Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 3, с. 23–30

УДК 551.525

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВ РОССИИ В ПЕРИОД ПОСЛЕДНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

С. М. Чудинова, С. С. Быховец, В. А. Сороковиков, Р. Барри*, Т. Жанг*, Д. А. Гиличинский

Институт физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН, 142290, Московская обл., Пущино, Россия
** Национальный центр данных по льду и снегу Университета Колорадо, Болдер, Колорадо, США*

Проанализированы и сопоставлены тенденции в колебаниях среднегодовых и осредненных за сезон (зима, весна, лето, осень) температур воздуха и почв на глубинах 40, 160, 320 см для 242 метеорологических станций России за период с 1969 по 1990 г. Тенденции в колебаниях среднегодовых температур почв в таежной зоне Русской равнины определяются колебаниями температур воздуха начала теплого сезона. На Урале и в Западной Сибири они определяются климатическими тенденциями холодного и теплого сезонов, а в Восточной Сибири — холодного сезона. Максимальный рост среднегодовой температуры почв (0,05–0,08 °С/год) за исследуемый период характерен для Западной Сибири, Восточно-Сибирского плоскогорья и Забайкалья, что соответствует максимальному росту среднегодовой температуры воздуха в этих районах. В Прибайкалье, Приморье и на Северо-Востоке России рост температуры воздуха в исследуемый период практически отсутствует. Не зафиксировано здесь и повышения температуры почв: тренды среднегодовой температуры составляют, соответственно, 0,01–0,03; 0,00–0,02 и 0,01–0,00 °С/год. На большинстве станций в области сплошного распространения мерзлоты повышения среднегодовых температур многолетнемерзлых горизонтов не установлено.

Температура воздуха и почвы, многолетняя динамика, изменения климата, сезонная и вечная мерзлота

FEATURES OF SOIL WARMING VERSUS RECENT CLIMATE WARMING IN RUSSIA

S. M. Chudinova, S. S. Bykhovets, V. A. Sorokovikov, R. Barry*, T. Zang*, D. A. Gilichinsky

Institute of Physico-Chemical and Biological Problems in Soil Science RAS, Pushchino, Moscow region, 142290, Russian
** National Snow and Ice Data Center, Campus Box 449, University of Colorado, Boulder, CO 80309, USA*

The changes of temperature in perennially and seasonally frozen soil, in response to the current global warming, were assessed for 242 meteorological stations across Russia for depths of 40, 160, and 320 cm. Analysis was performed for the mean annual soil and air temperature, as well as soil temperature averaged over the summer, winter, spring, and autumn periods. These changes differ in time and space. Changes in annual soil temperature can be controlled by the air temperature of the warm period (taiga zone of the Russian Plain), the cold and warm periods (Ural and West Siberian Plain), and the cold period (Eastern Siberia). Maximum annual warming (0,05–0,08 °C/year) was observed for the permafrost and seasonally frozen soils of the West Siberia Plain and the permafrost regions of the Central Siberian Plateau and mountains of Transbaikalia. Annual ground warming is practically absent in Prebaikalia, Far East, and north-eastern part of Russia: 0,01–0,03; 0,00–0,02; 0,01–0,00 °C/year, respectively. This reflects the absence of any significant increase in the annual air temperature in these regions. Soil warming in the permafrost regions has taken place mainly in the cold season, and no significant effect on the permafrost status in these regions is apparent.

Soil and air temperature, long-term dynamics, climate change, seasonally frozen soils, permafrost

ВВЕДЕНИЕ

Большинство сценариев изменения климата основано на исследовании колебаний температуры воздуха. Анализ современных тенденций, отражая метеорологический аспект проблемы, говорит о повсеместном росте температур воздуха на территории России с конца 1960-х годов до настоящего времени [*Ранькова, Груза, 1998; Кобак и др., 1999*]. Для теоретических и прикладных задач геокриологии первостепенное значение имеют изменения температуры почв. Кроме того, именно они определяют свойства и функционирование наземных биогеоценозов. Выявление закономерностей в изменении температуры почв Севера России под влиянием изменения температур воздуха за период 1970–1995 гг. сделано А.В. Павловым с коллегами [*2002*] на основе данных, полученных на геокриологических стационарах и режимных участках. В то же время существует огромный массив данных по температурам почв, накопленный Гидрометеослужбой России в течение почти 100 лет. Впервые данные метеорологических станций (м/ст.) были использованы В.Н. Димо для районирования почв по тепловому режиму [*1972*]. В последнее время эту информацию начали использовать для выявле-

