можно восстановить по температурам ниже- и вышележащих слоев [*Перунова и др., 1957*].

В архивах, созданных на основе перфокартотек, имеются сравнительно большие пропуски данных, так как со времени их создания (1960-е гг.) до ввода в ЭВМ и создания архивных файлов (1983–1992) перфокартотеки деградировали из-за старения основы (перфокарт) и хранения в неподходящих условиях. В последующем во ВНИИГМИ-МЦД проводились "дозаписи" данных в архивы ВОСХОД и СУТКИ-76, но для полной дозаписи всех пропусков имеющихся возможностей недостаточно. Данные, подготовленные с перфокартотек, не подвергались эффективным технологиям контроля, поэтому требуют предварительной климатологической обработки и коррекции. Данные, подготовленные с использованием компьютерных технологий, заметно лучшего качества как по полноте, так и по степени контроля, но и их необходимо подвергать предварительной климатологичес-

кой обработке и коррекции. Например, при сопоставлении результатов расчета месячных обобщений по $T_{п}$ и $T_{пп}$ встречаются значительные расхождения (0,1–0,3 °С), а анализ причин такого явления не всегда успешен. Среди таких причин можно назвать следующие.

1. Различия в алгоритмах округления, использовавшихся при расчете тестовых данных "Ежемесячников" (как источника) и компьютерных алгоритмов. В метеорологии, как правило, используется формально более точный алгоритм, рассматривающий случаи: >5, =5, <5. Встроенные компьютерные алгоритмы учитывают только два случая: <5 и ≥5.

2. Ошибки в декодировании перфокартотек при создании архива в случаях искажения или отсутствия специальных признаков на перфокарте (надсечек). Формат перфокарт унифицирован и лишь наличие или отсутствие определенных признаков позволяет их правильно интерпретировать. В частности, данные по вытяжным термометрам в "плохом" случае могут интерпретироваться как данные по коленчатым термометрам для малых глубин (0,02–0,15 м) и наоборот.

3. Отличия отдельных показателей в "Ежемесячниках" от результатов расчетов по архивным данным могут объясняться тем, что при подготовке данных "Ежемесячника" климатолог вручную вносит в расчетные таблицы поправки, исходя из знания дополнительной информации для конкретной станции региона.

В целом метеорологические архивы Госфонда вполне пригодны для получения качественной климатической продукции, соответствующей международным стандартам. Об этом говорят высокие отзывы о полноте и качестве данных, приведенных в "Справочнике по климату СССР" [*1964–1966*] и последующих изданиях "Справочника по климату СССР: Метеорологические данные за отдельные годы" [*1969–1978*]. СССР являлся членом Всемирной метеорологической организации (ВМО) со времени ее основания. По возможности, Россия поддерживает рекомендации этой организации в системе гидрометеорологического обслуживания. В частности, изменения в сроках наблюдений с 1966 г. с переходом по всей территории на единые восемь сроков наблюдений по Московскому времени были проведены в соответствии с рекомендациями ВМО. В некоторой степени это осложнило процедуры климатических обобщений при совместном использовании рядов 4- и 8-срочных данных, но дало преимущество в единообразии (пространственной однородности) рядов. В 1993 г. в соответствии с рекомендациями ВМО Россия осуществила переход на привязку единых сроков наблюдений к Гринвичскому времени.

Вместе с тем, будучи первопроходцем в постановке наблюдений за $T_{п}$, Гидрометеорологическая служба России исторически использует методики, отличающиеся от рекомендаций ВМО [*Руководство..., 1983*]. Это может проявиться при попытке совместного анализа данных, полученных на территории России и стран, использующих методики ВМО. Такие расхождения существуют в правилах выбора площадки для наблюдений за $T_{п}$ и глубин этих измерений. ВМО рекомендует: "Стандартными глубинами измерений температуры почв являются 5, 10, 20, 50 и 100 см ниже поверхности... Местом проведения измерений должен быть ровный участок голой земли (квадрат со стороной 75 см), являющийся типичным для окружающей почвы. Если поверхность не является характерной для данной местности, то размеры площадки должны быть не меньше 100 м^2". В России измерения $T_{пп}$ и $T_{п}$ на глубинах до 0,20 м производятся на площадке размером 4×6 м^2 (в ранних методиках площадки могли быть 5×5 м^2), а на глубинах более 0,2 м их проводят под естественной поверхностью и на иных глубинах, чем рекомендованные ВМО (см. выше).

