

## РЕАКЦИЯ ПОРОД ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ НА ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА

П.П. Гаврильев, И.С. Угаров

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,  
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 1, Россия, ugarov@mpi.ysn.ru*

На основе мониторинга (1985–2007 гг.) количественно оценивается реакция деятельного слоя и верхнего (до глубины 10 м) горизонта пород ледового комплекса межаласных агроландшафтов на потепление климата. Отмечается повышение температуры пород ледового комплекса на 1–2 °С и трендов оттаивания с 0,03 до 0,16 м/год, увеличение величины оттаивания верхней части пород ледового комплекса с 0,3 до 3,7 м, отрыв их кровли от подошвы сезонномерзлого слоя, возникновение перезимков, опускание верхней границы многолетней мерзлоты до 5 м и более. На естественных ландшафтах выявлено медленное возрастание мощности сезонноталого слоя (с трендом 0,01–0,02 м/год) и относительно стабильное тепловое состояние пород ледового комплекса.

*Ледовый комплекс, климат, реакция, ландшафт*

### THE RESPONSE OF ICE-RICH PERMAFROST IN CENTRAL YAKUTIA TO CLIMATE WARMING

P.P. Gavriliev, I.S. Ugarov

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 677010, Yakutsk, Merzlotnaya str., 1, Russia, ugarov@mpi.ysn.ru*

Based on monitoring investigations over the period of 1985 to 2007, the response of the active layer and the upper 10 m of ice-rich permafrost to climate warming is quantified for the inter-alas agricultural landscapes of Central Yakutia. Observations have shown an increase in ground temperature by 1–2 °C, permafrost degradation at a rate of 0.03 to 0.20 m/year, formation of a residual thaw layer, and lowering of the permafrost table by 5 m or more. In the natural landscapes, the active layer thickness shows a slow increasing trend (0.01–0.02 m/year) and the ice-rich permafrost has remained relatively stable.

*Ice-rich permafrost, climate, response, landscape*

### ВВЕДЕНИЕ

Чрезвычайная сложность различных аспектов сельскохозяйственного освоения и мелиорации земель криолитозоны связана с разнообразием ответной реакции многолетнемерзлых пород (ММП), обусловленным оттаиванием приповерхностного горизонта пород ледового комплекса (ЛК), развитием криогенных процессов и нарушениями состояния и стабильного функционирования объектов агропромышленного комплекса в условиях изменения климата. В большинстве случаев активная (умеренная и сильная) реакция пород ЛК на внешние воздействия и, как следствие, развитие экзогенных криогенных (мерзлотно-геологических) процессов представляет опасность для нормального функционирования сельскохозяйственных угодий и инженерных гидромелиоративных сооружений. В последние 15–20 лет в Якутии, Западной Сибири, Забайкалье, на Чукотке и в других регионах криолитозоны усиливается тенденция к ухудшению мерзлотно-экологической обстановки на осваиваемых и используемых сельскохозяйственных площадях (вытаивание подземных льдов, просадки и разрушение поверхности полей, заболачивание и аридизация,

эрозия почв, деградация агроландшафтов, снижение их биопродуктивности и т. д.).

По данным проведенных исследований, в Якутии 15–20 % пашен, освоенных за последние 30–50 лет путем раскорчевки леса, пришли в негодность из-за коренного ухудшения их мерзлотно-гидротермического и экологического состояния [Гаврильев, 1985, 1991]. Кроме того, в критическом состоянии находятся тысячи гектаров неиспользуемых лугов, пастбищ и залежных земель вокруг заброшенных деревень и сайылыков (летников). При этом недостаточно изучены закономерности реакции и изменения состояния деятельного слоя (ДС) почвогрунтов и верхнего горизонта пород ЛК в агроландшафтах в условиях высокого темпа потепления климата (около 0,09 °С/год) [Гаврильев и др., 2001; Павлов, Аманьева, 2005].

