ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 6314

ВЛИЯНИЕ СИНУЗИЙ МОХООБРАЗНЫХ НА ДЕЯТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ АРКТИЧЕСКИХ ПОЧВ*

© 2013 г. А.А. Тишков, Н.И. Осокин, А.В. Сосновский

Институт географии РАН

Поступила в редакцию 20.08.2011 г.

В статье представлены материалы экспериментальных исследований теплофизических свойств мохообразных и показано их воздействие на деятельный слой почв арктических тундр Западного Шпицбергена. Полученные характеристики мохового покрова позволяют рассчитать его термическое сопротивление при разной влажности в холодный и теплый периоды года. Применение полученных зависимостей дает возможность более точно прогнозировать влияние климатических изменений на термическое состояние многолетнемерзлых грунтов и их деградацию, а также прогнозировать сезонный ход протаивания деятельного слоя почво-грунтов, покрытых моховыми синузиями, определяя возможности формирования разных по времени существования криогенных элементов нанорельефа арктической тундры.

Введение. Следствие потепления климата – деградация многолетнемерзлых пород (ММП), которой сопутствует комплекс отрицательных явлений. Оттаивание многолетнемерзлых пород, занимающих до 65% площади страны, уже сейчас приводит к снижению несущей способности свайных фундаментов. По прогнозам [6] к 2050 г. ожидаются региональные изменения температуры приповерхностного слоя многолетней мерзлоты на 1–2 градуса и увеличение глубины сезонного протаивания до 10–20 (Северная Скандинавия и Кольский полуостров) – 25–50 см (Якутия, Чукотка). К середине XXI в. масштабы разрушений фундаментов, строений, инфраструктуры в зоне распространения многолетней мерзлоты могут стать катастрофическими – до четверти жилых домов в ряде северных городов могут подвергнуться угрозе разрушения [16]. В Западной Сибири ежегодно происходит около 7 тыс. аварий нефте- и газопроводов, связанных с потерей устойчивости фундаментов и деформацией опор.

Для оценки влияния потепления климата на ММП необходимо учитывать наличие мохового покрова и его теплоизолирующие свойства. В теплый период года моховой покров выступает передаточной средой между нижними слоями атмосферы

и подстилающей породой и влияет на термический режим и динамику протаивания ММП.

Синузии, слагающие моховой покров, отличаются большим видовым разнообразием. Причем разные виды мохообразных обладают разной мощностью и теплофизическими свойствами. Важным параметром, определяющим в значительной степени изменчивость термического сопротивления мохового покрова, является его влажность – отношение веса воды к весу сухого мха. В холодный период года вода в моховом слое замерзает, что может значительно увеличить коэффициент теплопроводности мохового покрова и понизить его теплоизолирующие свойства.

Для определения теплофизических свойств мохового покрова были проведены экспериментальные исследования. Их целью являлось как исследование влияния мохового покрова на температурный режим грунта, так и определение теплофизических параметров некоторых видов мохообразных, наиболее распространенных на Западном Шпицбергене.

Исследования проводились на участке пологого склона аккумулятивной террасы Грэн-фьорда в окрестностях п. Баренцбург. Растительность представлена арктической пятнисто-бугорковой тундрой ассоциации *Luzulo confusae* – *Salicetum polaris* Nadač. Пятна вытянуты вдоль склона, щебнистые. Межпятенные пространства (от нескольких десятков см до 1–2 м имеют в составе грунтов обломочный материал и покрыты мохо-

* Статья подготовлена по результатам исследований по проекту Минобрнауки России “Каскадный эффект” последствий климатических изменений в горных и полярных регионах России: сравнительно-географический анализ, обоснование мер по адаптации (2012–2013 гг., Соглашение № 8337).

вым слоем. Ярус сосудистых растений разрежен. Хорошо выражен лишайниково-моховый ярус (покрытие до 75%). Его основу составляют мощные (3–8 см) разновидности моховые синузиды, составленные *Hylocomium splendens*, *Aulacomnium turgidum*, *Sanionia uncinata*, *Dicranum elongatum*, *Racomitrium canescens*. Минеральные субстраты старых пятен местами покрыты *Gymnomitrium corralioides*. На всех участках присутствуют лишайники – *Cladonia amaurocraea*, *Stereocaulon alpinum*, *Sphaerophorus fragilis*. Сосудистые растения (*Salix polaris*, *Luzula confusa*, *Draba alpina*, *Cochlearia groenlandica*, *Pedicularis hirsuta*, *Bistorta vivipara*, *Cerastium alpinum* и др.) распространены относительно равномерно, но наибольшего покрытия достигают на участках мелкозема с лишайниково-печеночниковой синузидой (*G. corralioides*). Местами отмечаются проявления солифлюкции и криотурбации в виде свежих пятен минерального грунта и изливов на поверхности старых пятен [12].

