



УДК: 551.583:551.345

МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА РОССИИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

А. Б. Шерстюков

Институт глобального климата и экологии РАН

В статье рассматриваются вопросы, связанные с состоянием многолетней мерзлоты в условиях глобального потепления климата

In the article the questions connected with a condition of permafrost section in conditions of global climate changes are considered.

В России зона многолетней мерзлоты занимает около 65% территории и охватывает значительную часть Сибири и Дальнего востока [1]. В пределах криолитозоны России сосредоточены более 30% разведанных запасов всей нефти страны, около 60% природного газа, залежи каменного угля и торфа, большая часть гидроэнергоресурсов, запасов цветных металлов, золота и алмазов, огромные запасы древесины и пресной воды. Здесь создана дорогостоящая и уязвимая инфраструктура: нефтегазопромысловые объекты, магистральные нефте- и газопроводы протяженностью в тысячи километров, шахты и карьеры, гидроэлектростанции, возведены города и поселки, построены автомобильные и железные дороги, аэродромы и порты. По данным [2], начиная с середины 1960-х гг. в северных регионах России повсеместно отмечается потепление климата. Тренд повышения температуры воздуха в целом для севера России составляет $0,47^{\circ}\text{C}/10$ лет. В работе [3] показано, что потепление происходит и в почве на глубинах 80 и 160 см. В значениях среднегодовой температуры почвы здесь преобладают положительные тренды. Наибольшее потепление мерзлых грунтов за период 1979–1995 гг. характерно для низкотемпературных полигональных тундровых районов, наименьшее — для низких пойм и долин рек [2]. Изменение состояния грунтов с деградацией мерзлоты отражается на инженерно-тех-

нических сооружениях, перечисленных выше [4].

Другим следствием потепления является освобождение газов (особенно метана), замороженных в грунте, и поступление их в атмосферу [1]. По данным [5], в результате таяния многолетней мерзлоты на севере Сибири в атмосферу ежегодно поступает около 3,8 млн тонн метана. Метан является парниковым газом и по его концентрации в воздухе стоит на втором месте после углекислого газа. Метан в связанном состоянии находится в виде метангидрата и в больших количествах вморожен в почву в зоне многолетней мерзлоты. Высвобождение метана опасно усилением парникового эффекта.

Предотвращение деградации мерзлоты является важнейшей экологической задачей при хозяйственном освоении Севера. В этом отношении очень важным является проведение Международного полярного года, который по инициативе многих авторитетных научных учреждений (Международная ассоциация мерзлотоведов, Всемирная метеорологическая организация, Всемирный геофизический союз и др.) объявлен ООН в 2007–2008 гг.

В настоящей работе по современным данным (за период с 1977 по 2004 г.) выполнен анализ трендов температуры почвы на глубинах 80 и 160 см. Этот период отличается наиболее интенсивным глобальным потеплением, и за этот период была возможность обработать более 100 станций на многолетних мерзлых грунтах России. Использовались среднемесячные данные. Столь подробная информация позволила описать пространственные особенности трендовых изменений температуры почвы на глубинах. Для изучения изменения площадей, на которых имеются предпосылки существования многолетней мерзлоты, привлекались данные о среднемесячной температуре воздуха на территории России по 1200 станциям.

Территория с благоприятными температурными условиями для существования многолетней мерзлоты определялась по индексу суровости климата В. П. Нечаева (I), представляющего собой частное от деления температуры воздуха самого холодного месяца (января) на температуру самого теплого месяца года

(июля) [6]. Значениям индекса менее $-1,0$ соответствуют благоприятные условия для существования мерзлых грунтов, а значениям индекса менее $-2,0$ соответствуют благоприятные условия для сохранения сплошных мерзлых грунтов.

Индекс суровости I вычислялся за период 1961–1990 и отдельно за период 1991–2005 г. Установлено, что за последние 15 лет по сравнению с нормой площадь регионов с климатическими условиями ($I < -1$), благоприятными для существования мерзлых грунтов, сократилась примерно на 30%. Почти на 50% сократилась площадь с условиями ($I < -2$), благоприятными для сохранения сплошных мерзлых грунтов на территории России.

Следует подчеркнуть, что полученные оценки изменений площадей относятся к изменению атмосферных температурных условий в криолитозоне, влияющих на её состояние, а не к изменению площади многолетнемерзлых грунтов.