БАЗА ДАННЫХ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕЖИМУ ПОЧВ

Температурный режим почв прежде всего привлекает внимание почвоведов и мерзлотоведов. Объект исследования – деятельный слой до глубин 3,2 м для специалистов обеих дисциплин в данном случае один и тот же. В области вечной мерзлоты почвообразование ограничено глубиной слоя сезонного оттаивания, а многолетнемерзлый водоупор представляет собой материнскую породу [*Достовалов, Кудрявцев, 1967*]. В области же сезонного промерзания грунтов почвообразовательные процессы не выходят за пределы слоя сезонного промерзания: на глубине более 3 м породы, как правило, ими не затронуты [*Димо, 1972*]. С почвенных позиций качество данных наблюдений за $T_{п}$ на метеорологических станциях более чем достаточно для решения как теоретических, так и прикладных задач. В первом случае, например, для классификации почв по термическому режиму, так как "почвы-аналоги различных термических зон принадлежат одному семейству, но различаются на уровне типов, а число типов зависит от термических условий ареала семейства" [*Глазовская, 1972, с. 21–28*]. Во втором случае, в частности, для районирования почв по тепловому режиму, как это впервые было выполнено В.Н. Димо [*1972*], или для расчета энергетики почвообразования [*Волобуев, 1974*].

Используя информацию традиционных справочников и машинных носителей Гидрометеорологических архивов, в Институте физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН совместно с ВНИИГМИ-МЦД создана база дан-

ных по $T_п$ и $T_{пп}$. Она охватывает средние месячные и годовые данные 430 метеорологических станций России и Казахстана с момента начала наблюдений по 2000 г. (частично эти данные представлены на сайте http://nsidc.org/data/arcss078.html [*Barry et al., 2001*]). Созданная система представляет собой локальную реляционную базу данных, построенную на основе таблиц Paradox. Диалог с пользователем и вывод информации осуществляется через специальную программную оболочку, позволяющую существенно облегчить работу с базой данных. Оболочка дает возможность производить быстрый поиск интересующей станции по ее имени (номеру), принадлежности к рассматриваемому региону, географическим координатам и позволяет проводить экспресс-анализ данных с помощью встроенных средств. Существует возможность создавать собственные списки станций и сохранять их для дальнейшей работы. В оболочку встроена поддержка языка запросов Structured Query Language (SQL), дополняемая возможностью подключения специализированных пользовательских модулей для анализа отображаемых данных, что обеспечивает высокую гибкость системы. Данные из базы могут быть получены как в виде графиков и диаграмм, так и непосредственно в табличной форме для дальнейшего анализа с применением внешних программных средств. Основной акцент в разработке сделан на доступность информации, оптимизацию работы с данными, возможность их наглядного представления и экспорта. Помимо координат даны и описания площадок наблюдений, их истории, характеристики почвенного профиля, а также картографической основы с природными и мерзлотными зонами, к которой привязаны метеорологические станции. В число возможностей оболочки входит набор встроенных средств отображения данных по следующим параметрам:

– $T_{пп}$ (средние, минимальные и максимальные значения);

– $T_п$ на стандартных глубинах по коленчатым термометрам: 0,05, 0,10, 0,15 и 0,20 м;

– $T_п$ на стандартных глубинах по вытяжным термометрам (или дистанционным электротермометрам): 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,2, 1,6, 2,4 и 3,2 м;

– даты первого и последнего мороза на поверхности почвы и на стандартных глубинах;

– глубины проникновения температуры 0 °С в почву и число дней с $T_п \le 0$ °С на стандартных глубинах;

– глубины сезонного промерзания и протаивания почв.

Данные по каждому из перечисленных параметров могут быть отображены в отдельном окне за временной период, интересующий пользователя. Ввиду модульной организации настоящая база легко расширяется как в плане данных, так и в плане функциональных возможностей внутреннего анализа и экспорта данных. Кроме возможностей визуализации абстрактных данных в оболочке системы имеется встроенная масштабируемая карта, позволяющая визуально оценивать результаты простейшего статистического анализа по выбранному списку станций: среднее за период, выделение тренда (регрессия), скользящее среднее, скользящая регрессия, что существенно упрощает работу оператора. Встроенная карта представляет собой технологически упрощенный (растровый) вариант ландшафтной карты (масштаб 1:4 000 000) с границами зон распространения вечной мерзлоты и сетью метеорологических станций, составленной в Институте криосферы Земли РАН совместно с Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН [*Melnikov, Gilichinsky, 1999*]. Цифровая версия карты создана в программе ГеоГраф, разработанной Центром геоинформационных исследований Института географии РАН (http://geocnt.geonet.ru).