Влияние мохового покрова на термический режим почв и грунтов. Обзор и результаты исследований по влиянию мохового покрова на температурный режим грунтов и протаивание почв дан в работах [7, 10, 11, 13–15]. Они показали существенное влияние мохового покрова на дифференцированный в пространстве и во времени термический режим почв и грунтов, а также на формирование сезонных и долгоживущих форм нанорельефа. Эти исследования подтверждаются и данными наших исследований первичных сукцессий растительности о. Западный Шпицберген (Норвегия) [12].

Измерения, проведенные в окрестностях поселка Баренцбург (на террасах Грен-фьорда), дали температуру грунта под моховым покровом толщиной 8 см на 4 °С ниже, чем в его отсутствие (рис. 1). Глубина протаивания многолетнемерзлого грунта под моховым покровом толщиной 8 см составила 0.98 см. На соседнем участке без мохового покрова температура грунта на этой глубине была 4 °С при глубине протаивания 1.9 м.

При этом глубина проникновения суточных колебаний температуры воздуха в грунт составляла под моховым покровом 0.1 м, тогда как в отсутствие мохового покрова эта величина составляла 0.3 м. Измерения показали градиент температуры во мху толщиной 4 см, равный 37 град/м, что было в 8 раз больше, чем в грунте. Скорость таяния грунта в конце июля – начале августа при уровне мерзлоты на глубине 0.7...1.0 м составляет около 1 см в сутки. При моховом покрове толщиной 7...8 см эта скорость в 3 раза ниже.

Температура грунта под моховым покровом толщиной 4 см в среднем на 1 °С ниже, чем в его отсутствие (кривые 1 и 2 на рис. 2). При понижении температуры воздуха на 2 °С температура

Рис. 1. Изменение температуры почво-грунта арктической тундры: 1 – под моховым покровом мощностью 8 см; 2 – без мохового покрова.

Рис. 2. Изменение температуры почво-грунта арктической тундры: 1 – под моховым покровом мощностью 4 см; 2 – без мохового покрова.

Рис. 3. Температура почво-грунтов под моховой синузидой мощностью: 1 – 17 см; 2 – 9 см; 3 – уплотненная многовидовая мохово-печеночниковая синузия 1.8 см.

поверхности грунта в отсутствие мха реагирует значительно быстрее (кривая 2), чем при наличии мохового покрова.

Влияние синузид мохообразных разной мощности на температуру грунта представлено на рис. 3. Эти результаты получены на разных площадках, для разного вида мха с разными теплофизическими свойствами. Для оценки влияния мохового покрова на термическое состояние грунта необходимо знание теплофизических свойств видов мха, преобладающих на данной территории. В настоящее время имеются только разрозненные усредненные для нескольких видов мха данные по их теплофизическим свойствам.

Теплофизические параметры некоторых видов мхов. Коэффициенты теплопроводности

Таблица 1. Теплофизические параметры мохово-лишайниковых синузий для условий севера Тюменской области и Красноярского края [8]

Мхи и лишайники	Плотность скелета, кг/м ³	Влажность, %	Коэффициент теплопроводности Вт/(м /град)
Кустистые лишайники	60	193	0.15
Бриевые мхи	120	282	0.22
Сфагновые мхи	120	364	0.28

некоторых групп мхов, полученные А.А. Мандаровым и П.Н. Скрябиным [8] для условий севера Тюменской области и Красноярского края, приведены в табл. 1.

По данным П.Н. Скрябина [7, 8], летом 1978 г. на Сырдахском стационаре для бриевых мхов, синузии которых отличаются большим видовым разнообразием, с влажностью 74–350% получены значения коэффициента теплопроводности 0.08–0.30 Вт/(м/град). При средних значениях влажности 200% коэффициент теплопроводности мха составил 0.14 Вт/(м/град).

