

УДК 581.526:502.7(571.1)

## ИЗМЕНЕНИЯ КРИОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И ТЕХНОГЕНЕЗА

Н.Г. Москаленко

*Институт криосферы Земли СО РАН, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия; nat-moskalenko@mail.ru*

Приведены результаты мониторинга изменений криогенных ландшафтов в северной тайге Западной Сибири за 1970–2010 гг. под влиянием вариаций климата и при техногенном воздействии. Рассмотрен процесс формирования мерзлых морошково-багульниково-сфагново-лишайниковых плоскобугристых торфяников на месте талых пушицево-осоково-моховых болот. После удаления растительного покрова на плоскобугристых торфяниках в результате развития термокарста и заболачивания формируются пушицево-сфагновые болота с пониженной кровлей многолетнемерзлых пород. Прослежено влияние увеличения количества атмосферных осадков на развитие заболачивания на плоских слабодренированных участках, приводящего к смене сосново-лиственничных морошково-багульниково-лишайниково-сфагновых редин с линзами мерзлых пород андромедово-пушицево-осоково-сфагновыми тальми болотами.

*Криогенные ландшафты, многолетнемерзлые породы, Западная Сибирь, температура многолетнемерзлых пород, мощность сезонноталого слоя, растительность, климат, техногенез*

## CRYOGENIC LANDSCAPE CHANGES IN THE WEST SIBERIAN NORTHERN TAIGA IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE AND HUMAN-INDUCED DISTURBANCES

N.G. Moskalenko

*Earth Cryosphere Institute, SB RAS, 625026, Tyumen, Malygina str., 86, Russia; nat-moskalenko@mail.ru*

The results of monitoring of cryogenic landscape changes in the West Siberian northern taiga during 1970–2010 in the conditions of the varying climate and human-induced disturbances have been presented. Process of formation of the frozen cloudberry-wild rosemary-peat moss-lichen flat peatland instead of the thawed cotton grass-sedge-moss mires has been considered. The cotton grass-peat moss bogs with the lowered permafrost table are formed after the removal of vegetation cover on flat peatlands as a result of development of thermokarst and bogging. The impact of increase in amount of atmospheric precipitation on the development of bogging on flat poorly drained sites has been examined. This bogging leads to the replacement of the pine-larch cloudberry-wild rosemary-lichen-peat moss open wood with permafrost lenses by the andromeda-cotton grass-sedge-peat moss thawed mires.

*Cryogenic landscape, permafrost, Western Siberia, permafrost temperature, active layer thickness, vegetation, climate, human-induced disturbances*

## ВВЕДЕНИЕ

Изменения криогенных ландшафтов под влиянием климатических вариаций и техногенных нарушений изучены недостаточно [Городков, 1930, 1932; Тыртыков, 1969, 1979; Мельников и др., 1973; Павлов, 1979; Ландшафты..., 1983; Козин, 1984]. Это обусловлено тем, что долговременный мониторинг ландшафтных изменений в криолитозоне проводился немногими исследователями [Мельников и др., 1993; Москаленко, 1999; Москаленко и др., 2001; Оберман, 2001; Антропогенные изменения..., 2006; Скачков и др., 2007; Павлов, 2008; Nelson et al., 1993; Маскай, 1995; Osterkamp, Romanovsky, 1999].

В настоящей статье рассматриваются изменения различных компонентов криогенных ландшафтов (рельеф, растительность, почвы, многолетнемерзлые породы), которые изучались как в естественных условиях, так и на участках, нарушенных линейным строительством. Эти изменения выявлены в результате 40-летних наблюдений за микрорельефом, составом растительности, высотой, встречаемостью и покрытием доминантных видов растений, температурой почв и пород, мощностью сезонноталого слоя на постоянных площадках и профилях в полосе трассы магистрального газопровода Надым–Пунга и прилегающих к ней ненарушенных участков.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Надымский стационарный участок расположен в 30 км к юго-востоку от г. Надым [Антропогенные изменения..., 2006] в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород [Ландшафты..., 1983]. Острова многолетнемерзлых пород, занимающие до 50 % площади, приурочены к торфяникам, торфяным болотам и буграм пучения III озерно-аллювиальной равнины с абсолютными отметками 25–30 м [Андреанов и др., 1973]. Равнина сложена песчаными отложениями с прослоями суглинков, местами перекрытыми с поверхности торфом.