Все отображаемые внутри программной оболочки данные могут быть экспортированы и сохранены в формате Microsoft Excel или в виде графики. Эту информацию уже начали использовать для выявления региональных особенностей изменений температурного режима почв в условиях меняющегося климата [*Васильев, 1999; Гиличинский и др., 2000; Чудинова и др., 2001, 2003; Gilichinsky et al., 1998; Zhang et al., 2001, 2005; Frauenfeld et al., 2004; Chudinova et al., 2006*].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, что методы наблюдений и качество данных метеорологических станций по сравнению с геокриологическими стационарами менее совершенны. Это объясняет некий скептицизм в отношении к ним профессионалов-мерзлотоведов. Но не следует игнорировать и весьма значимые аргументы в пользу данных метеорологических станций, связанные с одним из основных параметров, характеризующих мерзлотные условия – среднегодовой температурой почв. Во-первых, на станции, ведущей наблюдения за температурой почв, уже по умолчанию производится весь комплекс гидрометеорологических наблюдений (температура воздуха, характеристика и динамика снежного покрова и жидких осадков и т. д.), необходимый для расчетов и объяснения закономерностей формирования температурного поля почв (слоя сезонного промерзания–оттаивания) и слоя годовых теплооборотов [*Кудрявцев, 1954*]. Во-вторых, глубины 2,4 м и тем более 3,2 м, как правило, находятся ниже подошвы деятельного слоя и в области сезонной, и в области многолетней мерзлоты. Рассчитанные на основе круглогодичных измерений величины $T_п$ на этих глубинах, их среднегодовые значения представляют собой среднегодовые тем-

пературы пород слоя годовых теплооборотов. Как и в случае единовременного замера в скважинах на всю глубину данного слоя, эти значения уже учитывают различия в теплофизических характеристиках грунтов в мерзлом и талом состоянии и возникающую за счет этого температурную сдвижку на подошве деятельного слоя [*Методика..., 1979*]. Поэтому результаты наблюдений метеорологических станций за $T_п$ всегда востребованы при мерзлотной съемке, особенно при мелкомасштабном картировании [*Гиличинский, 1986*]. Наиболее слабое место наблюдений за $T_п$ на стационарах – их негосударственный уровень; они во многом связаны с возможностями того или иного научного учреждения проводить выдержанные по стандартам и срокам круглогодичные наблюдения. Базируясь только на энтузиазме исследователей, они ограничены несколькими десятками лет, поэтому сопоставимых с метеорологическими станциями длинных рядов наблюдений здесь быть не может. Не отрицая погрешностей и недостатков сети Росгидромета, следует понимать, что для анализа и прогноза изменений климата и, в частности, для верификации моделей, вековые наблюдения за реакцией земной поверхности в области сезонной и вечной мерзлоты на изменения температуры воздуха на 1/6 суши являются уникальными в мировом масштабе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 02-05-64597) и NSF (грант 0PP-0229766).

Литература

Адамов Н.П. Температура чернозема // Почвоведение, 1900, т. 2, № 2, с. 83–98, № 4, с. 282–294; 1901, т. 3, № 2, с. 157–174.

Бедрицкий А.И., **Борисенков Е.П., Коровченко А.С., Пасецкий В.М**. Очерки по истории гидрометеорологической службы России. Т. 1. СПб., Гидрометеоиздат, 1997, 343 с.

Бедрицкий А.И., Богданов К.Т., Борисенко В.М. и др. Очерки по истории гидрометеорологической службы России. Т. 2. СПб., Гидрометеоиздат, 1999, 263 с.

Ваннари П.И. О температуре почвы в некоторых местностях Российской Империи // Зап. Имп. Акад. наук, 1897, т. V, № 7, с. 1–58.

Васильев И.С. Реакция термического режима почвогрунтов Якутии на современные изменения климата // Метеорология и гидрология, 1999, № 2, с. 98–104.

Веселовский К.С. О климате России. СПб., Изд-во Имп. Акад. наук, 1857, 327 с.