Для определения теплофизических свойств разных видов мохообразных нами были проведены экспериментальные исследования в районе поселка Баренцбург. Измерялись толщина, плотность и влажность разных видов мохообразных (рис. 4). Забор образцов проводился в пасмурную погоду, через сутки после небольшой мороси. Разные синузии мхов, расположенные недалеко

друг от друга (на расстоянии нескольких сотен метров), показали разные значения влажности, разброс значений от 100 до 200%. Было отобрано по 5–6 образцов каждого из 5 видов мохообразных (рис. 5–9).

Параметры синузий этих видов мохообразных представлены в табл. 2.

Для печеночника *G. corralioides* получены наибольшие значения плотности как в естественных условиях, так и после сушки. С трех участков получены по три образца плотностью: от 400 до 414 кг/м³; от 550 до 600 кг/м³ и от 600 до 700 кг/м³. Влажность мха (суммарная влажность) рассчитывалась как отношение веса воды к весу воздушно-сухого остатка.

Для определения коэффициента теплопроводности наиболее распространенных на Западном Шпицбергене видов мохообразных проводились измерения температуры внутри синузий мхов и грунта под ними. Единовременные измерения

Рис. 4. Процесс подготовки образцов мохообразных для проведения измерений.

Рис. 5. *Hylocomium splendens* var. *alascanum*.

Рис. 6. *Sanionia uncinata*.

температуры в слое *H. splendens* var. *alascanum* 4 и 7 см показали значения 8.5 и 6.6 °С соответственно. Температура почво-грунта под этой синузией на глубинах 21 и 31 см дали значения 4.7 и 4.1 °С соответственно. Поэтому градиент температуры в моховом слое и грунте составляет 63 и 6.0 град/м соответственно. В период проведения экспериментов температура воздуха на высоте

2 м и на поверхности мха в пасмурную погоду практически не менялась. В солнечную погоду в любое время суток поверхность мха может существенно нагреваться.

Для *S. uncinata* температура на глубинах 4 и 8 см составила 8.5 и 6.3 °С соответственно (градиент температуры в слое синузии – 55 град/м). Температура грунта на глубинах 21 и 28 см пока-

Рис. 7. *Dicranum elongatum*.

Рис. 8. *Rhacomitrium canescens*.

Рис. 9. *Gymnomitrium corralioides*.

зала 4.8 и 4.3 °С – градиент температуры в грунте 7 град/м.

Из равенства тепловых потоков на границе моховой покров-минеральная часть почвы получим, что коэффициент теплопроводности обратно пропорционален температурному градиенту. Поэтому, учитывая температурные градиенты во мховом слое и почво-грунте, получим, что коэффициент теплопроводности синузиды *H. splendens*

var. alaskanum в 10.5 раза меньше, чем у грунта. Для синузиды *S. uncinata* коэффициент теплопроводности в 7.9 раза меньше, чем у грунта. Это, возможно, связано с большим значением плотности синузиды *S. uncinata*, чем у *H. splendens var. alaskanum*, – 231 против 176 кг/м³.

Результаты натурных экспериментальных исследований (измерение температурного профиля в почве при его нагревании и охлаждении) и расчетов по математической модели показали соответствие коэффициента теплопроводности грунта данным СНиП 2.02.04–88 [9]. Для почво-грунта плотностью 1450 кг/м³ и влажностью 18% значения теплоемкости и коэффициента теплопроводности составили – 2444 Кдж/(м³/град) и 1.33 Вт/(м/град). Поэтому значения коэффициента теплопроводности синузид мохообразных *Sanionia uncinata* и *H. splendens var. alaskanum* можно принять равными 0.17 и 0.13 Вт/(м/град), соответственно.

Оценка вклада разных структурных элементов мохового покрова, влияющих на его термическое сопротивление, потребовало проведения лабораторных измерений плотности скелета и теплоемкости синузид некоторых мохообразных.

Определение теплоемкости сухих фрагментов синузид мохообразных проводилось в лабораторных условиях путем их насыщения водой при разной температуре. Контрольные измерения теплоемкости воды путем смешивания разных ее объемов при разной температуре дали 3-процентное расхождение от табличных значений. Измерения объема скелета некоторых синузид мохообразных проводилось путем вытеснения воды при медленном погружении образца мохообразных в воду. На основе серии экспериментов определялась плотность скелета синузид (табл. 3).