© С.М. Чудинова, С.С. Быховец, В.А. Сороковиков, Р. Барри, Т. Жанг, Д.А. Гиличинский, 2003

ния особенностей изменений температурного режима почв конкретных регионов в условиях меняющегося климата. Д.А. Гиличинский с соавторами [*Гиличинский и др., 2000; Gilichinsky et al., 1998*] показал, что, несмотря на понижение среднегодовой температуры воздуха, температура почвы на метеостанциях Архангельска и Каргополя возрастает. И.С. Васильев [*1999*] выявил, что рост среднегодовой температуры грунтов в отдельных районах Якутии в период с 1965 по 1987 г. был обусловлен смягчением зимних условий. Т. Жанг с соавторами [*Zhang et al., 2001*] установил, что в Иркутске, несмотря на повышение температур воздуха, летние температуры почв понижались из-за обильных осадков. Для Русского Севера определено [*Чудинова и др., 2001*], что наибольшее влияние на рост среднегодовой температуры почв оказывает значительное повышение температур воздуха в первый месяц после оттаивания (май в западной части региона и июнь — в восточной).

В настоящей работе использованы данные по температуре почв на 242 метеорологических станциях России, которые были собраны и переведены в электронную форму в лаборатории криологии почв Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. Для исследований выбран период с 1969 по 1990 г., поскольку для него отмечен устойчивый рост температуры воздуха и имеется максимальное количество метеорологических данных по температуре воздуха и почв. Эти данные использованы для установления отклика температуры почвы на изменения температуры воздуха для всей территории России. Непосредственные задачи настоящего исследования: 1) выявление регионов с однотипной реакцией температуры почв на изменения температуры воздуха; 2) оценка тенденций в колебаниях температуры почв в этих регионах и установление их связи с изменениями температуры воздуха в определенные сезоны; 3) оценка последствий рассматриваемого потепления в районах, занятых вечной мерзлотой.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При отборе станций руководствовались длительностью (20 и более лет) наблюдений за температурой почв. Отсутствие в существующей базе данных температур почв для больших территорий, занятых мерзлотой в Западной и Восточной Сибири, связано в основном с отсутствием „длиннорядных“ станций на этих территориях. Для районов сплошного распространения вечной мерзлоты была собрана вся существующая информация о температуре почв и грунтов.

Если в период наблюдений площадка переносилась, то проверялось влияние переноса на характер изменений температуры почв. Если перенос приводил к неоднородности в колебаниях температуры почвы, способной повлиять на оценку тренда, станцию исключали из анализа. Отсутствующие данные в рядах температуры почвы восстанавливали на основе регрессионной зависимости между многолетними колебаниями температуры в соседних слоях [*Методы..., 1957*].

Проанализированы среднегодовые, а также осредненные за лето (июнь—август), зиму (декабрь—февраль), весну (март—май), осень (сентябрь—ноябрь) температуры почвы, которые определялись по вытяжным термометрам на глубинах 40, 160, 320 см. Данные по температурам почв сопоставлялись со среднегодовыми и среднемесячными температурами воздуха, полученными из общедоступных баз данных [*Global Historical..., RIHMI-WDC...*].

Оценка тенденций в многолетних колебаниях температуры воздуха и почв проводилась на основе анализа линейного тренда временных рядов. Достоверность существования тренда оценивалась с помощью *t*-критерия. Как правило, вероятность существования трендов с угловыми коэффициентами от –0,01 до 0,03 °С/год весьма низкая, в то время как вероятность существования тренда с угловым коэффициентом >0,04 °С/год варьирует от 80 до 95 % и выше.

Для оценки климатических изменений на больших территориях, как правило, климатические данные предварительно осредняют по площади, что предполагает интерполяцию данных. Для температуры почв такой путь не приемлем, поскольку климатические, растительные и почвенно-грунтовые условия на станциях сильно отличаются. Поэтому тренды в колебаниях температур почвы и воздуха оценивались отдельно для каждой станции. Затем, с учетом физико-географических районов России, были выделены территории с одинаковыми тенденциями в изменении среднемесячных и среднегодовых колебаний в температуре воздуха. После чего в этих регионах были проанализированы тенденции в колебаниях температуры почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего было выделено одиннадцать регионов. Каждому из них присущи собственные тенденции колебаний температур воздуха и отклика на них температуры почв (рис. 1). Тенденции температур воздуха в каждом регионе достаточно однотипны (среднемесячные тренды близки по направлению и величине), реакция же температур почв более разнообразна. Поэтому ситуацию в регионе обсуждали, ориентируясь на то, как ведут себя температуры воздуха и почв на большинстве станций этого региона. Это поведение было проиллюстрировано среднеарифметическими величинами, рассчитанными для трендов температур воздуха и почвы (таблица), которые адекватно отражали обнаруженные закономерности.