Цель настоящей статьи – выявление количественных закономерностей (ритмических и трендовых) в динамике современного состояния ДС и верхнего горизонта ММП с полигонально-жильными льдами (ПЖЛ) в Центральной Якутии.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Как известно, природные ресурсы и вся инфраструктура экономики Республики Саха (Якутия) используются и развиваются в условиях практически повсеместного распространения ММП. Площадь распространения пород ледового комплекса (суглинки, супеси с мощными ПЖЛ, залегающими с глубины 1,0–2,5 м) занимает около 60 % территории Центральной и 70 % Северо-Восточной Якутии [Атлас..., 1989]. По Н.А. Граве и П.И. Мельникову [1989], 30–35 % территории Субарктики и Арктики России сильно неустойчивы к климатическим и техногенным воздействиям.

В 70–80-е гг. XX в. получило широкое признание представление о высокой чувствительности и легкой ранимости природы Севера и Субарктики при освоении территории [Граве, 1979; Граве, Мельников, 1989]. На наш взгляд, эта концепция относится в основном к приповерхностному горизонту ММП до глубины 10–25 м, который является средой обитания наземных экосистем (растительности и животного мира, включая человека) и подвергается влиянию инфраструктуры при развитии экономики Севера и Арктики.

В последние 10–20 лет немало работ посвящено реакции криолитозоны на изменение климата и хозяйственную деятельность в различных регионах страны [Гаврилова, 1978; Граве, 1978; Браун, Граве, 1981; Гаврильев, 1985, 1991, 2002; Шур, 1988; Скрябин и др., 1992; Ершов и др., 1996; Павлов, 1997; Израэль и др., 1999]. В обобщающей работе Президент Международной ассоциации мерзлотоведов (МAM) Джерри Браун справедливо отметил: “Относительно предстоящей реакции мерзлоты на изменение климата существуют значительные разногласия, что не способствует появлению согласованных исследовательских программ” [Браун, 2005, с. 9]. Эти разногласия связаны в основном с тем, что в условиях глобального изменения климата и интенсивного освоения природных ресурсов в разных регионах (на севере Аляски, Западной Сибири, Центральной Якутии, КНР и др.) темпы и масштабы изменений геокриологических условий весьма неодинаковы [Павлов, 1975, 1997; Гаврилова, 1978, 1981; Фотиев, 1978; Граве, 1979; Шур, 1988; Граве, Мельников, 1989; Балобаев, 1991; Гаврильев, 1991, 2002; Скрябин и др., 1992; Ершов и др., 1996; Шендер и др., 1998; Анисимов и др., 1999; Израэль и др., 1999; Скачков, 2000; Павлов и др., 2004]. Ввиду наличия противоположных точек зрения в этих работах возникает необходимость изучения экстремальных изменений ДС почвогрунтов и многолетнемерзлых пород с ПЖЛ (ледового комплекса) в Центральной Якутии, а также оценки их реакции на потепление климата и разнообразное сельскохозяйственное землепользование.

Отметим, что материалы настоящей статьи ранее частично опубликованы [Гаврильев, 2002, 2006].

## ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В 1989–2007 гг. Институтом мерзлотоведения СО РАН проведен мониторинг деятельного слоя, криогенных явлений и поверхностных (до глубины 10–15 м) горизонтов ММП и ПЖЛ в таежных, аласных и долинных естественных и агроландшафтах. Эта система мониторинга многоцелевого назначения включает шесть полигонов, расположенных в региональном аспекте на Лено-Амгинском и Лено-Вилюйском междуречьях (рис. 1).

Научно-методическая новизна работы состоит в том, что многолетние режимные наблюдения за криогенными процессами и явлениями на участках суглинистых и супесчаных пород ЛК в сочетании с гидротермическими, геоэкологическими характеристиками ДС проведены параллельно на естественных (фоновых) и антропогенных ландшафтах Центральной Якутии в условиях современного потепления климата региона на 1,5–2,5 °С. Мерзлотно-гидротермические, ландшафтные, водно-теплофизические, мелиоративные и геокриологические исследования проведены с учетом результатов работ ряда известных исследователей [Павлов, 1975, 1997; Гаврилова, 1978, 1981; Фотиев, 1978; Шур, 1988; Граве, Мельников, 1989; Балобаев, 1991; Ершов и др., 1996], т. е. на основе принципов преемственности, комплексности и многофакторности.