На постоянных стометровых площадках, закрепленных на местности, в естественных и нарушенных условиях ежегодно проводились детальные ландшафтные описания. Они включали определение обилия, встречаемости, покрытия, фенологического и жизненного состояния видов растений, измерение средней высоты растений, картирование вертикальной и горизонтальной структуры покрова, определение надземной фитомассы, повторное нивелирование относительных превышений микрорельефа, описание почвенных разрезов и отбор образцов для определения воднофизических и химических свойств почв, измерение температуры почвы и пород в скважинах глубиной до 10 м, измерение мощности снежного покрова, а также мощности и влажности сезонноталого слоя грунтов.

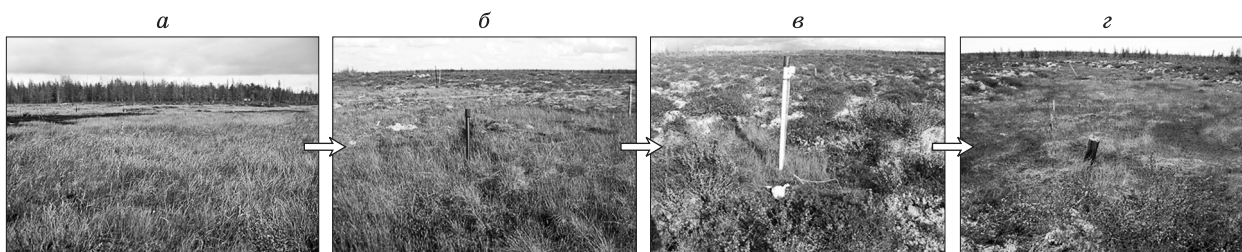
### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные многолетние мониторинговые исследования показали, что условия увлажнения и температурный режим пород являются факторами, определяющими развитие природных комплексов в криолитозоне Западной Сибири. Если расположить природные комплексы в порядке изменения значений этих факторов, получим ряды природных комплексов, отражающие их изменения во времени. В качестве примера на рис. 1 пред-

ставлен ряд природных комплексов, на которых осушение болот привело к развитию на их месте торфяников.

Травяно-моховые топяные талые болота, развитые по ложбинам стока, по мере роста мохового покрова и накопления торфа, осушения и уменьшения мощности снега сменяются кустарничково-травяно-лишайниково-сфагновыми кочковатыми болотами. Под этими болотами формируются многолетнемерзлые породы с мощностью сезонноталого слоя (СТС)  $M = 130$  см и температурой пород на подошве слоя годовых колебаний температуры (10 м)  $T_{10} = -0,1$  °С. На дальнейших стадиях развития болот в ходе естественной динамики болотной растительности наблюдается прекращение торфонакопления. Поверхность болот поднимается в результате сегрегационного льдонакопления, увеличивается дренированность поверхности, уменьшается мощность снежного покрова и происходит дальнейшее понижение среднегодовой температуры пород до  $-0,2$  °С и уменьшение мощности СТС до 58 см. Пушицево-осоково-моховые болота превращаются в плоскобугристые морошково-багульниково-сфагново-лишайниковые торфяники. В процессе формирования торфяников на месте болот общая надземная фитомасса увеличивается с 1715 до 1926 г/м<sup>2</sup> (см. таблицу). На торфяниках, распространенных на тонкодисперсных пучинистых грунтах, развитие криогенного пучения приводит к формированию торфяных бугров с морошково-багульничково-лишайниковым покровом, на которых мощность снега не превышает 30 см, и температура пород понижается до  $-0,6$  °С.

Плоскобугристые торфяники после снятия растительного покрова при техногенном воздействии в результате развития термокарста и заболачивания вновь возвращаются в стадию травяно-мохового болота. По наблюдениям на постоянных площадках, через 30 лет после удаления морошково-багульничково-сфагново-лишайничкового покрова на торфянике вследствие осадки поверхности, развития термокарста и заболачивания, по-



**Рис. 1. Генетический ряд природных комплексов северной тайги:**

*a* – травяно-моховое болото (многолетнемерзлые породы отсутствуют); *б* – кустарничково-травяно-моховое болото,  $M = 130$  см,  $T_{10} = -0,1$  °С; *в* – плоский кустарничково-сфагново-лишайниковый торфяник,  $M = 58$  см,  $T_{10} = -0,2$  °С; *г* – травяно-моховое болото (понижение кровли мерзлоты),  $T_{10} = -0,1$  °С. Здесь  $M$  – мощность сезонноталого слоя;  $T_{10}$  – температура пород на глубине 10 м.