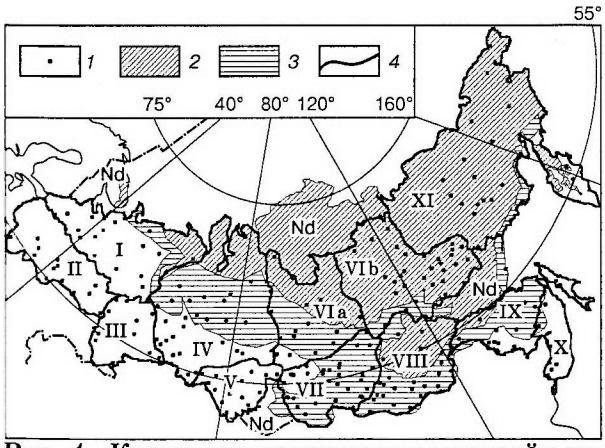

Рис. 1. Карта расположения метеостанций и выделенные регионы (I–XI).

1 — метеостанции; *2* — область сплошного распространения вечной мерзлоты; *3* — область прерывистого, островного, редкоостровного распространения вечной мерзлоты; *4* — границы выделенных регионов; Nd — данные отсутствуют.

Подзоны северной и средней тайги Русской равнины (регион I). Установлено [*Чудинова и др., 2001*], что здесь, к северу от 60-й широты, несмотря на преобладающее увеличение температур воздуха холодного периода с января по март, рост температур почв до глубины 320 см происходит в основном в теплый период с мая по сентябрь. Этот рост обусловлен значительным повышением температур воздуха (0,10–0,20 °С/год) в первый месяц после оттаивания почв (май, июнь). Даже если в остальные летние месяцы температура воздуха не растет, тренды среднемесячных температур почв остаются положительными. Благодаря более значительному росту температур воздуха, рост среднегодовых температур почв наблюдается в восточной части, примыкающей к Уралу (0,05–0,09 °С/год на глубине 40 см и 0,03–0,05 °С/год на глубине 320 см).

Подзона южной тайги и зона широколиственных лесов Русской равнины (регион II). Рост зимних температур воздуха такой же, как и в северных районах (см. таблицу), а вот в мае и июне он ниже (0,07–0,12 °С/год). В остальные летние месяцы температура воздуха либо вообще не растет, либо понижается. Как следствие, зимнее повышение температуры почвы хотя и имеет место, но, как и в более северных районах, невелико. Летние температуры почв практически не растут, а на некоторых станциях даже понижаются. Так, на большинстве станций не зафиксировано роста среднегодовых температур почв (см. таблицу).

Средний и Южный Урал (регион III). Западная Сибирь (регион IV). Температура воздуха за период наблюдений повышается в течение всего года. На подавляющем большинстве станций наблюдается повышение температур всех почвенных горизонтов во все сезоны года, что обусловливает значимый рост среднегодовых температур почв по всем глубинам (см. таблицу, рис. 2, *а*). Осенью повышения температур воздуха не происходит, однако почвенные температуры растут с глубиной, благодаря тепловой волне предыдущих месяцев.

Юго-восток Западной Сибири (регион V) (Васюганская равнина, Барабинская низменность, предгорья Алтая и Саян). Рост температур воздуха в холодное время значителен, а в теплый период отмечается только в мае и августе. В результате рост среднелетних температур почв здесь ниже, чем в IV регионе, но, благодаря повышению температур почв в холодный период, рост их среднегодовых значений и в этой части Западной Сибири составляет 0,06–0,05 °С/год (см. таблицу).

На остальной азиатской территории России ситуация несколько иная.