Зная теплоемкость $c_{\text{мск}}$ и массу $m_{\text{мск}}$ скелета мха и воды ($c_{\text{вд}}$, $m_{\text{вд}}$), можно рассчитать теплоемкость влажного мха $c_{\text{вм}}$ по формуле

Таблица 2. Средняя толщина синузид мохообразных, их плотность и влажность

Синузия	Мощность слоя, см	Средняя плотность, кг/м ³		Естественная влажность, %
		при естественной влажности	в воздушно-сухом состоянии	
<i>Sanionia uncinata</i>	2...5	231	96	141
<i>Racomitrium canescens</i>	4...11	160	62	158
<i>Gymnomitrium corralioides</i>	0.5...1.7	405/602*	211/224	92/169
<i>Dicranum elongatum</i>	4...6	205	96	114
<i>Hylocomium splendens var. alaskanum</i>	5...8	176	59	198

* Среднее значение по 6 образцам с повышенной влажностью мха.

Таблица 3. Теплоемкость и плотность скелета исследованных видов мхов

Синузии мохообразных	Теплоемкость Кдж / (кг·град)	Плотность скелета куртины, кг/м ³
<i>S. uncinata</i>	6.17	190
<i>H. splendens</i> <i>var. alascanum</i>	8.40	230
<i>D. elongatum</i>	4.45	170

$$c_{\text{мв}} = (m_{\text{мс}}c_{\text{мск}} + m_{\text{вд}}c_{\text{вд}})/(m_{\text{мс}} + m_{\text{вд}}).$$

При этом можно пренебречь теплоемкостью воздуха.

Для описания процесса теплопроводности многокомпонентных сред с преобладающим продольным или поперечным (в направлении переноса тепла) расположением компонентов применяется модель Фойхта или Рейсса соответственно [2]. Модель Фойхта дает максимальные значения коэффициента теплопроводности, а модель Рейсса – минимальные значения. Реальная структура среды, в частности снега [4], является комбинацией этих моделей.

Рассмотренные два вида мохообразных имеют вертикально ориентированную структуру, поэтому целесообразно принять модель теплопроводности по Фойхту.

Коэффициент теплопроводности влажной моховой синузии $\lambda_{\text{мв}}$ зависит от доли объемов воздуха $\nu_{\text{вз}}$, воды $\nu_{\text{вд}}$ и скелета моховой синузии $\nu_{\text{мск}}$ по формуле:

$$\lambda_{\text{мв}} = \lambda_{\text{вз}}\nu_{\text{вз}} + \lambda_{\text{вд}}\nu_{\text{вд}} + \lambda_{\text{мск}}\nu_{\text{мск}}, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{вз}}$, $\lambda_{\text{вд}}$ и $\lambda_{\text{мск}}$ – коэффициенты теплопроводности воздуха, воды и скелета моховой синузии;

$$\nu_{\text{мс}} = \rho_{\text{мс}} / \rho_{\text{мск}},$$

$$\nu_{\text{вд}} = (\rho_{\text{мв}} - \rho_{\text{мс}}) / \rho_{\text{вд}},$$

$$\nu_{\text{вз}} = 1 - \nu_{\text{мс}} - \nu_{\text{вд}}.$$

В зимний период вместо $\lambda_{\text{вд}}$ применяется коэффициент теплопроводности льда $\lambda_{\text{л}}$ и $\nu_{\text{вд}}$ заменяется на $\nu_{\text{л}} = (\rho_{\text{мв}} - \rho_{\text{мс}}) / \rho_{\text{л}}$. Здесь $\rho_{\text{мв}}$, $\rho_{\text{мс}}$ и $\rho_{\text{мск}}$ – плотность влажного, сухого мха и скелета мха; $\rho_{\text{вд}}$ и $\rho_{\text{л}}$ – плотность воды и льда. Значения параметров мохообразных, необходимые для расчетов коэффициента теплопроводности влажного фрагмента моховой синузии $\lambda_{\text{мв}}$, представлены в табл. 4.

Коэффициент теплопроводности скелета моховой синузии определялся из сравнения расчетных по формуле (1) и измеренных значений теплопроводности. Было получено значение коэффициента теплопроводности скелета синузии *S. uncinata*, равное $\lambda_{\text{мск}} = 0.16$ Вт/(м/град), и несколько большее значение для *H. splendens* – 0.18 Вт/(м/град). Отметим, что плотность скелета синузии *H. splendens* больше, чем *S. uncinata*, в 1.21 раза.

