

На правах рукописи

**ВАШЕСТЮК ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА**

**МИКРОСТРУКТУРА ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ  
ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ)**

25.00.08. – инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский иркутский государственный технический университет» на кафедре прикладной геологии Института недропользования.

**Научный руководитель:** доктор геол.-мин. наук, профессор  
**Рященко Тамара Гурьевна**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор,  
заведующий лабораторией ФГБУН  
Института мерзлотоведения им. П.И.  
Мельникова СО РАН, Якутск  
**Шестернев Дмитрий Михайлович**

кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории  
геоморфологии ФГБУН Института  
географии СО РАН им. В.Б. Сочавы,  
Иркутск  
**Макаров Станислав Александрович**

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет.

Защита состоится 8 апреля 2014 г. в 14 часов в конференц-зале ФГБУН Института земной коры СО РАН на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 при Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института земной коры СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направить по указанному адресу ученому секретарю совета доктору географических наук Г.А. Карнаухова. Тел: (3952) 427182, e-mail: [karnauh@crust.irk.ru](mailto:karnauh@crust.irk.ru)

Автореферат разослан 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 003.022.01  
доктор географических наук

Г.А. Карнаухова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** При инженерно-геологической оценке связных разновидностей дисперсных грунтов, представленных различными геолого-генетическими комплексами (ГГК), параметры микроструктуры (микростроения) рассматриваются как признаки их литогенеза, которые оказывают влияние на целый ряд физико-химических, прочностных и деформационных свойств, отражают генетическую принадлежность отложений, являются корреляторами для их разнообразных группировок, а также позволяют исследовать характер микроструктурных изменений в вертикальном разрезе грунтовой толщи. Вопросам изучения микроструктур глинистых и лессовых грунтов посвящены исследования российских ученых – Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, В.П. Ананьева, В.А. Приклонского, В.И. Осипова, В.Н. Соколова, В.Т. Трофимова, Я.Е. Шаевича, В.А. Королева, И.Ю. Григорьевой, Л.И. Кульчицкого, Ф.Г. Габибова, Г.И. Швецова, Т.Г. Рященко, В.В. Акуловой и др., а также зарубежных коллег – О. Katsutada (Япония), Li-dong, Li-Lan, T-L.Yang, S-L. Gong (Китай) и др.

В связи с тем, что изучение микроструктуры грунтов представляет собой специальный блок информации, которая обычно отсутствует при инженерно-геологических изысканиях, но часто является управляющим фактором при оценке их свойств, можно сделать вывод об актуальности выбранной темы исследований, тем более что они продолжают работы 60-70-х годов прошлого века, когда под руководством В.Д. Ломтадзе и Г.Б. Пальшина на юге Восточной Сибири в пределах Иркутского амфитеатра началось изучение микроструктуры лессовых и глинистых отложений аспирантами Г.И. Домрачевым и Т.Г. Рященко.

**Цель работы:** исследование микроструктуры лессовых и глинистых грунтов ключевых участков юга Восточной Сибири и сопредельных территорий с помощью нового метода «Микроструктура» и выявление влияния микростроения на различные свойства этих грунтов.

### **Задачи исследований.**

1. Выполнить обзор проблемы изучения микроструктуры дисперсных связных грунтов в процессе инженерно-геологических исследований на общенациональном (СССР – Россия), зарубежном и региональном уровнях.

2. Рассмотреть применяемые автором методики определения параметров микроструктуры грунтов и способы обработки полученной информации.

3. Выявить особенности микростроения геолого-генетических комплексов лессовых и глинистых грунтов на примере ключевых участков на юге Восточной Сибири и сопредельных территориях.

4. Используя программу «Стандартная статистика», провести сравнительный анализ параметров микроструктуры грунтов изученных семи объектов.

5. Оценить влияние параметров микроструктуры на физико-химические и прочностные свойства грунтов.

**Объектами исследований** являются образцы дисперсных связных грунтов – глинистые речные (дельта р. Селенги) и разновозрастные озерные (оз. Байкал) донные осадки; лессовые (лессовидные) и глинистые отложения из расчисток-обнажений на острове Ольхон, в Приангарье, Прибайкалье, Забайкалье (коллекции сотрудников Института земной коры СО РАН Т.Г. Рященко, Е.Г. Вологиной, Е.А. Козыревой, О.А. Мазаевой, А.А. Щетникова, А.А. Рыбченко, а также Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН Е.А. Ильичевой и Ю.В. Рыжова). Образцы ключевых участков на сопредельных территориях (Дальний Восток – Угловский и Лучегорский карьеры в Приморье; район г. Биробиджана; Западная Монголия) – это лессовые грунты и глины коллекций Н.И. Беляниной (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН) и Т.Г. Рященко. Используются образцы из инженерно-геологических скважин в районах пос. Балаганка, городов Саянск, Свирск, Биробиджан (материалы ЦЭГИ ИрГТУ), Иркутск (материалы грунтоведческой группы Аналитического центра ИЗК СО РАН). Кроме того,

исследована микроструктура лессов из районов Северо-Западного Китая (г. Ланьчжоу), Франции (г. Страсбург) (коллекция Т.Г. Рященко) и Польши (г. Люблин – Малопольская возвышенность) (коллекция В. А. Пеллинен).

**Исходные материалы.** В основу диссертационной работы положены исследования микроструктуры лессовых и глинистых грунтов ключевых участков, выполненные автором по новому методу «Микроструктура» (изучено более 150 образцов) и методу А.К. Ларионова; представлены РЭМ-изображения типов микроструктуры; использованы результаты лабораторного эксперимента и материалы обработки данных с помощью программ «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ».