Среднесибирское плоскогорье (регион VI). Температура воздуха растет лишь в холодное время (максимум в феврале и марте — 0,25 ± 0,13 и 0,18 ± 0,09 °С/год соответственно), а летом может даже понижаться. Как следствие, на большей части станций в верхних горизонтах почвы (40 см) значительный рост температур происходит в зимний и весенний периоды, а летние температуры не растут или даже понижаются (см. таблицу). На западе плоскогорья (VIa регион) благодаря положительным трендам воздуха в мае и в осенние месяцы на ряде станций наблюдается незначительный рост температур почв на глубине 40 см в летне-осеннее время. Для глубин 160 и 320 см ситуация меняется, величины трендов температур почв зимнего и весеннего периодов понижаются, а летнего и осеннего — повышаются (см. таблицу). В летний период отрицательные тренды в верхних горизонтах почв часто сменяются положительными в нижних. В западной части плоскогорья рост температур почв с глубиной выше (см. таблицу, рис. 2, *б*), чем в восточной (VIb регион) (см. таблицу, рис. 2, *в*). Максимальные положительные тренды летнего периода преобладают на 160 см, а осеннего — на 320 см. Таким образом, на данной территории тенденции в колебаниях летних температур воздуха оказывают влияние на колебания температур почв только в верхних горизонтах (до 40 см). Тенденции в колебаниях летних температур почв определяются тенденциями в колебаниях температур воздуха холодного периода уже с 80 см. Рост температур почв холодного периода определил и рост среднегодовых температур почв на этой территории (см. таблицу).

В междуречье Лена–Амга–Алдан почти на половине станций тренд зимней температуры на глубине 40 см отрицателен, несмотря на положительные тренды зимней температуры воздуха.

Следует отметить, что для северных районов VIb региона наши оценки отличаются от оценок И.С. Васильева, сделанных для периода с 1965 по

Угловые коэффициенты линейных трендов (°С/год) среднегодовых и среднесезонных температур воздуха и почвы для выделенных регионов за период 1969–1990 гг.

Глубина, см	Зима	Весна	Лето	Осень	Годовые	Зима	Весна	Лето	Осень	Годовые
	Регион I					Регион VIb				
Воздух	0,06	0,10	0,04	0,01	0,02	0,13	0,05	–0,01	0,00	0,06
40	–0,01	0,05	0,07	0,02	0,05	0,10	0,10	–0,01	0,00	0,05
160	0,02	0,03	0,06	0,04	0,04	0,03	0,08	0,02	0,02	0,04
320	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,01	0,06	0,02	0,00	0,04
	Регион II					Регион VII				
Воздух	0,06	0,07	0,03	–0,03	0,05	0,20	0,07	–0,01	0,01	0,05
40	0,03	0,03	–0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	–0,02	0,03	0,01
160	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
320	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	0,05	0,04
	Регион III					Регион VIII				
Воздух	0,21	0,03	0,10	–0,03	0,06	0,17	0,08	0,00	0,01	0,06
40	0,07	0,04	0,08	0,00	0,04	0,09	0,09	0,01	0,04	0,06
160	0,04	0,06	0,06	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06
320	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04
	Регион IV					Регион IX				
Воздух	0,24	0,08	0,09	0,03	0,10	0,5	0,08	0,04	0,00	0,06
40	0,08	0,07	0,10	0,01	0,07	0,04	0,05	0,03	0,03	0,05
160	0,04	0,06	0,10	0,04	0,06	0,02	0,04	0,09	0,04	0,04
320	0,05	0,05	0,08	0,06	0,06	0,04	0,03	0,07	0,05	0,05
	Регион V					Регион X				
Воздух	0,23	0,07	0,03	–0,01	0,08	0,06	0,05	0,05	0,01	0,04
40	0,09	0,07	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01
160	0,07	0,07	0,03	0,08	0,06	0,00	0,02	–0,02	0,01	0,00
320	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,00	0,01	–0,04	0,01	0,01
	Регион VIa					Регион XI				
Воздух	0,22	0,06	–0,01	0,04	0,07	0,04	0,02	–0,03	0,04	0,02
40	0,09	0,09	0,00	0,04	0,06	0,02	0,00	–0,05	0,02	–0,01
160	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06	0,01	0,02	–0,01	0,00	0,00
320	0,05	0,06	0,07	0,08	0,06	–0,01	0,01	0,01	0,01	0,00

1987 г. В частности, тренд среднегодовых температур почв на глубине 160 см на м/ст. Сухана (68,6° с.ш., 118,3° в.д.) за период 1965–1987 гг. был отрицателен (–0,03 °С/год) [*Васильев, 1999*], а для периода 1969–1990 гг. он равен 0,04 °С/год (наша оценка). Причина в том, что при анализе коротких временных рядов величина линейного тренда сильно зависит от значений в начале и конце ряда. Температуры воздуха и почв в 1965, 1967, 1968 гг. значительно выше температур 1969 и 1970 гг. В период с 1985 по 1987 г. наблюдалось похолодание, сменившееся в 1989–1990 гг. резким потеплением. Таким образом, понижение температур почв в начале анализируемого периода и повышение ее в конце привели к изменению не только величины, но и знака тренда.