Воейков А.И. Снежный покров, его влияние на почву, климат и погоду и способы исследования // Зап. Имп. Рус. геогр. о-ва по общей географии. СПб., 1889, т. XVIII, № 2, 213 с.

Воейков А.И. Распределение тепла в земной коре // Метеорология. СПб., Изд. Картогр. завед. А. Ильина, 1904, ч. I, гл. VI–VIII, с. 73–151.

Волобуев В.Р. Почвы и климат. Баку, Изд-во АН АзССР, 1953, 320 с.

Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. М., Наука, 1974, 128 с.

Волобуев В.Р. Соотношение между тепловым режимом почв и климатом приземного слоя воздуха // Почвоведение, 1983, № 2, с. 52–63.

Гиличинский Д.А. Сезонная криолитозона Западной Сибири. М., Наука, 1986, 143 с.

Гиличинский Д.А., **Быховец С.С., Сороковиков В.А. и др.** Использование данных метеорологических станций для оценки тенденций многолетних изменений температуры почв на территории сезонной и многолетней криолитозоны России // Криосфера Земли, 2000, т. IV, № 3, с. 59–66.

Глазовская М.А. Почвы мира. Ч. 1. М., Изд-во МГУ, 1972, 231 с.

Гласек С.В. Температура почвы в С.-Петербурге // Приложение к т. LXIX Зап. Имп. Акад. наук. СПб., 1892, № 1, 160 с.

Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М., Колос, 1972, 359 с.

Достовалов Б.Н., **Кудрявцев В.А.** Общее мерзлотоведение. М., Изд-во МГУ, 1967, 403 с.

Инструкции, данные Императорской Академией наук в руководство метеорологическим станциям. СПб., Изд-во Имп. Акад. наук, 1879–1912.

Инструкции метеорологическим станциям II разряда. Вып. 2. Дополнительные наблюдения. Пг., Гос. изд-во, 1922, 84 с.

Кедроливанский В.Н., Стернзат М.С. Метеорологические приборы. Л., Гидрометеоиздат, 1953, 454 с.

Климатологический справочник СССР. Вып. 1–27. Л., Гидрометеоиздат, 1947–1950.

Климатологический справочник СССР: Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 1–27. Ч. VII. Температура почвы. Л., Гидрометеоиздат, 1958–1964.

Клоссовский А.В. Температура почвы на Юго-Западе России. Одесса, Тип. Л. Нитче, 1888, 23 с.

Клоссовский А.В. Метеорология (Общий курс). Ч. 1. Одесса, "Экономическая" тип., 1908, 334 с.

Кнорр Э.А. Ход температуры в Казани из наблюдений 1833 года // Учен. зап. Казан. ун-та, 1835, кн. 1, с. 89–110.

Кудрявцев В.А. Температура вечномерзлой толщи в пределах СССР. М., Изд-во АН СССР, 1954, 182 с.

Кудрявцев В.А. О сезонном промерзании и оттаивании почвы // Материалы по общему мерзлотоведению. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 168–174.

Лейст Э.Е. О температуре почвы в Павловске // Приложение к т. LXVI Зап. Имп. Акад. наук. СПб., 1891, № 8, 438 с.

Летописи Николаевской Главной физической обсерватории за 1872–1911 гг. СПб., 1873–1918.

Лоске Э.Г. Обзор работ по сельскохозяйственной метеорологии и вопросам с нею связанным. Ч. 1. Отношение почвы к метеорологическим факторам // Труды по с.-х. метеорологии. СПб., 1911, вып. VIII, 104 с.

Любославский Г.А. Влияние поверхностного покрова на температуру и обмен тепла в верхних слоях почвы // Изв. Имп. Лесного ин-та. СПб., 1909, вып. XIX, с. 65–156.

Метеорологические ежегодники за 1912–1960 гг. Ч. 3. Л., ГГО, 1951–1965.

Метеорологический ежемесячник. Вып. 1–36. Ч. 2. Л., 1961–1990. № 1–13.

Методика мерзлотной съемки / Под ред. В.А. Кудрявцева. М., Изд-во МГУ, 1979, 358 с.

Мошениченко И.Е. Очерки развития метеорологии на Дальнем Востоке. Л., Гидрометеоиздат, 1970, 179 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеоиздат, 1946–1985.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Вып. 1–35. Ч. 1–6. Л., Гидрометеоиздат, 1988–1993.