Основными объектами изучения выбраны:

а) деятельный слой почвогрунтов в различных естественных и нарушенных сельскохозяйственной деятельностью ландшафтах;



**Рис. 1. Схема расположения мониторинговых полигонов деятельного слоя и криогенных явлений.**

Полигоны: 1 – Кердюген, 2 – Хатассы, 3 – Спасская Падь, 4 – Майя, 5 – Амга, 6 – Хоробут.

б) криогенные и посткриогенные процессы и явления;

в) основные типы мерзлотных почв: мерзлотно-таежные палевые, лугово-черноземные, черноземы, пойменные дерновые, аласные и др.;

г) напочвенные покровы (лесная подстилка, мох, снежный покров).

В 1989–1996 гг. проводились сезонные, а с 1996 по 2007 г. круглогодичные режимные наблюдения за динамикой глубины сезонного протаивания и промерзания, влажности и температуры почвогрунтов. Определялись водно-физические свойства, пластичность, гранулометрический состав и криогенное строение грунтов, исследовались криогенные и посткриогенные процессы и явления, а также параметры напочвенных покровов.

Таким образом, нашими исследованиями на полигонах и экспериментальных площадках одновременно были охвачены разнообразные природные процессы и ландшафты на обширной территории.

При проведении мониторинговых наблюдений за реакцией пород ледового комплекса и за динамикой их характеристик (температуры, влажности, льдистости, глубины сезонного протаивания, криогенных процессов и явлений, кровли ММП и ПЖЛ) использованы методики, принятые в геокриологии и гидромелиорации [Павлов, 1975; Методические..., 1979; Гаврильев, 1991].

#### **Исходные данные и общие предпосылки.**

Работа написана на основе обобщения базовых данных комплексных полевых исследований и мониторинга ДС, криогенных процессов, верхнего горизонта ММП с ПЖЛ в естественных и агроландшафтных комплексах Центральной, Западной и Заполярной Якутии в 1985–2007 гг. Проведен их совместный анализ с накопленной ранее геокриологической, климатической, ландшафтной, гидрологической информацией (1965–1988 гг.) и выполнены оценочные расчеты.

Отметим следующие исходные предпосылки и источники информации: а) 22-летние (1985–2007) мерзлотно-гидротермические, мелиоративные и геокриологические данные полевых исследований на межаласных естественных ландшафтах и агроземлях полигона Кердюген с ключевыми участками Рожа и Меняйка; б) многолетние (1991–2007) аналогичные наблюдения на полигоне Майя, куда входят ключевые участки Дыргыабай и Чуйя; в) 36-летние (1971–2007) данные стационарных сезонных и регулярных наблюдений 1 раз в 3–5 лет на полигоне Хоробут с тремя ключевыми участками Сытыган, Улах, Элесин (крупные термокарстовые котловины – аласы лиманного орошения); г) 5-летние (1978–1983) данные и комплексные инженерно-мерзлотные и мелиоративные исследования на Лено-Амгинском междуречья (съемка, районирование, картирова-

ние, прогноз); д) 5-летние (1983–1988) мерзлотно-гидротермические и мелиоративные наблюдения на Объединенном научно-исследовательском стационаре Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства в долине р. Амги с участием трех институтов Якутского научного центра СО РАН (Института мерзлотоведения, Института биологических проблем криолитозоны и Института физико-технических проблем Севера), а также Якутского отделения Сибирского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации.

Характеристика полигонов Хоробут, Хатассы, Амга, Майя, Кердюген и их ключевых участков подробно освещена в ряде работ [Гаврильев, Мандаров, 1976; Гаврильев и др., 1984; Гаврильев, 1991; Угаров, Мандаров, 2000; Гаврильев и др., 2001].

В данной статье представим краткую информацию о ландшафтных и геокриологических условиях на характерном таежном межаласном экспериментальном участке Дыргыабай площадью более 2 км<sup>2</sup>, расположенном на VI надпойменной террасе правобережья р. Лены (полигон Майя).