Прибайкалье (регион VII). Направление и величины трендов в колебаниях среднемесячных и среднегодовой температур воздуха аналогичны таковым на Среднесибирском плоскогорье, однако реакция почв иная. Рост температуры почв в зимне-весеннее время здесь ниже и, как следствие, на большинстве станций ее среднегодовой тренд ≤0,03 °С/год (см. рис. 2, *г*). Станции, где тренды среднегодовых температур почв достигают 0,07–0,08 °С/год в верхних горизонтах и 0,05–0,06 °С/год – в нижних, сосредоточены в горах Восточного Саяна (см. рис. 2, *д*).

Забайкалье (регион VIII). (Становое нагорье, Яблоневый хребет, Алданское нагорье и Становой хребет). Основное повышение температур воздуха также приходится на холодное время года (январь–март), в теплое время несколько растут только температуры воздуха мая и августа. В горах велико влияние местных условий (высоты, ориентации склона и т. д.), поэтому реакция почв разнообразная (см. рис. 2, *е*, *ж*). Тем не менее общая тенденция та же, что на Среднесибирском плоского-

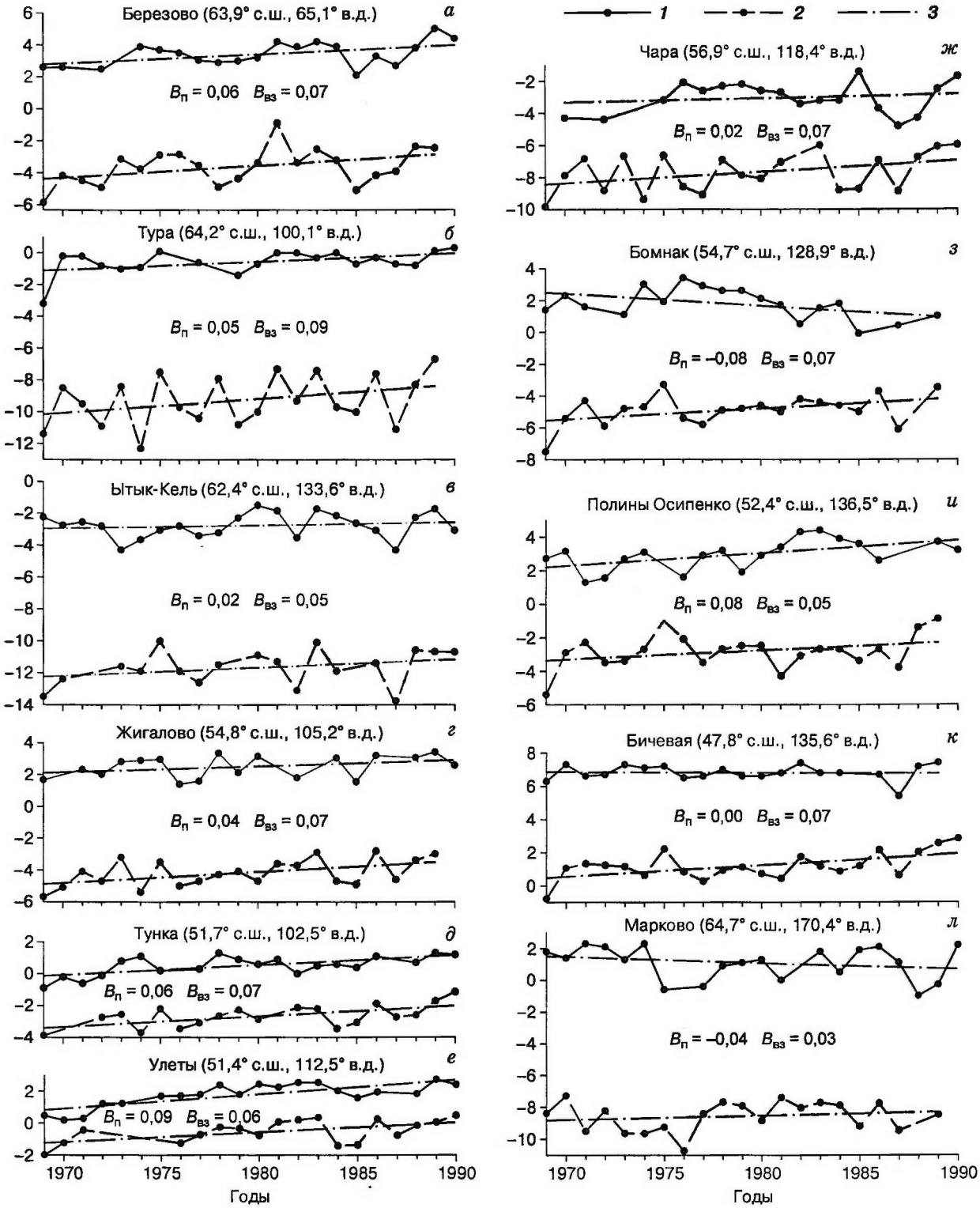

Рис. 2. Динамика среднегодовой температуры почвы (на глубине 160 см) и воздуха на некоторых станциях азиатской части России.

1 — температура почвы, *2* — температура воздуха, *3* — линейный тренд ($B_п$ и $B_{вз}$ — угловой коэффициент линейного тренда (°С/год) для почвы и воздуха соответственно).

рье: в летнее время года в верхних горизонтах (до 40 см) повышение температур почв незначительно или вообще отсутствует, а в холодное время года во всем профиле рост температур почв происходит за счет увеличения температур воздуха в зимне-весенний период (см. таблицу).

Территория между Становым хребтом и Амуром (регион IX). (Амурская область и часть Хабаровского края). Из-за чередования гор, низменностей и долин крупных рек тенденции в многолетних колебаниях воздуха и почв весьма разнообразны (см. рис. 2, *з*, *и*). В этом регионе, как ни в одном другом, много станций, где на тенденции многолетних колебаний температур почв определяющее влияние оказывает не температура воздуха, а другие факторы. Температура воздуха повышается в течение всего года, небольшие отрицательные тренды есть на некоторых станциях только в октябре—ноябре. Максимум потепления, как и в остальных регионах, — в феврале