Надземная фитомасса (г/м<sup>2</sup>) в разных типах растительности Надымского стационара

Тип растительности	Кустарнички*				Злаки и осоки		Разнотравье	Мхи**	Лишайники**	Опад	Общая надземная фитомасса
	Стебли	Листья	Отмершие листья	Плоды	Листья	Отмершие листья					
Лесной	41/141	9/66	1/2	0,5/0,2	0,3	0,3	2	80/274	812/400	490	2316
Болотный	84/141	23/84	0/4	1/2	3	19	13	383/272	228/104	317	1715
Тундровый	10/141	1/33	0/1	0/1	14	46	3	1/1	930/524	215	1926

\* Числитель – летнезеленые кустарнички, знаменатель – вечнозеленые кустарнички.

\*\* Числитель – живые, знаменатель – отмершие.

нижения кровли многолетнемерзлых пород до 2–3 м образовалось пушицево-сфагновое болото. Сформировавшееся болото сохраняется и через 39 лет после нарушения. Это болото коренным образом отличается от исходного торфяника по внешнему облику, структуре, обилию, встречаемости, покрытию доминантных видов растений и геокриологическим условиям (понижение кровли и повышение температуры многолетнемерзлых пород) (рис. 2).

Измерения температуры пород в скважинах, заложенных на плоскобугристом торфянике в естественных и нарушенных условиях, показали, что наибольшие различия в температуре наблюдаются на глубине 1 м. Повышение температуры под влиянием нарушения на глубине 5 м незначительное, а на глубине 10 м оно практически не выражено. На этой глубине наблюдается повышение температуры пород за 1972–2010 гг. на 0,8 °С, что обусловлено повышением температуры воздуха. По данным метеостанции Надым, за 1970–2010 гг. тренд повышения среднегодовой температуры воздуха составил 0,03 °С в год (рис. 3). С повышением температуры воздуха связано устойчивое

увеличение мощности сезонноталого слоя во всех природных комплексах. Увеличение мощности СТС на естественной площадке на плоскобугристом торфянике составило 25 %. На нарушенной площадке на торфянике в 10 м от газопровода кровля многолетнемерзлых пород понизилась до глубины 10 м, по данным геофизических работ [Пономарева, Скворцов, 2006].

В последние десятилетия на севере Западной Сибири наблюдается не только повышение температуры воздуха, но и увеличение количества атмосферных осадков (рис. 4). В связи с этим процесс заболачивания на плоских слабодренированных поверхностях равнин активизируется. В результате этого развитые здесь кочковатые и мелкобугристые сосново-лиственничные морошково-багульниково-лишайниково-сфагновые редины замещаются андромедово-пушицево-сфагновыми болотами. Общая надземная фитомасса, характерная для лесных сообществ, уменьшается с 2316 до 1715 г/м<sup>2</sup>, т. е. величины, свойственной болотным сообществам (см. таблицу). Бугорки проседают, приуроченные к ним линзы мерзлых пород протаивают.

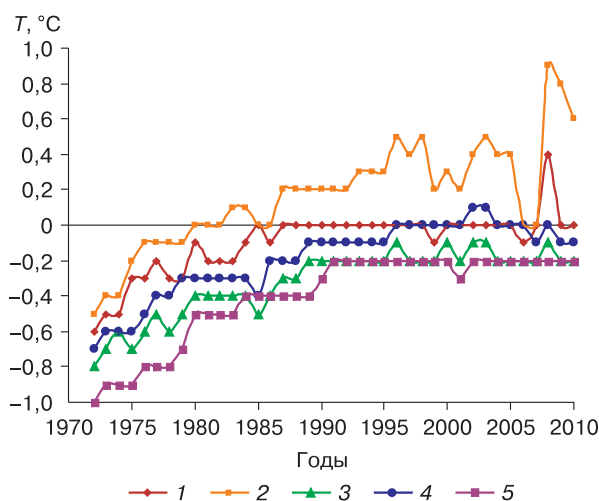


Рис. 2. Температура грунта на разных глубинах в естественных (1, 3, 5) и нарушенных (2, 4, 5) условиях:

1, 2 – 1 м; 3, 4 – 5 м; 5 – 10 м.

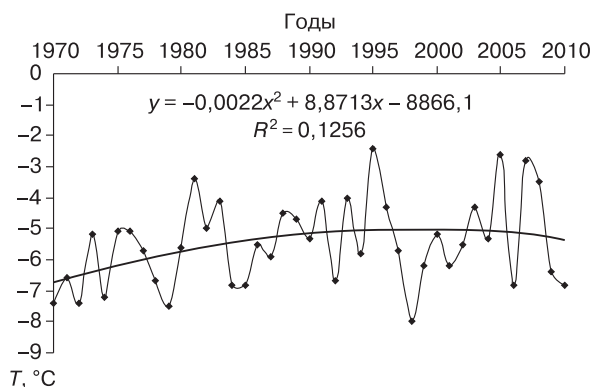


Рис. 3. Среднегодовая температура воздуха (T) по данным Надымской метеостанции.

