

*На правах рукописи*

**Дармаева Нина Николаевна**

**ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЮГА ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ**

**Специальность 03.02.13 – «Почвоведение»**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

г. Улан-Удэ  
2010



Работа выполнена в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН и в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова на кафедре физики и мелиорации почв

- Научный руководитель:** доктор биологических наук  
**Бадмаев Нимажап Баяржапович**
- Официальные оппоненты:** доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор  
**Чимитдоржиева Галина Доржиевна**
- кандидат биологических наук  
**Цыбикова Эржена Валерьевна**
- Ведущая организация:** **Институт биологических проблем  
криолитозоны СО РАН**

Защита состоится «4» июня 2010 г. в 12.00 час на заседании диссертационного совета Д.003.028.01 при Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6; факс: (3012) 43-30-34; e-mail: [ioeb@biol.bscnet.ru](mailto:ioeb@biol.bscnet.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бурятского научного центра СО РАН и на сайте <http://igaeb.bol.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» апреля 2010г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор биологических наук

М.Г. Меркушева

## Введение

**Актуальность.** В криолитозоне многолетняя мерзлота выступает как субфактор почвообразования и общим свойством почв является криогенез (Макеев, 1974). Криогенный фактор отражается в пространственной организации почвенного покрова, свойствах и режимах, экстраконтинентальном почвенном климате (Саввинов, 1976; Керженцев, 1977; Димо, 1978; Дугаров, Куликов, 1997, Десяткин, 2008). На динамику тепловлагоресурсов на поверхности существенное влияние оказывает рельеф, создающий контрастные экологические условия на склонах разных экспозиций и крутизны (Куликов и др., 1997; Бадмаев и др., 2006).

Актуальным вопросом почвоведения является изучение физического состояния почв по основной гидрофизической характеристике (**ОГХ**), отражающей особенности взаимодействия между твердой и жидкой фазами почв (Воронин, 1980). Для основных типов почв европейской части России устанавливаются параметры энергетического потенциала почв на данных определений физических и физико-механических свойств (теплоты смачивания, пределов Аттерберга, пластической прочности) во взаимосвязи с ОГХ (Димо, Уткаева, 1984; Хайдапова, Аксенов, 2001; Хайдапова, Пестонова, 2007; Уткаева, 2007). В комплексе, результаты таких исследований характеризуют энергетическое состояние почв, количественные показатели которого отражают их прочность и устойчивость к разного рода деформациям. Мерзлотные почвы в этом отношении остаются практически не изученными.

**Цель исследования** – оценка физических и физико-механических свойств мерзлотных почв юга Витимского плоскогорья.

### **Задачи исследований:**

1. Определить содержание гумуса и его профильное распределение в лугово-черноземной, аллювиальной луговой и серой лесной почвах в зависимости от положения их в рельефе;
2. Изучить физические свойства почв и дать оценку их структурно-агрегатного состояния и водопрочности агрегатов;
3. Установить величины теплоты смачивания, пределов Аттерберга, пластичности, прочности почв и определить их взаимосвязь с основной гидрофизической характеристикой (ОГХ).

**Научная новизна.** Впервые на основе ландшафтно-экологического подхода для мерзлотных почв юга Витимского плоскогорья установлены параметры теплоты смачивания, пределов Атерберга, пластичности и прочности мерзлотных почв в зависимости от положения их в склоновом рельефе. Выявлена критическая величина напряжения сдвига, отражающая меру устойчивости мерзлотных почв к деформирующим воздействиям.

**Защищаемые положения:**

1. Мерзлотные почвы Еравнинской котловины, независимо от их типовой принадлежности и положения в рельефе, характеризуются хорошей оструктуренностью и прочностью сухих агрегатов, но низкой их водопрочностью.

2. Теплота смачивания в разных типах почв зависит от содержания гумуса и удельной поверхности, возрастая от почв верхних позиций к почвам аккумулятивной части склона

3. Реологические константы, пластичность, прочность межчастичных связей дифференцируются по типам почв; их численные параметры определяются гранулометрическим составом, удельной поверхностью, содержанием гумуса.

**Теоретическая и практическая значимость.** Новые сведения о теплоте смачивания, реологических константах, отражающие физическое состояние почв в связи с их структурно-функциональными свойствами и с основной гидрофизической характеристикой вносят вклад в теорию мерзлотного почвообразования в условиях расчлененного рельефа.

Данные по физико-механическим свойствам почв применимы при разработке систем адаптивно-ландшафтного землепользования, при составлении почвенно-экологических карт и планировании мелиоративных мероприятий.

**Апробация работы.** Основные результаты представлены на международных конференциях: «Биоразнообразие экосистем внутренней Азии» (Улан-Удэ, 2006), «Образование, наука: инновационный аспект» (Пенза, 2008); «Разнообразие мерзлотных и сезонно-промерзающих почв и их роль в экосистемах (Москва – Улан-Удэ, 2009) и научно-практической конференции «Научное обеспечение реализации национального проекта «Развитие АПК» (Улан-Удэ, 2009).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 4 в журналах, рекомендуемых ВАК.