и марте. Реакция почв на это потепление различна. На станциях северо-западной части Амуро-Зейского плато, несмотря на значимый рост зимних температур воздуха, зимние температуры почв на глубине 40 см понижаются. Например, на станциях Сковородино и Бомнак при положительном тренде зимней температуры воздуха (0,17 и 0,19 °С/год соответственно), тренд зимних температур почв отрицателен: на 40 см он составляет –0,14 и –0,25 °С/год соответственно. Кое-где эта тенденция распространяется до глубины 320 см. В целом, на большей части региона максимальное повышение почвенных температур приходится на осенне-зимне-весеннее время (см. таблицу).

Приморье (регион X). Рост температуры воздуха невелик (см. таблицу) и, как следствие, невелик рост сезонных и среднегодовой температур почв (см. рис. 2, *к*).

Территории восточнее р. Лена (регион XI). Из-за разнообразия условий этому региону также присуще значительное варьирование тенденций в колебаниях температур воздуха и почвы. Зимний рост температур воздуха (0,11 °С/год) наблюдается на станциях, расположенных в горной части верхнего течения рек Колыма и Индигирка, и практически отсутствует (0,02—0,04 °С/год) на станциях, расположенных вблизи побережья. На Камчатке тренды зимних температур воздуха отрицательны почти на всех станциях.

Соответствующим образом распределены и тренды температур почв. Повышение температур почв наблюдается в горной части верхнего течения рек Колыма и Индигирка и в основном когда почва находится в мерзлом состоянии — зимой, осенью, иногда весной. Оно распространяется до глубины 160 см, а там, где удается это проследить, — до 320 см. Летние температуры на глубине 40 см в большинстве случаев понижаются, а с глубиной отрицательные тренды меняются на положительные. Рост среднегодовых температур почв отмечен только на трех станциях, причем происходит он в течение всего года, хотя максимален в холодное время (весной, зимой, осенью). Почти на половине станций температура почв понижается в течение всего сезона. В этом регионе также есть станции, где тренды температур воздуха и почв имеют разную направленность. На Анадырском плоскогорье (станция Марково) наблюдается понижение среднегодовой температуры почв при незначительном потеплении воздуха (см. рис. 2, *л*).

ВЛИЯНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА СОСТОЯНИЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Поскольку величины трендов температур почв на отдельных станциях могут значительно отличаться от средних величин, мы проанализировали ситуацию для каждой из станций, расположенных в криолитозоне. В области сплошного распространения вечной мерзлоты скважины для вытяжных термометров вскрывают мерзлоту со 160—320 см на 33 станциях (VI, VIII, XI регионы). Для большинства станций эта мерзлота высокотемпературная (более –3 °С). Низкотемпературная мерзлота (от –7 до –8,5 °С) вскрывается только на станциях, расположенных между р. Лена и средним и верхним течением р. Колыма. На 4-х станциях наблюдался незначительный рост (≤ 0,04 °С/год) среднегодовой температуры многолетнемерзлых горизонтов, который происходил за счет роста температур холодного периода. Значимый рост среднегодовой температуры мерзлых пород обнаружен только на двух станциях: Исить (60,8° с.ш., 125,3° в.д., регион VIb) и Амгуэма (67° с.ш., 178,9° в.д., регион XI): 0,05 и 0,07 °С/год соответственно. На большинстве станций значимого роста среднегодовой температуры в доступных для измерения приповерхностных горизонтах вечной мерзлоты не наблюдалось. На шести станциях на глубине 320 см наблюдались даже небольшие отрицательные тренды (–0,01...–0,04 °С/год). Термометрические наблюдения в скважинах, проведенные нами в период с 1978 по 1990 г. в тундровой и лесотундровой зонах Колымской низменности, также показывают, что температура многолетнемерзлых пород в слое годовых теплооборотов оставалась в этот период постоянной (рис. 3). Основной вклад в определение осредненных величин трендов температур почв для VIa, VIII и IX регионов вносят станции, расположенные в зоне от редкоостровного до прерывистого распространения вечной мерзлоты. Но ни на одной из этих станций скважины для вытяжных термометров мерзлоту не вскрывают.

Таким образом, используемая в данной статье информация (данные метеостанций и наблюдения в скважинах) говорит о стабильности температур-

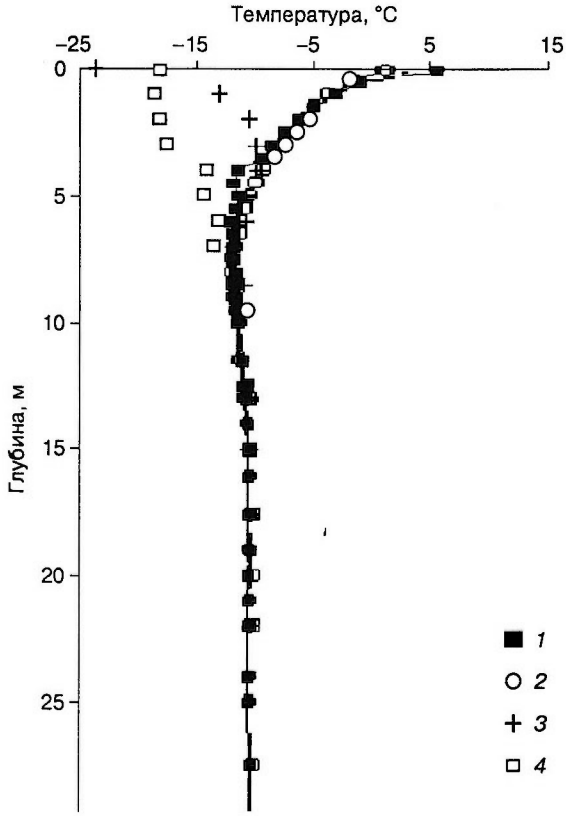

Рис. 3. Распределение температуры по глубине в скважине (тундровая зона Колымской низменности, 69°52′ с.ш., 157° в.д.).

Измерения: *1* — 15.08.79; *2* — 23.07.82; *3* — 01.12.90; *4* — 01.05.91.

ного режима многолетнемерзлых пород Восточной Сибири в зоне их сплошного распространения.