Плотность скелета синузий мохообразных приблизительно в 2 раза меньше, чем сосны, и в 4 раза меньше, чем дуба. При этом коэффициент теплопроводности древесины дуба – вдоль волокон 0.35–0.42 Вт/(м/град) при весовой влажности 6–8%, поперек волокон 0.20–0.21 Вт/(м/град); у древесины сосны вдоль волокон – 0.35–0.41 Вт/(м/град) при весовой влажности 8%, поперек волокон – 0.12–0.14 Вт/(м/град) [3].

При известном значении коэффициента теплопроводности скелета мха по формуле (1) можно рассчитать значения коэффициента теплопроводности мха при разной влажности в холодный и теплый периоды года. Расчетные значения представлены на рис. 10 и 11 и аппроксимируются следующими линейными зависимостями: коэффициенты теплопроводности синузии *S. uncinata* –

в теплый период года:

$$\lambda_{\text{мвл}} = 0.0005w + 0.0946$$

и в холодный период:

$$\lambda_{\text{мвз}} = 0.0023w + 0.0946;$$

Таблица 4. Параметры плотности, объемов и коэффициента теплопроводности синузий мхов

Синузии мохообразных	$\rho_{\text{мв}}$	$\rho_{\text{мс}}$	$\rho_{\text{мск}}$	$\nu_{\text{мс}}$	$\nu_{\text{вд}}$	$\nu_{\text{вз}}$	$\lambda_{\text{мв}}$
лето							
<i>S. uncinata</i>	231	96	190	0.51	0.14	0.36	0.19
<i>H. splendens var. alascanum</i>	176	59	230	0.26	0.12	0.63	0.14
зима							
<i>S. uncinata</i>	231	96	190	0.51	0.15	0.34	0.45
<i>H. splendens var. alascanum</i>	176	59	230	0.26	0.13	0.61	0.36

Рис. 10. Коэффициент теплопроводности синузиды *S. uncinata*: 1 – в холодный период; 2 – в теплый период; маркер – эксперимент.

Рис. 11. Коэффициент теплопроводности синузиды *H. splendens var. alascanum*: 1 – в холодный период; 2 – в теплый период; маркер – эксперимент

Коэффициенты теплопроводности синузиды *H. splendens* составляют –
в теплый период года:

$$\lambda_{\text{МВЛ}} = 0.0003w + 0.0645$$

в холодный период года:

$$\lambda_{\text{МВЗ}} = 0.0014w + 0.0645.$$

Эти зависимости показывают, что при влажности мохового покрова 150 (300)% коэффициенты теплопроводности синузиды *S. uncinata* и *H. splendens* в зимний период в 2.6 и 3.2 (2.5 и 3.1) раза больше, чем в летний. Эти результаты согласуются с данными по мохово-торфяному покрову, который при замерзании увеличивает теплопроводность в 2.5–3.0 раза [1].

Сравнение коэффициентов теплопроводности снежного и мохового покровов. В зимний период моховой покров является дополнительным к снежному покрову теплоизолятором. Поэтому интересно сравнить значения их коэффициента теплопроводности.

Для расчета коэффициента теплопроводности снега с учетом региональных особенностей снежного покрова в работе [7,8] предложено применять формулу де Вриза для двухкомпонентной среды

$$\lambda_s = \frac{\lambda_a \nu_a + \lambda_i (1 - \nu_a) F}{\nu_a + (1 - \nu_a) F}, \quad (2)$$

где λ_a и λ_i – коэффициенты теплопроводности воздуха и льда, пористость $\nu_a = 1 - \rho_s / \rho_i$, F – параметр.

Отличие формулы (2) от формулы (1) заключается в наличии параметра F , отличного от 1. Формула (2) хорошо аппроксимирует экспериментальные данные для условий Якутска при $F = 0.15$ и при $F = 0.25$ для Игарки. Для сравнения приведем формулу для расчета коэффициента эффективной теплопроводности снега λ_s в зависимости от его плотности ρ_s , полученную путем обработки более 20 известных из литературы эмпирических зависимостей [5]

$$\lambda_s = 9.165 \cdot 10^{-2} - 3.814 \cdot 10^{-4} \rho_s + 2.905 \cdot 10^{-6} \rho_s^2 \text{ Вт/(м·К)}. \quad (3)$$

Значения коэффициентов эффективной теплопроводности снега, рассчитанные по последней формуле, хорошо соответствуют значениям по формуле де Вриза (2) при среднем значении $F = 0.20$ (рис. 12).

Результаты расчетов коэффициента теплопроводности снега и мха представлены на рис. 13.