**Структура работы.** Диссертация изложена на 130 страницах и состоит из введения, 4 глав, выводов. Содержит 20 таблиц, 25 рисунков, 2 приложения. Список литературы включает 181 наименование, из них 15 иностранных.

**Личный вклад автора.** Диссертационная работа выполнена на основе полевых и лабораторных исследований, проведенных лично и с участием автора. Изучение физических и физико-механических свойств почв выполнялось на кафедре физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автор выражает благодарность заведующему кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ д.б.н., проф. Е.В. Шеину, к.б.н., доц. кафедры Д.Д. Хайдаповой за научную консультацию и помощь в выполнении экспериментальных исследований.

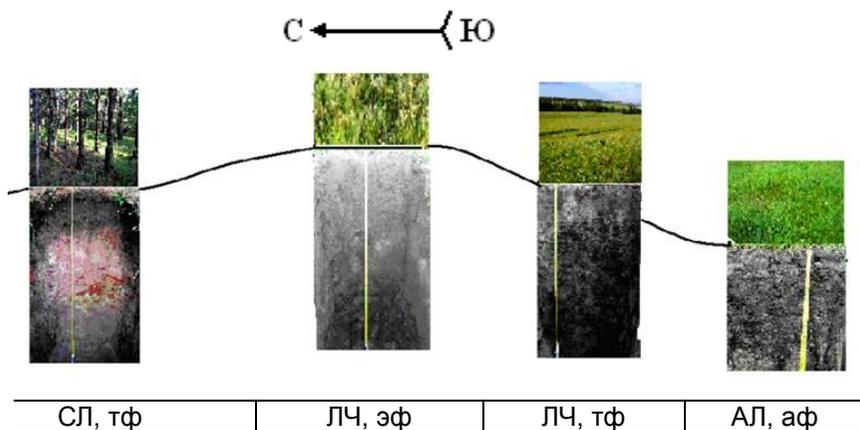
## Глава 1. Условия почвообразования в криолитозоне Забайкалья

**Природно-климатические условия.** Дана характеристика факторов почвообразования на юге Витимского плоскогорья на примере Еравнинской котловины (ЕК). Интегральным результатом влияния криогенеза является формирование самобытных почвенных типов с экстраконтинентальным почвенным климатом.

**Почвы.** Рассматривается изученность гумусного состояния, агрохимических и агрофизических свойств, водного и температурного режимов мерзлотных почв ЕК и смежных с ней территорий.

## Глава 2. Мерзлотные почвы Еравнинской котловины

**Объекты и методы исследования.** Для установления связи фундаментальных и функциональных свойств устойчивости почв в зависимости от положения их в рельефе исследования проводились в пределах полигон-трансекта «Улан-Хада» (рис. 1). На вершине и середине склона южной экспозиции под твердовато-осоковыми и ковыльными сообществами формируются мерзлотные лугово-черноземные почвы (ЛЧ) (элювиальная и транзитная фации). Аккумулятивная зона (подножие) склона предпредставлена аллювиальной луговой (АЛ) мерзлотной почвой под леймусово-полевищевыми и кобрезиево-осоковыми сообществами. В середине склона северной экспозиции (транзитная фация) под березово-лиственничным лесом с ерниками и ивами формируются мерзлотные серые лесные (СЛ) почвы.



**Рис. 1. Схема полигон-трансекта «Улан-Хада»**

В мерзлотных почвах определяли: плотность твердой фазы пикнометрически, плотность и общую порозность по Вадюниной, Корчагиной (1986); гранулометрический состав пипет-методом с обработкой пирофосфатом натрия; агрегатный состав, водопрочность агрегатов – по Савинову; удельную поверхность методом десорбции паров воды над солями по БЭТ; содержание органического углерода на экспресс-анализаторе углерода АН-8012 (Воробьева, 2000); теплоту смачивания – калориметрически в калориметре типа ОХ12К4; пределы Аттерберга – конусом Васильева и раскатыванием в шнур; прочность межчастичных связей почв – на пластометре Ребиндера.

**Морфологические и химические свойства почв.** Общим морфологическим свойством почв южного склона является хрящеватость, увеличивающаяся с глубиной; наличие морозобойных трещин до 50-80 см и глубже; гумусовых затеков; в иллювиальных горизонтах появление ржаво-бурых пятен, сизоватого оттенка в общем тоне окраски почвенного горизонта.

Распределение гумуса по профилю резко убывающее. Мощность гумусового горизонта 15-24 см. Структура почв ореховато-зернистая. В иллювиальной луговой почве в подножии южного склона карбонатный горизонт залегает на глубине 30 см. Профиль этой почвы сильно увлажнен.

Морфологический профиль серой лесной почвы северного склона имеет характерные признаки дифференциации генетических горизонтов по степени выраженности крио- и гидроморфизма. В гуму-

совом горизонте отмечена узкая (2см) прослойка интенсивно черного цвета, очень влажная и уплотненная. Окраска профиля неоднородная: от светло-бурых до красных тонов, отмечается обилие белых, ржавых, охристых пятен. Структура ореховато-зернистая. Нижние горизонты переувлажнены.