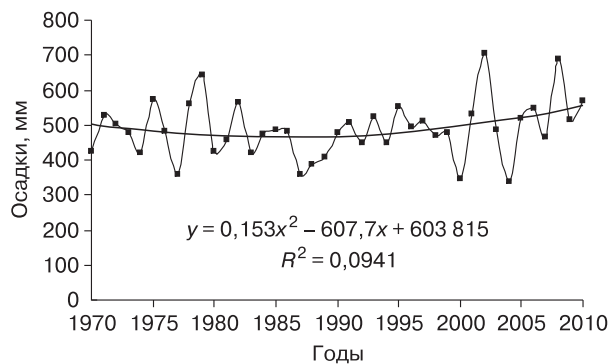
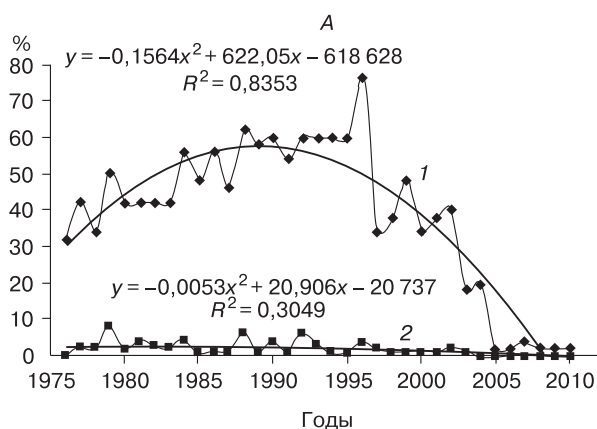


Рис. 4. Годовое количество осадков по данным Надымской метеостанции.

Встречаемость багульника (*Ledum palustre*), который доминировал в покрове редины, после 1996 г. резко падает в связи с увеличением количества атмосферных осадков (рис. 5, А). В нарушенных условиях встречаемость багульника все время остается низкой. После повторного нарушения в 2004 г., связанного с реконструкцией газопровода (замена трубы и отсыпка новой насыпи, нарушившей условия поверхностного стока и вызвавшей образование широкой зоны подтопления на плоских заболоченных участках) багульник выпадает из состава сообщества. Встречаемость пушицы (*Eriophorum polystachyon*) в естественных условиях в последнее десятилетие растет, она стала доминировать в наземном покрове естественной площадки (см. рис. 5, Б). В нарушенных условиях встречаемость пушицы в несколько раз выше, чем в естественных условиях, но после повторного нарушения и затопления нарушенной площадки она резко уменьшилась.



## ВЫВОДЫ

Многолетние мониторинговые наблюдения позволили выявить коренные изменения криогенных ландшафтов, обусловленные влиянием климата и техногенным воздействием.

С 70-х гг. XX в. на севере Западной Сибири наблюдается повышение температуры воздуха. По данным Надымской метеостанции, за 1970–2010 гг. тренд повышения среднегодовой температуры воздуха составил  $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$  в год, а сумм положительных температур воздуха –  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  в год. С повышением температуры воздуха связано устойчивое увеличение мощности сезонного слоя грунтов. Увеличение мощности СТС на торфянике за 40-летний период составило 25 %. Температура пород во всех природных комплексах также повысилась.

В связи с увеличением в последние десятилетия количества атмосферных осадков на плоских заболоченных участках кустарничково-лишайниково-сфагновые редины с линзами мерзлых пород на бугорках замещаются кустарничково-пушицево-осоково-сфагновыми тальми болотами.

Удаление растительности на плоскобугристом морошково-багульниково-сфагново-лишайниковом торфянике приводит к формированию на его месте пушицево-сфагнового болота. Кровля многолетнемерзлых пород под этим болотом понижается до 2–3 м, а температура пород повышается.

Работа выполнена при поддержке U.S. National Science Foundation by Land-Cover Land-Use Change program, проекта TSP (Thermal State of Permafrost, NSF ARC-0632400, ARC-0520578), проекта CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring, грант NSF OPP-9732051 и OPP-0225603) и при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-01068-а).