Растительный покров представлен брусничным лиственничником. Высота деревьев составляет 12–18 м с сомкнутостью крон 0,6–0,7. Напочвенный покров представлен лесной подстилкой и слоем мха толщиной от 1,5–3,0 до 7–12 см. Мощность деятельного слоя варьирует в среднем от 1,2 до 1,6 м, промежуточного слоя (ПС) – от 0,2 до 1,5 м. Для ПС характерны слоисто-сетчатая, линзовидная и атакситовая криотекстуры. На рассматриваемом участке Дыргыабай развиты ММП с мощными ПЖЛ, залегающие на глубине 1,5–3,0 м от поверхности. Льдистость ММП варьирует от 10 до 40 %, а с учетом ПЖЛ – от 50 до 80 %. Вертикальная мощность ПЖЛ превышает 12–25 м. Ширина ледяных жил по верху составляет 1,2–5,0 м. Литологический состав ММП представлен в верхних частях разреза (до глубины 10 м) лессовидными средними и легкими суглинками и супесями. Их удельный вес в среднем составляет 2,6–2,7 г/см<sup>3</sup>, объемный вес – 1,46–1,50 г/см<sup>3</sup>. Содержание пылевой фракции (0,01–0,05 мм) достигает 63–70 %. Для мерзлых толщ характерно сложное криогенное строение со слоисто-сетчатой и линзовидной текстурами.

Основной вид техногенного нарушения поверхности – расчистка леса, удаление теплоизолирующего напочвенного покрова (мха, лесной подстилки), распашка, орошение. В процессе этих работ около 15–25 % гумуса почвы удаляется за пределы пашни бульдозерами. Продолжительность техногенно-антропогенных воздействий составляет от 6 до 50 и более лет для пахотных земель и орошаемых аласных лугов.

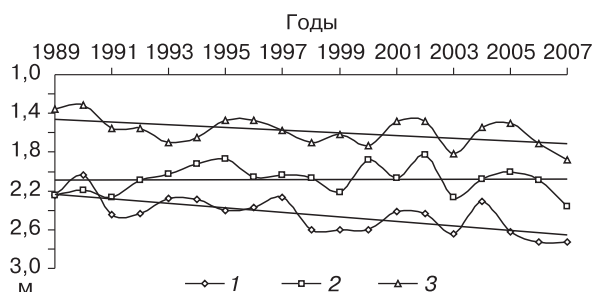
Известно, что Центральная Якутия является одним из регионов России, характеризующимся

наиболее высоким (0,088 °С/год) трендом повышения среднегодовой температуры воздуха [Павлов, Ананьева, 2005]. За период наблюдений 1982–2003 гг. по среднезимней температуре пять зим были нормальными, десять – теплыми, пять – аномально теплыми и лишь одна зима была холодной [Скачков, 2000; Павлов и др., 2004]. По данным метеостанции г. Якутска, последние три зимы (2005–2007 гг.) также были аномально теплыми и многоснежными. Количество летних осадков отличалось от нормы в ±1,5–3,0 раза. Метеорологические условия этих лет оказали совершенно неодинаковое влияние на параметры ДС, активизацию криогенных процессов и явлений, а также на термическое состояние ММП с ПЖЛ в слое годовых теплооборотов.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Реакция криогенных естественных ландшафтов на потепление климата.** По данным комплексного мониторинга в 1989–2007 гг., на площадках с естественными ландшафтными условиями отмечены лишь незначительные изменения параметров ДС почвогрунтов в пределах их естественной вариации. Тренды изменения глубины сезонного протаивания почвогрунтов на естественных ландшафтах (лес и луг) полигона Кердюген составляли 0,014 и 0,024 м/год соответственно (рис. 2). Тренды на заброшенной пашне, зарастающей густыми луговыми травами (залежи), близки к нулю.

В настоящее время естественные (ненарушенные) ландшафты находятся в относительно устойчивом мерзлотном и гидрогеотермическом состоянии. В 1989–2007 гг. на природных ландшафтах зафиксированы лишь незначительные изменения криогенных процессов и явлений и стабильные геотермические условия.



**Рис. 2. Межгодовая изменчивость глубины сезонного протаивания почвогрунтов на участке Рожа полигона Кердюген (левобережье р. Лены).**

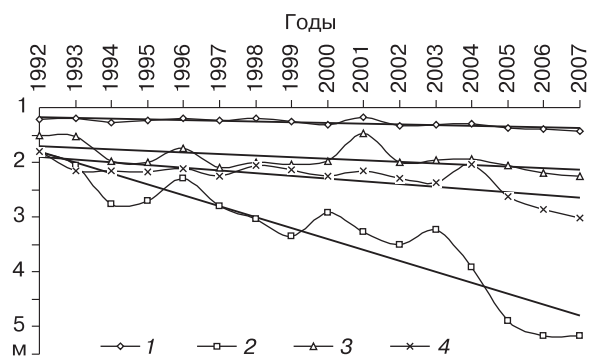
1 – луг,  $y = 0,0237x - 44,841$ ; 2 – залежь,  $y = -0,0008x + 3,626$ ; 3 – лес,  $y = 0,0139x - 26,177$ .