По содержанию гумуса в гумусовом горизонте (6,90 %) лугово-черноземная почва элювиальной фации относится к высокогумусной. Распределение гумуса по профилю резко убывающее. Реакция среды слабокислая, близкая к нейтральной. Лугово-черноземная почва на склоне малогумусная (2,37 %). Реакция среды близкая к нейтральной. Аллювиальная луговая почва высокогумусная (6,95 %) при убывающем его содержании с глубиной. Реакция среды слабощелочная. В серой лесной почве транзитной фации склона северной экспозиции количество гумуса достигает 6,80%. Реакция среды нейтральная.

### Глава 3. Физические свойства почв

**Гранулометрический состав почв.** Почвы хрящеватые, сильно опесчаненные. Гранулометрический состав почв южного склона суглинистый иловато-песчаный, переходящий в иллювиальном горизонте лугово-черноземной элювиальной фации в легкую глину и суглинок тяжелый. Серая лесная почва по гранулометрическому составу относится к легкосуглинистым.

**Агрегатный состав и водоустойчивость структурных агрегатов почв.** При сухом расसेве в почвенном профиле присутствуют все типы агрегатов. При этом в верхней части преобладающими являются агрегаты диаметром 2-1 мм (24-30%). При меньшем содержании пылеватой фракции (<0,25 мм) до 10 %, ее количество возрастает в иллювиальном горизонте лугово-черноземной почвы до 20-23%. Содержание агрономически ценных агрегатов высокое (78-80%). Изученные мерзлотные почвы характеризуются отличным агрегатным состоянием с высоким коэффициентом структурности при сухом рассеве.

Криогенная природа формирования агрегатов и их высокая пористость обуславливают низкую водоустойчивость структуры мерзлотных почв. (Куликов и др., 1997; Шеин, 2005).

По шкале Качинского агрегаты аллювиальной луговой и серой лесной почв имеют удовлетворительную водоустойчивость (количество водопрочных агрегатов больше 30%), в лугово-черноземной –

недостаточно удовлетворительную.

**Плотность твердой фазы, плотность, пористость почв.** Плотность твердой фазы однородная в органогенных горизонтах, возрастает в минеральных. Показатели плотности почв характеризуются низкими значениями и увеличиваются вниз по профилю с накоплением тонкодисперсных частиц. Высокая плотность серой лесной почвы обусловлена насыщенностью почвы окисными и закисными формами железа (табл. 1). Пористость и коэффициент пористости изменяются в лугово-черноземной почве элювиальной фации в соответствии с плотностью почвы, уменьшаясь с глубиной. Наиболее высокие значения этих показателей характерны для аллювиальной луговой почвы, низкие – для серой лесной почвы.

Таблица 1. Плотность твердой фазы, плотность, пористость и коэффициент пористости мерзлотных почв

Почва	Горизонт, глубина, см	Плотность твердой фазы $P_s, \text{г/см}^3$	Плотность $P_b, \text{г/см}^3$	Пористость $\varepsilon, \%$	Коэффициент пористости, $k_n$
ЛЧ (э.ф.)	A 2-24	2,48±0,14	1,25±0,03	50	0,97
	B <sub>1</sub> 24-36	2,59±0,09	1,31±0,05	50	0,98
	B <sub>2</sub> 36-68	2,58±0,06	1,37±0,04	47	0,88
	BC 68-100	2,57±0,11	1,45±0,05	44	0,77
ЛЧ (т.ф.)	A <sub>d</sub> 0-3	2,46±0,06	0,97±0,09	61	1,57
	A 3-21	2,46±0,10	1,21±0,05	51	1,03
	B 21-65	2,46±0,05	1,41±0,03	43	0,74
АЛ (а.ф.)	A 3-10	2,41±0,06	0,86±0,04	64	1,80
	Bca 10-20	2,41±0,05	0,97±0,06	60	1,48
	BCca 20-55	3,05±0,27	1,20±0,05	61	1,54
СЛ (т.ф.)	A 3-24	2,52±0,06	1,65±0,05	35	0,53
	B <sub>1</sub> 24-37	2,61±0,09	1,42±0,04	46	0,84

**Удельная поверхность.** Величина удельной поверхности (УП) почв зависит от содержания гумуса и его распределения по профилю (табл. 2).

Такая взаимообусловленность хорошо прослеживается в лугово-черноземной почве на вершине и в аллювиальной луговой почве в подножии склона южной экспозиции ( $R=0,85$  и  $0,93$  соответственно). В лугово-черноземной почве транзитной фации показатель УП в большей степени зависит от содержания физической глины, вероятно, более обогащенной коллоидными частицами, принесенных с

верхней части склона ( $r=0,97$ ). В серой лесной почве значение УП низкое, что определялось гранулометрическим составом и содержанием тонкодисперсных фракций.