Нездюров Д.Ф. Очерки развития метеорологических наблюдений в России. Л., Гидрометеоиздат, 1969, 224 с.

Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / Под ред. В.А. Кудрявцева. М., Изд-во МГУ, 1974, 431 с.

Охлябинин С.Д. Метеорологические приборы. Производство и обработка наблюдений. Пг., Гос. тип., 1915, 217 с.

Перунова М.С. Температура почвы в СССР // Климат СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1952, ч. VI, 349 с.

Перунова М.С., Архипова Е.П., Покровская Т.В. Температура почвы // Методы климатологической обработки метеорологических наблюдений / Под ред. О.А. Дроздова. Л., Гидрометеоиздат, 1957, с. 289–317.

Руководство метеорологическим станциям II разряда. Л., ГГО, 1928–1940.

Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений: 5-е изд. ВМО – № 8. Секретариат Всемирной метеорологической организации, Женева, 1983, 550 с.

Справочник по климату СССР. Вып. 1–34. Ч. II. Температура воздуха и почвы. Л., Гидрометеоиздат, 1964–1966.

Справочник по климату СССР: Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 1–34. Ч. VIII. Температура почвы. Л., Гидрометеоиздат, 1969–1978.

Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. Л., Гидрометеоиздат, 1978, 392 с.

Уль Е.Ф. Итоги обзора работ по исследованиям температуры и сезонного промерзания почв в СССР // Очерки по региональной и исторической криологии / Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР, 1961, т. XVII, с. 94–102.

Чудинова С.М., Быховец С.С., Федоров-Давыдов Д.Г. и др. Реакция температурного режима почв Русского Севера на изменения климата во второй половине XX века // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 3, с. 63–70.

Чудинова С.М., Быховец С.С., Сороковиков В.А. и др. Особенности изменения температуры почв России в период последнего потепления климата // Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 3, с. 23–31.

Шкадова А.К. Температурный режим почв на территории СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1979, 240 с.

Шульгин А.М. Температурный режим почвы. Л., Гидрометеоиздат, 1957, 242 с.

Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. Л., Гидрометеоиздат, 1972, 341 с.

Barry R., Zhang T., Gilichinsky D. Russian historical soil temperature data. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center, 2001. Digital media (http://nsidc.org/data/arcss078.html).

Chudinova S.M., Frauenfeld O.W., Barry R.G. et al. Relationship between trends and periodical components in air and soil temperature time series over the permafrost-occupied regions of the Asian Territory of Russia // J. Geophys. Res., 2006, vol. 111, No. F2 , F02008, doi:10.1029/2005JF000342.

Frauenfeld O.W., Zhang T., Barry R.G., Gilichinsky D. Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia // J. Geophys. Res., 2004, vol. 109, No. D5, D05101, doi:10.1029/2003JD004245.

Gilichinsky D., Barry R., Bykhovets S. et al. A century of temperature observations of soil climate: Methods of analysis and long-term trends // Permafrost: Proc. of the 7th Intern. Conf. (Yellowknife, Canada, Univ. Laval, Collection Nordicana), 1998, No. 57, p. 313–317.

Melnikov E., Gilichinsky D.A. Map of natural (Landscape) and permafrost zones and the net of soil temperature meteorological stations in Russia and Middle Asian Mountains. Distributed by National Snow and Ice Data Center / World Data Center for Glaciology, 1999. Digital media (http://nsidc.org/data/ggd618.html).

Wild H. Über die Bodentemperaturen in St. Petersburg und Nukuss // Rep. für Meteorologie, 1878, Bd VI, No. 4, S. 1–95.

Wild H. Über die Differenzen der Bodentemperaturen mit und ohne Vegetations-Resp. Schneedecke nach den Beobahtungen im Konstantinowschen Observatorium zu Pawlowsk // Зап. Имп. Акад. наук, 1897, т. V, № 8, с. 1–32.

Zhang T., Barry R., Gilichinsky D. et al. An amplified signal of climatic change in ground temperatures during the last century at Irkutsk, Russia // Climatic Change, 2001, vol. 49, No. 1/2, p. 41–76.

Zhang T., Frauenfeld O.W., Serreze M.C. et al. Spatial and temporal variability in active layer thickness over the Russian Arctic Drainage Basin // J. Geophys. Res., 2005, vol. 110, No. D16, D16101, doi:10.1029/2004JD005642.

Поступила в редакцию
9 февраля 2006 г.