Эти данные в какой-то мере подтверждают существующее мнение многих ученых о термической устойчивости ММП криолитозоны Центральной Якутии при современном потеплении климата [Балобаев, 1991; Павлов, 1997, 2002; Скачков, 2000; Скрябин и др., 2002; Балобаев и др., 2003]. Авторы эту устойчивость объясняют снижением мощности снежного покрова и уменьшением континентальности климата.

**Реакция сельскохозяйственных ландшафтов на потепление климата.** Однако в те же годы (1989–2007) под влиянием потепления климата на территориях с ЛК с нарушенными поверхностными почвенно-растительными условиями сложилась ситуация, свидетельствующая о тенденциях деградации ММП в Центральной Якутии. Так, согласно нашим наблюдениям, при раскорчевке леса и сельскохозяйственном освоении средние годовые температуры многолетнемерзлых пород ( $t_{cp}$ ) повысились с  $-3...-5$  до  $-0,5...-3,0$  °С, т. е. на  $1,5-2,0$  °С.

Было установлено, что в зависимости от геологическо-геоморфологических условий и давности освоения тип ММП с низкими отрицательными среднегодовыми температурами ( $-3...-5$  °С) на межлассных участках агроландшафтов трансформировался в тип ММП со средними отрицательными температурами ( $-1...-3$  °С), а на склоновых участках местности – в высокоотрицательный тип ММП (не ниже  $-1$  °С) [Гаврильев и др., 2001].

За последние 19 лет (1989–2007) резкие изменения метеоусловий по сравнению с климатической нормой в сочетании с антропогенными факторами оказали значительное влияние на мощность ДС.



**Рис. 3. Межгодовая изменчивость глубины сезонного протаивания почвогрунтов на участке Дыргыбай полигона Майя (правобережье р. Лены).**

1 – лес,  $y = 0,0128x + 1,169$ ; 2 – полигональный бугор,  $y = 0,1601x + 1,6865$ ; 3 – межполигональная ложбина,  $y = 0,0286x + 1,6755$ ; 4 – залежь,  $y = 0,0497x + 1,8565$ .

За весь период сельскохозяйственного землепользования, т. е. со времени начала освоения межлассной пашни участка Дыргыабай (1956 г.) по настоящее время (2007 г.), глубина сезонного протаивания в различных ландшафтных условиях возросла в 1,4–2,7 раза (рис. 3). Например, на площадке 2 ключевого участка Меняйка глубина сезонного протаивания увеличилась с 1,6 м в 1989 г. до 2,76 м в 1997 г., т. е. в 1,7 раза. Осадка поверхности полигональных блоков грунта, вмещающих ПЖЛ, составила от 0,05 до 0,52 м. При этом величина оттаивания верхней части пород ЛК на участке Дыргыабай составила 0,3–3,7 м при начальной глубине залегания ПЖЛ 1,5–1,7 м, а глубина залегания кровли ПЖЛ увеличилась в 2,0–2,8 раза. Все это свидетельствует о высокой скорости деградации пород ЛК на участках сельскохозяйственного освоения.

Минимальное сезонное протаивание грунтов на агроландшафтах наблюдалось в 1992 и 2001 гг. (см. рис. 3). Максимальное сезонное протаивание мерзлых грунтов на всех площадках фиксировалось в 2006 и 2007 гг. при обильных осадках и высоких температурах воздуха. В период 1989–2007 гг. тренд таяния пород ледового комплекса ( $\Delta h_{\text{ЛК}}$ ) на межлассных участках агроландшафтов полигона Майя составил в среднем 0,03–0,16 м/год.