Таблица 2. Удельная поверхность, содержание гумуса, ила и физической глины в мерзлотных почвах

Почва	Горизонт, глубина, см	УП S, м <sup>2</sup> /г	Содержание гумуса, %	Содержание частиц	
				< 0,001 мм	< 0,01 мм
				%	
ЛЧ (э.ф.)	A 2-24	137,1±0,2	6,90±0,21	24,2	31,8
	B <sub>1</sub> 24-36	74,7±0,1	1,20±0,12	27,9	33,4
	B <sub>2</sub> 36-68	99,8±0,1	0,76±0,13	42,8	65,0
	BC 68-100	50,6±0,2	0,62±0,14	31,7	46,9
ЛЧ (т.ф.)	A <sub>d</sub> 0-3	97,8±0,2	2,37±0,24	24,6	30,07
	A 3-21	161,1±0,2	1,83±0,21	29,2	37,9
	B 21-65	116,8±0,1	0,58±0,23	23,1	34,4
АЛ (а.ф.)	A 3-10	176,4±0,2	6,95±0,14	23,4	44,6
	Вса 10-20	156,7±0,1	4,20±0,22	28,4	44,2
	ВСаа20-55	99,7±0,2	2,14±0,23	22,6	43,2
СЛ (т.ф.)	A 3-24	93,6±0,1	6,80±0,21	11,9	23,8
	B <sub>1</sub> 24-37	77,8±0,1	0,50±0,11	15,8	22,3

**Теплота смачивания.** Теплота смачивания (ТС) представляет суммарный тепловой эффект адсорбции и гидратации, который является выражением (при смачивании водой) образования прочносвязанной воды. Развивающаяся в почвенной дисперсной системе свободная энергия является энергетическим источником почвенных процессов на границе раздела твердой и жидкой фаз. С помощью теплоты смачивания можно охарактеризовать генетические особенности разных типов почв, их физическое состояние, гидрофильность - способность связывать воду. Исследования теплоты смачивания мерзлотных почв показали дифференциацию величины ТС по генетическим горизонтам почв, а также в зависимости от местоположения их в рельефе (табл. 3).

Теплота смачивания снижается с глубиной и возрастает в направлении от вершины к подножию южного склона. В серой лесной почве транзитной фации склона северной экспозиции отмечены более низкие значения ТС. Абсолютные величины ТС в почвах южного склона находились в прямой коррелятивной зависимости от УП ( $r=0,96$ ), и в меньшей зависимости – от содержания гумуса ( $r=0,85$ ).

В серой лесной почве установлена высокая коррелятивная связь с УП и содержанием физической глины ( $r=0,99$ ).

Таблица 3. Теплота смачивания, содержания гумуса прочносвязанной влаги, тонкодисперсных частиц в мерзлотных почвах

Горизонт, глубина, см	Теплота смачивания (ТС)		Удельная поверх- ность, м <sup>2</sup> /г	Содержание, %		
	кал/г	Дж/г		гумуса	<0,001	<0,01
					мм	
Лугово-черноземная (э.ф.)						
A 2-24	3,80±0,06	15,90±0,06	137,1	6,90	24,2	31,8
B <sub>1</sub> 24-36	2,67±0,08	11,18±0,08	74,7	1,20	27,9	33,4
B <sub>2</sub> 36-68	2,74±0,06	11,47±0,06	99,8	0,76	25,2	65,0
BC 68-100	1,61±0,04	6,74±0,04	50,6	0,62	31,7	46,9
Лугово-черноземная (т.ф.)						
A <sub>d</sub> 0-3	2,44±0,05	10,17±0,05	97,8	2,37	24,6	30,1
A 3-21	4,05±0,10	16,96±0,10	161,1	1,83	29,2	37,9
B 21-65	3,30±0,07	13,82±0,07	116,8	0,58	23,1	34,4
Аллювиальная луговая (а.ф.)						
A 3-10	5,41±0,05	22,65±0,05	176,4	6,95	23,4	44,6
Вса 10-20	4,60±0,08	19,25±0,08	156,7	4,20	28,4	44,2
ВСаа20-55	3,02±0,09	12,64±0,09	99,7	2,14	22,6	43,2
Серая лесная (т.ф.)						
A 3-24	3,27±0,07	13,69±0,07	93,6	6,80	11,9	23,8
B <sub>1</sub> 24-37	2,40±0,11	10,05±0,11	77,8	0,50	15,8	22,3

Наибольшим энергетическим потенциалом, определяемым теплотой смачивания, обладает аллювиальная луговая почва, а наименьшим – серая лесная почва.

#### Глава 4. Физико-механические свойства

**Пределы Аттерберга, пластичность и число пластичности почв.** Физико-механические свойства почв определяются соотношением твердой и жидкой фаз. В зависимости от этого различают следующие состояния: твердое, полутвердое, пластичное и текучее. Аттербергом (Воронин, 1986) при разных соотношениях почва – вода были выделены константы:

- предел текучести (ПТ), разделяющий жидкое состояние от пластичного;

- предел пластичности (ПП), разделяющей пластичное состояние от полутвердого.

Разность между влажностью предела текучести и предела пластичности определяет число пластичности (ЧП).