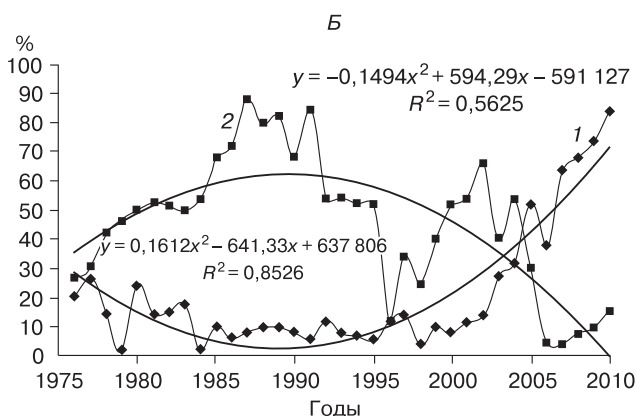


Рис. 5. Изменение встречаемости багульника (А) и пушицы (Б) в естественных (1) и нарушенных (2) условиях.

## Литература

- Андреанов В.Н., Козлов А.Н., Крицук Л.Н.** Инженерно-геокриологические условия бассейна среднего течения р. Надым // Тр. ВСЕГИНГЕО, 1973, вып. 62, с. 79–89.
- Антропогенные** изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Н.Г. Москаленко. М., ИКЗ СО РАН, 2006, 358 с.
- Городков Б.Н.** Вечная мерзлота и растительность // Вечная мерзлота. Л., Изд-во АН СССР, 1930, с. 48–60.
- Городков Б.Н.** Вечная мерзлота в Северном крае // Тр. СОПС, 1932, вып. I, с. 5–109.
- Козин В.В.** Ландшафтные исследования в нефтегазоносных районах. Тюмень, Изд-во Тюм. ун-та, 1984, 60 с.
- Ландшафты** криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Е.С. Мельникова. Новосибирск, Наука, 1983, 185 с.
- Мельников Е.С., Невечеря В.Л., Шур Ю.Л.** Инженерно-геокриологические процессы в северных районах Таз-Енисейского междуречья (Западная Сибирь) // Аэроландшафтная индикация антропогенных процессов. М., ВСЕГИНГЕО, 1973, с. 33–38.
- Мельников П.И., Каменский Р.М., Павлов А.В.** Мониторинг криолитозоны // Вестн. РАН, 1993, № 3, с. 1090–1095.
- Москаленко Н.Г.** Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России. Новосибирск, Наука, 1999, 280 с.
- Москаленко Н.Г., Коростелев Ю.В., Червова Е.И.** Мониторинг слоя сезонного протаивания в северной тайге Западной Сибири // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 1, с. 71–79.
- Оберман Н.Г.** Внутривековая динамика мерзлой зоны европейского северо-востока России // Материалы Второй конф. геокриологов России. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, т. 2, с. 212–217.
- Павлов А.В.** Теплофизика ландшафтов. Новосибирск, Наука, 1979, 285 с.
- Павлов А.В.** Мониторинг криолитозоны. Новосибирск, Академ. изд-во “Гео”, 2008, 229 с.
- Пономарева О.Е., Скворцов А.Г.** Методы и результаты изучения экзогенных геологических процессов в Надымском районе Западной Сибири // Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменения: Материалы междунар. конф. Тюмень, ТюмГНГУ, 2006, т. 1, с. 272–274.
- Скачков Ю.Б., Скрыбин П.Н., Варламов С.П.** Результаты 25-летних мониторинговых исследований криолитозоны на стационаре Чабыда (Центральная Якутия) // Криогенные ресурсы полярных регионов: Материалы междунар. конф. Салехард, 2007, т. 1, с. 167–170.
- Тыртиков А.П.** Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969, 192 с.
- Тыртиков А.П.** Динамика растительного покрова и развитие мерзлотных форм рельефа. М., Наука, 1979, 115 с.
- Mackay J.R.** Active Layer Change (1968–1993) following the forest-tundra fire near Inuvik, N.W.T., Canada // Arctic and Alpine Res., 1995, vol. 27, No. 4, p. 323–336.
- Nelson F.E., Lachenbruch A.H., Woo M.K. et al.** Permafrost and changing climate // Permafrost: Proc. of the Sixth Intern. Conf. (Beijing, July 5–9, 1993). Beijing, China, South China Univ. of Technol. Press, 1993, vol. 2, p. 987–1005.
- Osterkamp T., Romanovsky V.** Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska // Permafrost and Periglacial Processes, 1999, vol. 1, p. 17–37.

*Поступила в редакцию  
17 мая 2011 г.*