При повышении средней годовой температуры мерзлых пород с жильными льдами на 2 °С значительная часть ресурсов холода утрачивается, поэтому на таких участках ледовый комплекс природно-антропогенных геосистем становится более уязвимым при естественных и антропогенных воздействиях. В этих условиях длительно устой-

чивый тип сезонного промерзания и протаивания горных пород может трансформироваться в полупереходный и переходный типы с последующим формированием перезимков и деградацией ММП.

Нами отмечено, что в зимние сезоны (с 1 октября по 30 апреля) 2004/05, 2005/06 и 2006/07 гг. перезимки были широко распространены не только в агроландшафтах, но и в естественных ландшафтах на лево- и правобережьях р. Лены (например, на площадках 4 и 8 полигона Спасская Падь, на площадках 2, 4, 5 ключевого участка Дыргыабай полигона Майя и др.). Возникает вопрос: каковы предельные временные критерии существования этих перезимков? Возможны следующие сценарии. Во-первых, они могут превратиться в “таликовые перезимки” (по П.А. Соловьеву [1978]) или в перелетки и перезимки смешанного и южного типов (по Е.А. Втюриной [1974]). Во-вторых, перезимки в агроландшафтах могут послужить началом возникновения несквозных таликов небольшой мощности (6–10 м) в случаях продолжения современного или реализации прогнозируемого потепления климата (на 2 и 4 °С) в ближайшие десятилетия (2025–2050 гг.).

По современным представлениям “перезимки”, “перелетки” и “несквозные талики” представляют собой достаточно чувствительные и высоко динамичные образования, зависящие от сочетания естественных и антропогенных факторов. Например, на площадке 2 участка Дыргыабай перезимки возникали в аномально теплые и многоснежные зимы 2002/03, 2005/06, 2006/07 и 2007/08 гг., когда повышенные снегонакопления в

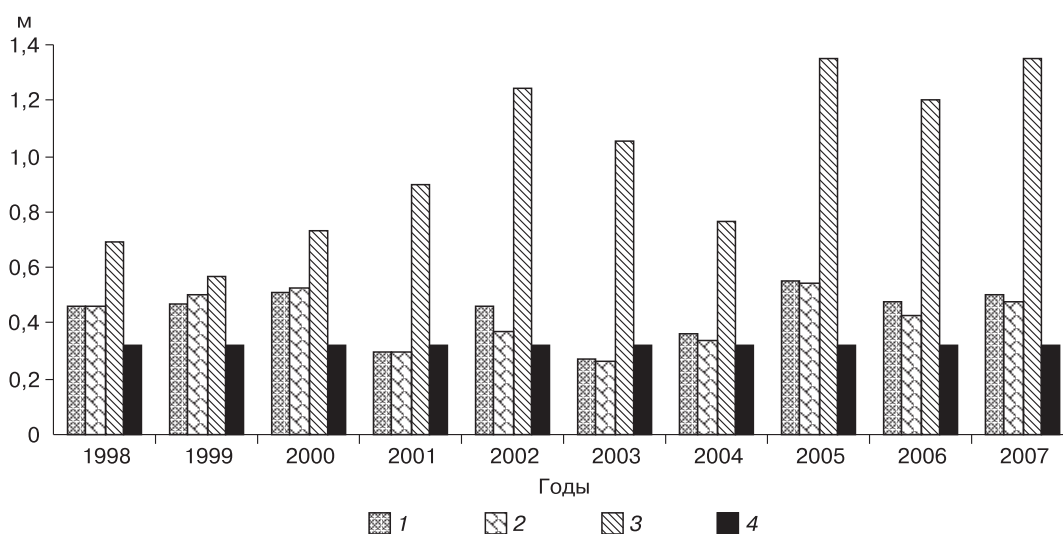


Рис. 4. Мощность снежного покрова на площадках участка Дыргыабай полигона Майя (1998–2007 гг.):

1 – лес, 2 – залежь, 3 – просадка; 4 – средняя многолетняя.

небольших термокарстовых просадках составляли 77–135 см и превысили среднюю норму (32 см за 1936–1980 гг.) в 2–4 раза (рис. 4). Очевидно, это оказывало отепляющее влияние на ДС и верхний горизонт ММП с ПЖЛ.