При определении влажности, соответствующей границе пластичности или пределу текучести (ПТ), было установлено, что величина ПТ в мерзлотных почвах изменялась как по профилю почвы, так и в зависимости от положения их в рельефе. В лугово-черноземной почве на вершине наибольшая влажность ПТ в гумусовом горизонте снижалась с глубиной, с некоторым возрастанием в гор. В2. (табл. 4), что хорошо коррелировало с удельной поверхностью ( $r=0,99$ ).

В лугово-черноземной почве транзитной фации в горизонтах А и В влажность ПТ в 1,1 и в 1,5 раза была выше, чем в соответствующих горизонтах почвы элювиальной позиции. Элювиально-иллювиальные процессы переноса тонкодисперсных частиц, увеличивая адсорбционную влагоемкость почвы, повышали влажность ПТ данной почвы. В связи с этим лугово-черноземная почва транзитной фации может сохранить форму пластичного тела при более высокой влажности, чем почва верхней позиции.

При высокой гумусированности, повышенном содержании физической глины, наибольшая влажность ПТ наблюдалась в аллювиальной луговой почве ( $r=0,71$  и  $0,90$  соответственно).

На фоне однородного гранулометрического состава влажность ПП почвы гумусовых горизонтов варьирует вниз по склону от 24,6 % на вершине до 23,4% в подножии южного склона и определяется количеством физической глины ( $r=0,98$ ). В подгумусовых горизонтах заметное снижение влажности ПП отмечается в лугово-черноземной почве элювиальной фации. При легкосуглинистом гранулометрическом составе серой лесной почвы влажность ПП существенно не отличалась от таковой в почвах южного склона. Поскольку влажность предела пластичности во всех почвах, за исключением подгумусовых горизонтов лугово-черноземной почвы на вершине, изменяется в относительно узком пределе, то число пластичности (ЧП) в большей степени определяется влажностью ПТ (табл. 4). По уровню ЧП в гумусовых горизонтах лугово-черноземная почва относится к пластичной почве, в нижних горизонтах к непластичной. Пластичной также является лугово-черноземная почва транзитной фации. Более высокой пластично-

стью характеризуется аллювиальная луговая почва, низкой – серая лесная почва.

**Прочность почв.** Одной из важнейших механических характеристик дисперсных структур является прочность  $P_m$ . Величина прочности определяет способность системы сопротивляться разрушению под действием приложенных механических напряжений. В структурированных системах силы сцепления в контактах между частицами достаточно велики, чтобы противодействовать внешним воздействиям.

Таблица 4. Пластичность мерзлотных почв

Горизонт, глубина, см	W, %, пт	W, %, пп	Число пластичности (ЧП)	S, см <sup>2</sup> /г
Лугово-черноземная (э.ф.)				
A 2-24	32,3±0,1	24,6±0,2	7,7±0,2	137,1
B <sub>1</sub> 24-36	20,1±0,1	14,9±0,2	5,3±0,2	74,7
B <sub>2</sub> 36-68	24,4±0,1	17,7±0,2	6,7±0,2	99,8
BC 68-100	15,7±0,1	14,3±0,2	1,4±0,1	50,6
Лугово-черноземная (т.ф.)				
A <sub>d</sub> 0-3	26,0±0,1	19,0±0,2	7,0±0,3	97,8
A 3-21	35,3±0,1	22,7±0,1	12,7±0,2	161,1
B 21-65	30,1±0,2	20,2±0,2	9,9±0,3	116,8
Аллювиальная луговая (а.ф.)				
A 3-10	40,9±0,1	23,4±0,1	17,5±0,1	176,4
Bca 10-20	42,6±0,1	23,7±0,2	18,9±0,3	156,7
BCca20-55	33,7±0,2	19,6±0,1	14,1±0,2	99,7
Серая лесная (т.ф.)				
A 3-24	27,4±0,1	21,2±0,2	6,1±0,2	93,6
B <sub>1</sub> 24-37	22,3±0,1	20,7±0,2	1,6±0,2	77,8

Сцепление (жесткость) – это связь между отдельными почвенными частицами, обусловленными жесткими кристаллизационными или смешанными связями. Это основная составляющая сопротивления сдвигу. К ней нередко добавляется явление дилатансии – изменение прочности при деформациях сдвига. Сцепление частиц в поверхностных горизонтах будет заметно повышаться при снижении влажности, уплотнении и увеличении структурированности почв. В бесструктурных почвах сопротивление сдвигу уменьшается, но повышается при увеличении агрегированности, плотности почвы, содерхания корней и уменьшении влажности (Шеин, 2005).

Зависимость пластической прочности межчастичных связей мерзлотных почв от величины сдвиговых напряжений исследованы в состоянии пасты при влажности предела текучести (табл. 5).