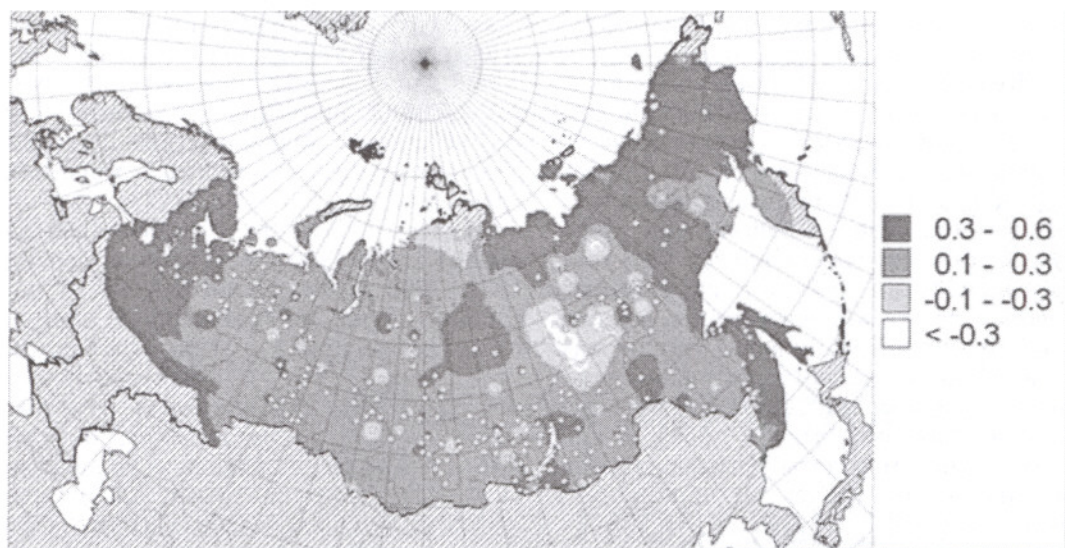
Полученные результаты подтверждают зависимость состояния зоны вечной мерзлоты от современных изменений глобального климата.

На основе данных о температуре почвы на глубинах можно более детально изучить пространственно-временные изменения грунтов криолитозоны.

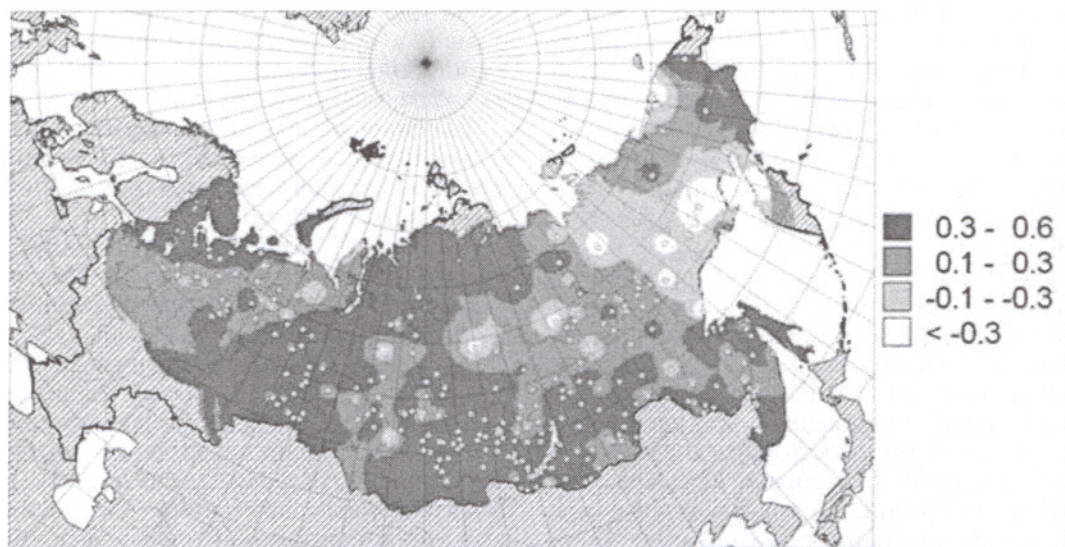
По среднесезонным значениям температуры почвы на глубинах на станциях России в выделенных районах криолитозоны вычислялись значения линейных трендов за период 1977–2004 г. По полученным значениям построены карты пространственного распределения трендов температуры почвы по каждому сезону. Оценка достоверности трендов проводилась на основе критерия Стьюдента. Ниже описано пространственное распределение трендов, которое в основных очагах подтверждается достоверными трендами с вероятностью 95%.

На рисунке 1 видно, что зимой на глубине 80 см тренды температуры положительные почти на всей территории Сибири. Рост температуры здесь составляет преимущественно от $0,1$ до $1,0^\circ\text{C}/10$ лет, а в низовьях рек Лена и Колыма рост температуры достигает $1,5^\circ\text{C}/10$ лет.