Термокарстовое понижение (термопросадка) в плане полностью заметается снегом, и в его пределах толщина снежного покрова равна сумме глубины термопросадки и толщины снежного покрова на окружающих участках. Снежный покров нивелирует неровности мерзлотных форм микрорельефа. Высота снега в термопросадках почти ежегодно меняется и постепенно возрастает по мере увеличения глубины и площади термопросадок. Например, на экспериментальной площадке 4 участка Дыргыбай полигона Майя [Гаврильев, 2005] за короткий срок (1995–2004 гг.) глубина термопросадок увеличилась с 0,1 до 1,6 м, их диаметр – с 0,2 до 6,0 м, а количество – с 4 до 135 на единицу площади 100 × 100 м (1 га).

### ВЫВОДЫ

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Сельскохозяйственное освоение и мелиорация земель в сочетании с потеплением климата могут вызвать существенные изменения мерзлотных, ландшафтных и геотермических условий. При этом наименьшей устойчивостью к различным видам техногенного воздействия обладают высокотемпературные мерзлые породы (–0,5...–1,5 °С) с мощными ПЖЛ на межлассных ландшафтах. Средняя многолетняя скорость увеличения мощности ДС и оттаивания ММП с ПЖЛ при сельскохозяйственном освоении составила 0,03–0,16 м/год.

2. На межлассных агроландшафтах Центральной Якутии при современном потеплении климата и сельскохозяйственном землепользовании (расчистка леса, удаление напочвенного покрова, распашка и т. д.) в период с 1989 по 2007 г. выявлены экстремальные изменения параметров верхнего горизонта пород ледового комплекса: оттаивание ММП на 0,5–3,7 м при повышении их среднегодовой температуры на 1–2 °С.

3. Определена слабая реакция деятельного слоя почвогрунтов и верхнего горизонта пород ЛК на естественных ландшафтах на современное изменение климата.

Авторы благодарят В.В. Шепелева и А.В. Павлова за обсуждение и ценные замечания.

Работа выполнена по проекту НИР СО РАН 7.10.2.5. “Исследование состояния и тенденции развития криогенных ландшафтов при изменениях климата, гидрогеологических условий и антропогенных воздействиях”.

### Литература

- Анисимов О.А., Нельсон Ф.Э., Павлов А.В.** Прогнозные сценарии эволюции криолитозоны при глобальных изменениях климата в XXI веке // Криосфера Земли, 1999, т. III, № 4, с. 15–25.
- Атлас** сельского хозяйства Якутской АССР / Под ред. И.А. Матвеева. М., ГУГК СССР, 1989, 115 с.
- Балобаев В.Т.** Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. Новосибирск, Наука, 1991, 194 с.
- Балобаев В.Т., Гаврилова М.К., Скачков Ю.Б. и др.** Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии. Якутск, ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003, 56 с.
- Браун Дж.** Международная ассоциация мерзлотоведения: прошлое, настоящее и будущее // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 1, с. 7–12.
- Браун Дж., Граве Н.А.** Нарушение поверхности и ее защита при освоении Севера. Новосибирск, Наука, 1981, 88 с.
- Втюрина Е.А.** Криогенное строение пород сезонно-протаивающего слоя. М., Наука, 1974, 128 с.
- Гаврилова М.К.** Климат и многолетнее промерзание горных пород. Новосибирск, Наука, 1978, 214 с.
- Гаврилова М.К.** Современный климат и вечная мерзлота на континентах. Новосибирск, Наука, 1981, 113 с.
- Гаврильев П.П.** Термопросадки и деформации поверхности поля при мелиорации долины р. Амги // Криогидрологические исследования. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1985, с. 148–161.
- Гаврильев П.П.** Мелиорация мерзлотных земель в Якутии. Новосибирск, Наука, 1991, 182 с.
- Гаврильев П.П.** О реакции ледового комплекса Якутии на глобальное потепление климата (методы, результаты, проблемы) // Наука и образование, 2002, № 3, с. 64–69.
- Гаврильев П.П.** Экстремальные геокриологические процессы и образования в Центральной Якутии при изменении климата и антропогенном воздействии // Материалы Третьей конф. геокриологов России (Москва, 1–3 июня 2005 г.). Т. 2, ч. 3. Динамическая геокриология. М., Изд-во Моск. ун-та, 2005, с. 50–57.
- Гаврильев П.П.** Криогенные процессы и образования как индикаторы изменения состояния и устойчивости ландшафтов в Якутии // Материалы Междунар. конф. “Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее”. Тюмень, ТГНГУ, 2006, т. 1, с. 199–202.
- Гаврильев П.П., Мандаров А.А.** Лиманное орошение лугов в Центральной Якутии. Новосибирск, Наука, 1976, 165 с.
- Гаврильев П.П., Мандаров А.А., Угаров И.С.** Гидротермические мелиорации сельскохозяйственных угодий в Якутии. Новосибирск, Наука, 1984, 200 с.
- Гаврильев П.П., Угаров И.С., Ефремов П.В.** Мерзлотно-экологические особенности таежных агроландшафтов Центральной Якутии. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2001, 196 с.
- Граве Н.А.** Чувствительность поверхности к техногенному воздействию в области вечной мерзлоты, приемы и методы отражения ее на картах // Методика инженерно-геологических исследований и картирования области вечной мерзлоты. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1978, с. 16–33.
- Граве Н.А.** Принципы оценки чувствительности поверхности к техногенным воздействиям (на примере территории Якутии) // Охрана природы Якутии. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1979, с. 91–94.