Таблица 5. Пластическая прочность мерзлотных почв ( $P_m$ )

Горизонт, глубина, см	$P_m$ , кг/см <sup>2</sup>	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Содержание, %		
				гумуса	фракции	
					<0,01	<0,001
Лугово-черноземная (э.ф.)						
A 2-24	0,49±0,01	137,1	1,25	6,90	31,8	24,2
B <sub>1</sub> 24-36	0,31±0,02	74,7	1,31	1,20	33,4	27,9
B <sub>2</sub> 36-68	0,44±0,02	99,8	1,37	0,76	65,0	42,8
BC 68-100	0,43±0,01	50,6	1,45	0,62	46,9	31,7
Лугово-черноземная (т.ф.)						
A <sub>d</sub> 0-3	0,69±0,01	97,8	0,97	2,37	30,1	24,6
A 3-21	0,61±0,01	161,1	1,21	1,83	37,9	29,2
B 21-65	0,86±0,02	116,8	1,41	0,58	34,4	23,1
Аллювиальная луговая (а.ф.)						
A 3-10	1,69±0,02	176,4	0,86	6,95	44,6	23,4
Bca 10-20	1,32±0,02	156,7	0,97	4,20	44,2	28,4
BCca20-55	1,06±0,05	99,7	1,20	2,14	43,2	22,6
Серая лесная (т.ф.)						
A 3-24	0,63±0,01	93,6	1,65	6,80	23,8	11,9
B <sub>1</sub> 24-37	0,76±0,02	77,8	1,42	0,50	22,3	15,8

Пластическая прочность ( $P_m$ ) мерзлотных почв по профилю изменялась в соответствии ЧП. Количественное выражение  $P_m$  почв на разных фациях зависело от содержания гумуса, гранулометрического состава. Но при одинаковом гранулометрическом составе пластическая прочность лугово-черноземной почвы на вершине и середине склона определялась количеством физической глины. В лугово-черноземной почве эдьювиальной фации наибольшее значение  $P_m$  отмечалось в гумусовом горизонте, снижаясь с глубиной, но возрастая в нижних горизонтах B<sub>2</sub> и BC, что было обусловлено как повышением содержания ила и физической глины, так и сдавливающим эффектом верхней толщи почвы. Об этом можно судить и о возросшей плотности почвы в этих горизонтах.

В лугово-черноземной почве транзитной фации пластическая прочность почвы в органогенных горизонтах выше, чем в почве верхней позиции.

Более высокое значение  $P_m$  в дерновом слое, чем в гор. А может быть обусловлено насыщенностью почвы корнями, увеличивающих сцепление частиц. Пластичность возрастает в горизонте В, хотя количество гумуса и глинистых частиц снижается. Возможно, это обусловлено дилатантным упрочнением межчастичных связей.

Наибольшей пластической прочностью отличается аллювиальная луговая почва в соответствии с высоким значением ЧП при повышенной гумусированности и количеством физической глины.

Реологическое поведение жидко- и твердообразных тел можно четко оценить по так называемым реологическим кривым.

На рисунке 2 приведены зависимости пластической прочности от нагрузки.

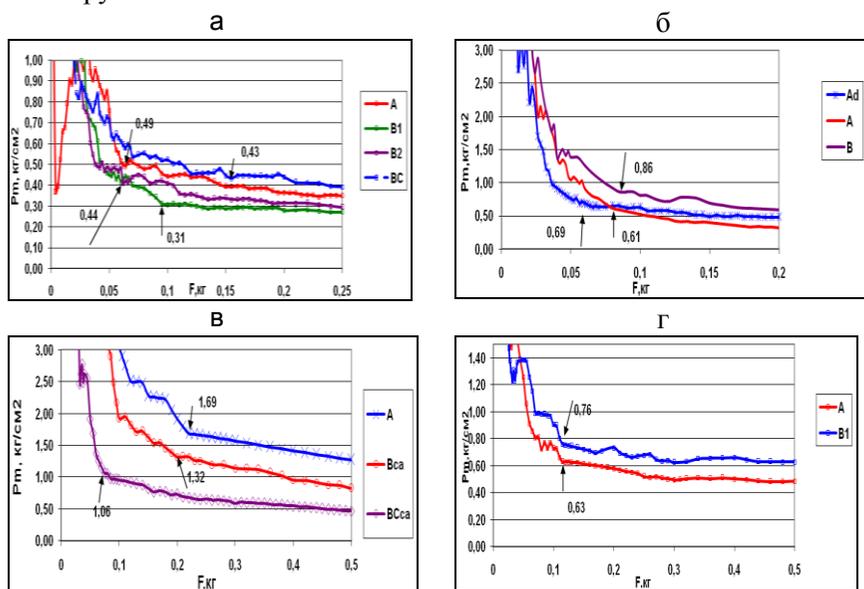


Рис. 2. Зависимость пластической прочности от нагрузки  
Усл. обозн.: а – ЛЧ (э.ф.), б – ЛЧ (т.ф.), в – АЛ (а.ф.), г – СЛ (т.ф. с.э.)