На средней равнинной части бассейна реки Лена, на некоторых станциях в



*Рис. 1. Тренды температуры почвы на глубине 80 см за 1977–2004 годы.
Зима (декабрь–февраль)*



*Рис. 2. Тренды температуры почвы на глубине 80 см за 1977–2004 годы.
Лето (июнь–август)*

районе верховья Оби, вблизи р. Ангара, в верховье р. Колыма и на притоках р. Амур тренды отрицательные, падение температуры составляет от 0,1 до 1,0°C/10 лет.

Весной отрицательные тренды наблюдаются в тех же районах, но число станций с отрицательными трендами меньше. На остальной территории тренды температуры положительные. Наибольшие положительные тренды наблюдаются в низовьях Лены и Колымы.

Летом (рис. 2) на глубине 80 см преобладают положительные тренды

температуры почти на всей территории Сибири. За исключением горных массивов, расположенных между реками Лена и Колыма, а также Среднесибирского плоскогорья. В этих районах тренды отрицательные.

Осенью преобладают слабые положительные тренды на всей рассматриваемой территории.

На глубине 160 см во всех сезонах соответственно положительные и отрицательные тренды распределены по территории так же, как и на глубине 80 см, но носят менее выраженный характер.

При сравнении летнего и зимнего периода наблюдаются значительные различия трендов температуры почвы на глубине на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Зимой в средней части бассейна реки Лена наблюдались отрицательные тренды, которые летом сменились на положительные. Аналогичная смена знаков тренда произошла на некоторых станциях в районе верховья Оби, вблизи р. Ангара, в верховье р. Колыма и на притоках р. Амур.

Зимой в горных массивах между реками Лена и Колыма наблюдались положительные тренды, летом они сменились на отрицательные. Аналогично на Среднесибирском плоскогорье отрицательные тренды зимой сменились на положительные летом.

Примечательно, что наиболее существенные сезонные различия в трендах (смена знака) происходят на больших территориях, ограниченных особенностями рельефа. Зимой отрицательные тренды наблюдались в низинных районах, а летом на возвышенных территориях Восточной Сибири и Дальнего востока.

Положительные тренды температуры почвы на глубинах 80 и 160 см свиде-

тельствуют о потеплении климата почвы. Прогрессивное оттаивание мерзлых пород может обернуться негативными последствиями [1].

Основные результаты

За период 1991–2005 гг. по сравнению с нормами (1961–1990 гг.) произошло сокращение территории с условиями в атмосфере, благоприятными для существования мерзлых грунтов примерно на 30%.

За тот же период почти на 50% сократилась территория с условиями в атмосфере, благоприятными для сохранения сплошных мерзлых грунтов на территории России.

Во все сезоны преобладают положительные тренды температуры почвы на глубинах 80 и 160 см с некоторыми сезонными различиями.

Наиболее существенные сезонные различия в трендах (смена знака) происходят на больших территориях, ограниченных особенностями рельефа.

Полученные значения трендов и их сезонные особенности наиболее ярко выражены на глубине 80 см по сравнению с глубиной 160 см.

Библиографический список

1. Павлов А. В., Гравис Г. Ф. Вечная мерзлота и современный климат // Природа. – 2000. – №4. – С. 10–18.
2. Израэль Ю. А., Павлов А. В., Анохин Ю. А. Эволюция криолитозоны при современных изменениях глобального климата // Метеорология и гидрология. – 2002. – №1. – С. 22–32.
3. Израэль Ю. А., Анохин Ю. А., Мяч Л. Т., Шерстюков Б. Г. Анализ тенденций в изменении элементов климата в условиях глобального потепления в районах вечной мерзлоты по данным наблюдений метеорологических станций // Метеорология и гидрология. – 2006. – №5. – С. 27–38.
4. Демченко П. Ф., Величко А. А., Голицын Г. С., Елисеев А. В., Нечаев В. П. Судьба вечной мерзлоты: взгляд из прошлого в будущее // Природа. – 2001. – №11. – С. 43.
5. Walter K. M., Zimov S. A., Chanton J. P., Verbyla D., Chapin F. S. III. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming // Nature. – 2006. – V. 443. – P. 71–75.
6. Нечаев В. П. О некоторых соотношениях между мерзлотными и климатическими параметрами и их палеогеографическое значение // Вопросы палеогеографического плейстоцена ледниковых и перигляц. областей / Под ред. А. А. Величко, В. П. Гричука. – М., 1981. – С. 211–220.