Теоретически, настоящее потепление должно наиболее отчетливо проявиться в Западной Сибири. Согласно О.А. Анисимову [*Anisimov, 2001*], Западная Сибирь — наиболее чувствительный к глобальному потеплению регион России. Температуры воздуха и почв повышаются здесь как в холодное, так и в теплое время. Увеличение среднегодовой температуры почв, в отличие от Восточной Сибири, связано здесь не только с уменьшением в них сумм отрицательных температур зимой, но и с увеличением сумм положительных температур летом. Для зон редкоостровного, островного и прерывистого распространения вечной мерзлоты Западной Сибири осредненный тренд среднегодовой температуры почв несколько ниже (0,05—0,06 °С/год), чем в среднем по IV региону (см. таблицу), что связано с меньшим ростом зимних и весенних температур почв (0,02—0,05 °С/год). Тем не менее тренд летних температур в этой зоне значителен (в среднем 0,10 °С/год на глубине 40 и 160 см). На некоторых станциях на глубине 160 см он достигает 0,13—0,14 (например, Ермаково, 63,4° с.ш., 78,3° в.д.; Корлики, 61,8° с.ш., 82,2° в.д.) и даже 0,16—0,17 °С/год (например, Ларьяк, 62,5° с.ш., 66,1° в.д.; Нумто, 63,5° с.ш., 71,4° в.д.).

К сожалению, проследить непосредственно влияние этого потепления на состояние поверхностных слоев вечной мерзлоты мы не можем, поскольку ни на одной из имеющихся в нашем распоряжении станций скважины для вытяжных термометров мерзлоту не вскрывают. Однако по данным других исследователей [*Павлов и др., 2002*], среднегодовая температура многолетнемерзлых пород на глубине 10 м в зоне их сплошного распространения в Западной Сибири возрастала в период с 1979 по 1995 г.

ВЫВОДЫ

Рост среднегодовой температуры почв и грунтов до глубин 320 см на территории России в период с 1969 по 1990 г. в целом соответствует росту среднегодовой температуры воздуха. Максимальное повышение среднегодовой температуры почв наблюдается на Урале, в Западной Сибири, на Среднесибирском плоскогорье и в горах Забайкалья, а минимальное — на территории Русской равнины. Повышение почвенных температур практически отсутствует на территории восточнее р. Лена.

Реакция сезонной температуры почв на изменения температур воздуха более сложная. Несмотря на преимущественный рост зимних температур воздуха по всей территории России, на Урале, в Западной Сибири и на севере Русской равнины, рост температуры почв в летнее время более значителен, чем в зимнее. В Восточной Сибири в почвенных горизонтах до глубин 40—80 см тенденции в многолетних колебаниях сезонных температур соответствуют тенденциям в колебаниях соответствующих сезонных температур воздуха. Температурный режим нижней части почвенных профилей формируется главным образом под влиянием температур холодного периода.

Состояние вечной мерзлоты Восточной Сибири, в зоне ее сплошного распространения, достаточно стабильно.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 02-05-64597) и Национального научного фонда США (гранты 99-07541 и 02-29766).

Литература

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

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.

Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М., Колос, 1972, 360 с.

Кобак К.И., Кондрашова Н.Ю., Лугина К.М. и др. Анализ многолетних метеорологических наблюдений в Северо-Западном регионе России // Метеорология и гидрология, 1999, № 1, с. 30—38.

Методы климатологической обработки метеорологических наблюдений / Под ред. О.А. Дроздова. Л., Гидрометеоиздат, 1957, 497 с.

Павлов А.В., Ананьева Г.В., Дроздов Д.С. и др. Мониторинг сезонноталого слоя и температуры мерзлого грунта на Севере России // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 4, с. 30—39.

Ранькова Э.Я., Груза Г.В. Индикаторы изменений климата России // Метеорология и гидрология, 1998, № 1, с. 5—18.

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 в. // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 3, с. 63—69.

Anisimov O.A. Predicting Patterns of Near-Surface Air Temperature Using Empirical Data // Climate Change, 2001, vol. 50, p. 297—315.

Gilichinsky D.A., Barry R.G., Bykhovets S.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. (23—27 June, 1998) / Ed. A.G. Lewkowicz, M. Allard. Yellowknife, Universite Laval, 1998, p. 313—317.

Global Historical Climatology Network (NCDC NOAA & CDIAC ORNL) http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/ndp041/.

RIHMI-WDC, ROSHYDROMET. Air Temperature and Precipitation Daily Data from the Former USSR. http://www.meteo.ru/data/emdata.htm.

Zhang T., Barry R.G., Gilichinsky D.A. et al. An amplified signal of climatic change in ground temperatures during the last century at Irkutsk, Russia // Climate Change, 2001, vol. 49, p. 41—76.

Поступила в редакцию
14 апреля 2003 г.