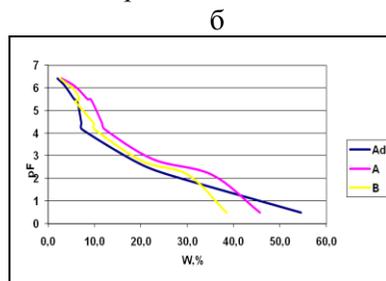
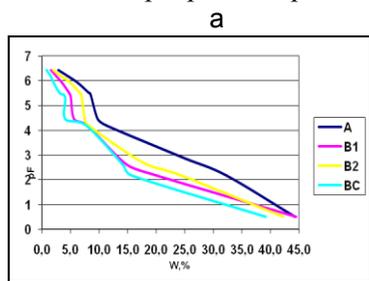
Для почв, находящихся в состоянии, близком к насыщению, характерно появление предельного напряжения сдвига (рис. 2). До максимального значения сдвигового давления почва проявляет упругие свойства и деформируется обратимо. При достижении же этого предела почва начинает «течь». Течение при нарушенной структуре наблюдается с переменной вязкостью, что объясняет зубчатый вид кривой. Полное разрушение структурных связей приводит к необра-

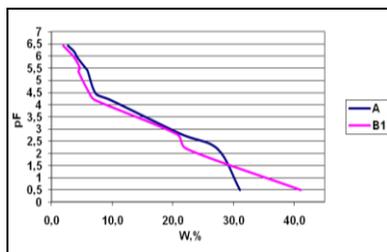
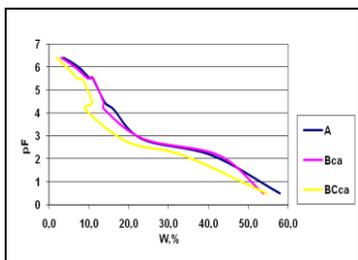
тимой деформации. Эти точки указаны на рисунке. Похожая картина наблюдается в лугово-черноземной почве в середине склона, однако здесь почва выдерживает большие нагрузки, чем лугово-черноземная на вершине, что возможно связано с преобладанием кристаллизационных связей между частицами. Увеличение прочности в гор. В2 (лугово-черноземная почва э.ф.) и В (лугово-черноземная почва т.ф.) характерно для дилатантного уплотнения подгумусовых горизонтов.

В аллювиальной луговой почве аккумулятивной фации прочность почвенных паст уменьшается вниз по профилю в соответствии с содержанием гумуса и физической глины (рис. 2, в). Однако, в целом, прочность выше, чем в других почвах. Возможно, это происходит из-за близких сил взаимодействия и увеличения коагуляционных связей между частицами.

В серой лесной почве транзитной фации (рис. 2, г) кривые идут практически параллельно друг другу и выполаживаются при нагрузке, равной 0,15 кг, что соответствует полному разрушению структурных связей и необратимой деформации. Горизонт В более прочный из-за большей связности почвенных частиц оксидами железа.

**Основная гидрофизическая характеристика.** На рисунке 3 представлены кривые ОГХ (основной гидрофизической характеристики), построенные по результатам изучения свойств мерзлотных почв. Верхняя часть кривой является изотермой десорбции паров воды над солями в диапазоне  $pF$  от 6 до 7 и определяет величину удельной поверхности. В диапазоне от 4 до 6 рассчитывалась максимальная адсорбционная влагоемкость (**МАВ**). По значениям пределов Аттерберга построена средняя часть кривой.





**Рис. 3 Кривые ОГХ: а – ЛЧ (э.ф.), б – ЛЧ (т.ф.), в – АЛ (а.ф.), г – СЛ (т.ф. с.э.).**

Проведя секущие, можно определить максимальную гигроскопическую влажность (**МГ**) и влажность завядания (**ВЗ**). Расчетные величины показаны в таблице 6.

**Таблица 6. Максимальная адсорбционная влагоемкость (МАВ), максимальная гигроскопическая влажность (МГ) и влажность завядания (ВЗ) мерзлотных почв (% от массы сухой почвы)**

Горизонт, глубина, см	МАВ	МГ	ВЗ
Лугово-черноземная (э.ф.)			
А 0-24	24,6	7,6	11,4
В1 24-36	14,9	5,3	8,0
В2 36-68	17,7	5,5	8,2
ВС 68-100	14,3	3,2	7,8
Лугово-черноземная (т.ф.)			
Ad 0-3	19,0	4,9	7,3
А 3-21	22,7	8,1	12,2
В 21-65	22,0	6,7	10,0
Аллювиальная луговая (а.ф.)			
А 3-10	23,4	10,8	16,2
Вса 10-20	23,7	9,2	13,8
ВСса 20-55	19,6	6,0	9,1
Серая лесная (т.ф.) северный склон			
А 9-24	21,2	6,5	9,8
В1 24-37	20,7	4,8	7,2

## Выводы

1. Почвенный покров террасовала на юге Витимского плоскогорья представлен мерзлотными почвами: лугово-черноземной на вершине (элювиальная фация), в транзитной и аккумулятивной фации южного склона – лугово-черноземной и аллювиальной луговой,

на склоне северной экспозиции – серой лесной почвой.

2. Лугово-черноземная почва элювиальной фации, аллювиальная луговая и серая лесная почвы высокогумусные; лугово-черноземная почва транзитной позиции относится к низкогумусной. Профильное распределение гумуса в почвах резко убывающее.

3. Почвы увала хрящеватые с высоким содержанием гравия. Сумма песчаных фракций и крупной пыли в них превышает количество ила в 2-3, в почве северного склона – в 5-6 раз. Гранулометрический состав лугово-черноземной почвы на вершине увала суглинистый с переходом в горизонтах В2 и ВС в легкую глину и тяжелый суглинок. Лугово-черноземная и аллювиальная луговая почвы характеризуются суглинистым гранулометрическим составом, серая лесная почва на северном склоне - легкосуглинистая.