Из материалов рис. 13 видно, что зимой моховой покров влажностью 150–200% имеет коэффициент теплопроводности, соответствующий плотности снега порядка 400 кг/м³. Таким образом, учитывая небольшую толщину мохового покрова, которая может уменьшаться под

Рис. 12. Коэффициент теплопроводности снега по формуле (2) при F равном: 1 – 0.25; 2 – 0.20; 3 – 0.15; кривая – по формуле (3).

Рис. 13. Коэффициенты теплопроводности: 1 – снега; 2 и 4 – синузиды *H. splendens var. alascanum*; 3 и 5 – синузиды *S. uncinata*; 2 и 3 – зимой; 4 и 5 – летом.

давлением снега, получим, что в холодный период года моховой покров не является существенным препятствием для выхолаживания подстилающих пород. Между тем в теплый период года его влияние на термический режим грунта и его протаивание значительно, и он может влиять на криогенные процессы в верхних слоях почво-грунтов и определять возможности формирования разных по времени существования криогенных элементов нанорельефа арктической тундры.

Заключение. Полученные теплофизические характеристики синузий некоторых видов мохообразных арктических тундр Шпицбергена и формируемого ими мохового покрова позволяют рассчитать его термическое сопротивление при разной влажности слоя мохообразных в холодный и теплый периоды года.

Применение полученных зависимостей дает возможность более точно прогнозировать влияние климатических изменений на термическое состояние ММП и их деградацию, а также прогнозировать сезонный ход протаивания деятельного горизонта почво-грунтов, покрытых моховыми синузиями, определяя возможности формирования разных по времени существования и размерам криогенных элементов нанорельефа арктической тундры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балобаев В.Т.* Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1991. 193 с.
2. *Дульнев Г.Н., Новиков В.В.* Процессы переноса в неоднородных средах. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 179 с.
3. *Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г.* Справочник по элементарной физике. М.: Физматгиз, 1962. 208 с.
4. *Ледовской И.В.* Моделирование структуры и теплопроводности снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2000. № 6. С. 77–85.
5. *Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В.* Оценка влияния толщины снежного покрова на деградацию мерзлоты при потеплении климата // Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 4. С. 40–46.
6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. М.: 2008. 90 с. <http://climate2008.igce.ru/>
7. *Павлов А.В.* Теплообмен промерзающих и протаивающих грунтов с атмосферой. М.: Наука, 1965. 254 с.
8. *Павлов А.В.* Расчет и регулирование мерзлотного режима почвы. Новосибирск, 1980. С. 86–87.
9. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах / Минстрой России. М.: ГУП ЦПП. 1997. 52 с.
10. *Тишков А.А.* Влияние мохового покрова на температурный режим и протаивание почв. В кн.: Географическое изучение природы и хозяйства. М.: Институт географии АН СССР, 1975. С. 65–77.
11. *Тишков А.А.* Структура моховой синузии пятнистой тундры стационара Агапа. В кн.: Почвы и продуктивность растительных сообществ. Вып. 4. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. С. 5–14.
12. *Тишков А.А.* Первичные сукцессии экосистем арктических тундр западного побережья Шпицбергена (Свальбарда) // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1985. № 3. С. 95–105.
13. *Тыртиков А.П.* Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1969. 192 с.
14. *Тыртиков А.П.* Динамика растительного покрова и развитие вечной мерзлоты в Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1974. 153 с.
15. *Тыртиков А.П.* Влияние растительного покрова на температуру грунтов на севере Западной Сибири // Природные условия Западной Сибири. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. С. 112–118.
16. *Цаликов Р.Х.* Опасности и угрозы для северных территорий Российской Федерации, обусловленные глобальным изменением климата // Материалы научно-практической конференции “Обеспечение комплексной безопасности северных регионов Российской Федерации”. Москва, 2008. С. 122–130.

The Impact of Moss Synusia on the Active Layer of Arctic Soil and Subsoil

A.A. Tishkov, N.I. Osokin, A.V. Sosnovski

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences

The paper presents materials of experimental research of thermophysical properties of bryophyta and shows their impact on the active layers of the soils of Arctic tundra of West Spitsbergen. Obtained characteristics of moss cover give the possibility to calculate its thermal resistance at different humidity in cold and warm periods of the year. The application of the responses allows for more accurate prediction of the effects of climate change on thermal state of permafrost soils and their degradation, as well as prediction of the seasonal variations of the active layer thawing of soils covered with moss synusias, identifying opportunities for the formation of different cryogenic elements of the nanorelief of Arctic tundra.