- Граве Н.А., Мельников П.И.** Критерии и прогнозы устойчивости мерзлотных ландшафтов // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М., Ин-т географии АН СССР, 1989, с. 163–171.
- Ершов Э.Д., Козлов А.Н., Пармузин С.Ю. и др.** Деграляция криолитозоны России при глобальном потеплении климата // Материалы Первой конф. геокриологов России. М., Изд-во Моск. ун-та, 1996, т. 2, с. 319–328.
- Израэль Ю.А., Павлов А.В., Анохин Ю.А.** Анализ современных и ожидаемых в будущем изменений климата и криолитозоны в северных районах России // Метеорология и гидрология, 1999, № 3, с. 18–27.
- Методические** рекомендации по стационарному изучению криогенных физико-геологических процессов. М., ВСЕГИНГЕО, 1979, 78 с.
- Павлов А.В.** Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. Якутск, Кн. изд-во, 1975, 302 с.
- Павлов А.В.** Мерзлотно-климатический мониторинг России: методология, результаты наблюдений, прогноз // Криосфера Земли, 1997, т. I, № 1, с. 47–58.
- Павлов А.В.** Вековые аномалии температуры воздуха на Севере России // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 2, с. 75–81.
- Павлов А.В., Ананьева Г.В.** Современные изменения климата и криолитозоны в нефтегазоносных районах севера России // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 1, с. 89–95.
- Павлов А.В., Скачков Ю.Б., Какунов Н.Б.** Взаимосвязь между многолетними изменениями глубины сезонного протаивания грунтов и метеорологическими факторами // Криосфера Земли, 2004, т. VIII, № 4, с. 3–11.
- Скачков Ю.Б.** Современные изменения климата Центральной Якутии // Климат и мерзлота: комплексные исследования в Якутии. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2000, с. 55–63.
- Скрябин П.Н., Варламов С.П., Скачков Ю.Б.** Оценка изменений температурного режима грунтов при нарушении природных условий // Рациональное природопользование в криолитозоне. М., Наука, 1992, с. 165–173.
- Скрябин П.Н., Скачков Ю.Б., Варламов С.П.** Термическое состояние грунтов Центральной Якутии // Проблемы прикладной экологии Севера: экология, рациональное использование и охрана мерзлотных почв. Якутск, ЯФ Изд-ва СО РАН, 2002, с. 95–97.
- Соловьев П.А.** Мощность поверхностной сезонномерзлой толщи на территории Якутии // Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1978, с. 3–12.
- Угаров И.С., Мандаров А.А.** Орошение дождеванием кормовых культур в Центральной Якутии. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2000, 127 с.
- Фотиев С.М.** Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР. М., Наука, 1978, 238 с.
- Шендер Н.И., Тетельбаум А.С., Скачков Ю.Б.** Реакция криолитозоны Якутии на многолетнюю изменчивость элемента климата // Проблемы геокриологии. Якутск, Изд-во СО РАН, 1998, с. 22–30.
- Шур Ю.Л.** Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. Новосибирск, Наука, 1988, 213 с.

*Поступила в редакцию  
13 декабря 2007 г.*