4. Водопрочность агрегатов лугово-черноземной почвы независимо от положения в рельефе оценивается как недостаточно удовлетворительная. Только в органогенных горизонтах аллювиальной луговой и серой лесной почв водопрочность агрегатов характеризуется как удовлетворительная.

5. Гумусовые горизонты почв при невысокой плотности высокопористые (коэффициент пористости 0,97-1,80). С глубиной при повышении содержания тонкодисперсных частиц и при воздействии верхней толщи плотность возрастает до 1,40-1,65 г/см<sup>3</sup>.

6. Величины удельной поверхности и теплоты смачивания взаимообусловлены и варьируют в зависимости от содержания гумуса ( $\tau=0,92$  и  $0,95$  соответственно), а также от количества физической глины ( $\tau=0,97$  и  $0,99$ ). Их значения в почвах убывают вниз по профилю и возрастают в направлении вершина – транзитная – аккумулятивная фация южного склона: УП в гумусовом горизонте увеличивается от 137,1 до 176,4 м<sup>2</sup>/г; ТС – от 15,9 до 22,7 Дж/г. Наименьшие показатели выявлены в серой лесной легкосуглинистой почве – соответственно 93,6 м<sup>2</sup>/г и 13,7 Дж/г.

7. Пределы Аттерберга изменяются в зависимости от величины удельной поверхности ( $\tau=0,96$ ).  $W_{\text{ит}}$  в гумусовых горизонтах почв возрастает от вершины к подножию южного склона от 32,3 до 40,9 %. Наименьшая величина  $W_{\text{ит}}$  отмечена в почве северного склона - 27,4 %. Значение  $W_{\text{ит}}$  в почвах колеблется в интервале – от 18,9 до 24,6 %.

Почвы склона южной экспозиции относятся к пластичным, но аллювиально-луговая почва характеризуется наибольшим показате-

лем ЧП (17,5), серая лесная почва - непластичная.

8. Более устойчивой к сдвиговому напряжению является аллювиальная луговая почва при  $P_m$  в горизонтах А – 1,69;  $V_{Ca}$  – 1,32;  $BC_{Ca}$  – 1,06 кг/см<sup>2</sup>. В гумусовых горизонтах лугово-черноземных почв на разных элементах рельефа и серой лесной почве величина предельного напряжения сдвига в 3, а в подгумусовых – 1,5 раза ниже, чем в аллювиальной луговой почве.

9. На основе изученных свойств построены кривые зависимости ОГХ, характеризующие физическое состояние мерзлотных почв юга Витимского плоскогорья.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. **Дармаева Н.Н.** Структура аллювиальной луговой карбонатной почвы центральной поймы дельты р. Селенги / Д.Д. Хайдапова, Н.Н. Дармаева, В.М. Гончаров В.М., А.Б. Гынинова //Тезисы Всерос. конф. «Биоразнообразии экосистем Внутренней Азии». Улан-Удэ, 2006. С 70.

2. **Дармаева Н.Н.** Пространственная организация и морфология почв криоаридных катен Еравнинской котловины./ О.Д. Нимаева, Н.Н. Дармаева, Н.Б. Бадмаев, //Вестник БГСХА, 2008-№1(10)-С.73-76.

3. **Дармаева Н.Н.** Физические и физико-механические свойства мерзлотной почвы как факторы их агроэкологической оценки./ Н.Н. Дармаева, Н.Б. Бадмаев // Сб мат. Всерос. науч.-практич. конф. «Интеграция науки и сельскохозяйственного производства», г. Пенза 2008, С.110-112.

4. **Дармаева Н.Н.** Физические и физико-механические свойства мерзлотных почв как факторы их агроэкологической устойчивости и потенциального плодородия. /Н.Н. Дармаева, Н.Б. Бадмаев // Вестник БГСХА, 2009-№1(14)-С.22-27.

5. **Дармаева Н.Н.** Физические и физико-механические свойства мерзлотных почв лугово-степной и лугово-лесной катен Еравнинской котловины (Бурятия)./ Н.Н. Дармаева, Н.Б. Бадмаев // Мат. V Междунар. конф. «Разнообразии мерзлотных и сезонно-промерзающих почв и их роль в экосистемах» Улан-Удэ, 2009. С 37.

6. **Дармаева Н.Н.** Агрохимические и физико-механические свойства мерзлотных почв, определяющие их потенциальную устойчивость при сельскохозяйственном использовании./ Н.Н. Дар-

маева, Д.Д. Хайдапова., Н.Б. Бадмаев, О.Д. Нимаева // Агрохимия, 2009-№11-С.16-21.

7. **Дармаева Н.Н.** Плодородие мерзлотного чернозема Еравнинской котловины (Бурятия) и оценка его агроэкологической устойчивости. /Н.Н. Дармаева, Н.Б. Бадмаев, О.Д. Нимаева //Плодородие, 2009-№12- С.42-44.