**Личный вклад автора.** В процессе подготовки диссертационной работы автор проанализировала опубликованные материалы по проблеме изучения микроструктуры дисперсных грунтов при их инженерно-геологической оценке, реализовала метод «Микроструктура» (методом пипетки выполнила гранулометрический анализ грунтов с тремя способами подготовки образца и провела специальные расчеты для определения 28 микроструктурных параметров) и метод А.К. Ларионова (получила детальный структурный индекс), по образцам-пастам определила набухание, усадку и удельное сцепление, провела лабораторный эксперимент по изучению влияния влажности и микроструктуры на усадку и набухание грунта, составила матрицы данных и выполнила расчеты по программам «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ», установила характер взаимосвязей между параметрами микроструктуры и исследованными свойствами лессовых и глинистых грунтов.

**Методы исследований.** По методу «Микроструктура», разработанному Т.Г. Рященко в грунтоведческой группе Аналитического центра Института земной коры (ИЗК СО РАН), для каждого образца определялись 28 микроструктурных параметров, на основании которых выделялись типы микроструктуры грунта и его структурной модели; по методу А.К. Ларионова устанавливался структурный индекс – классы, подклассы и виды

микроструктуры. Лабораторный эксперимент выполнялся по образцам-пастам, для которых определялись набухание и усадка при разных значениях влажности с учетом особенностей микроструктуры. По программе «Стандартная статистика» рассчитаны статистические параметры для показателей микроструктуры различных групп грунтов; получены графики-дендрограммы корреляционных связей между параметрами микроструктуры, набуханием, усадкой, пластичностью и сцеплением исследованных объектов (программа «Кластер-анализ»).

**Научная новизна** выполненной работы заключается в следующем.

1. Впервые на большом фактическом материале получены комплексные данные о микроструктуре лессовых и глинистых грунтов ключевых участков юга Восточной Сибири и сопредельных территорий, при этом использован новый метод «Микроструктура» в сочетании с определением детального структурного индекса грунта.

2. Выполнен анализ микроструктуры грунтов различных ГГК, донных речных и озерных осадков и погребенных почвенных горизонтов; установлен характер микроструктурных изменений в вертикальном разрезе грунтовой толщи (инженерно-геологические разрезы).

3. Впервые на основе статистической обработки данных о параметрах микроструктуры различных объектов (рассмотрены семь групп образцов), полученных по методу «Микроструктура», проведен их сравнительный анализ и установлены ведущие микроструктурные признаки, которые отражают условия формирования отложений.

4. Одновременно с параметрами микроструктуры определялись показатели набухания, усадки, пластичности и сдвиговой прочности грунта, что позволило впервые количественно оценить их взаимосвязи с помощью кластерного анализа R-типа.

**Практическое значение работы.** Реализация возможностей нового метода «Микроструктура» позволяет рекомендовать его при инженерно-геологических исследованиях как научного, так и производственного

характера. Представленные материалы могут быть использованы в учебном процессе (курс «Грунтоведение» для студентов и аспирантов) при подготовке специалистов в области инженерной геологии и грунтоведения.

**Апробация работы.** Основные положения и отдельные вопросы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: научно-технической конференции факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии «Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований» (Иркутск, ИрГТУ, 2002); Всероссийской научно-технической конференции «Геонауки» факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии «Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований» (Иркутск, ИрГТУ, 2008); XXIII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2009); Всероссийской научно-технической конференции «Геонауки» факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии «Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований» (Иркутск, ИрГТУ, 2009); XIV Международном симпозиуме им. М.А. Усова студентов и молодых ученых (Томск, Томский государственный политехнический университет, 2010); XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2011); Всероссийской научно-технической конференции «Геонауки» Института недропользования «Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований» (Иркутск, НИИрГТУ, 2011); XXV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2013); научной молодежной конференции «Сергеевские чтения» (Москва, РАН, 2013).

**Публикации.** По результатам исследований автором лично и в соавторстве опубликовано 12 работ, в том числе четыре статьи в

рецензируемом журнале, входящем в перечень ВАК (Вестник ИрГТУ), лабораторный практикум и учебное пособие по грунтоведению.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Объём работы – 130 страниц, она содержит 45 рисунков и 21 таблицу; список использованной литературы включает 87 наименований. В первой главе выполнен обзор современного состояния проблемы, во второй рассматриваются методы изучения микроструктуры лессовых и глинистых грунтов ключевых участков, третья посвящена описанию особенностей микроструктуры геолого-генетических комплексов исследованных лессовых и глинистых отложений. Четвертая глава содержит материалы о параметрах микроструктуры (определены по методу «Микроструктура») семи объектов, статистическая обработка которых позволила установить общие и специфические (генетические) для каждого объекта микроструктурные признаки. В пятой главе рассматриваются взаимосвязи параметров микроструктуры с физико-химическими и прочностными свойствами грунтов.

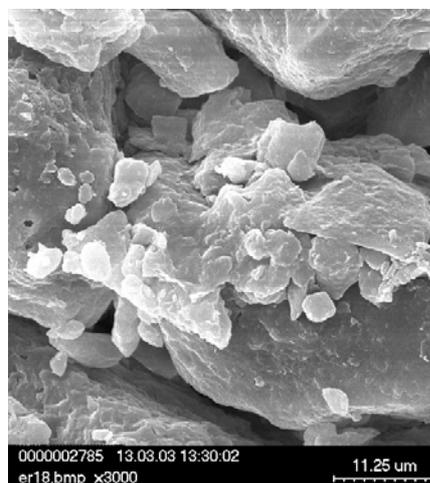
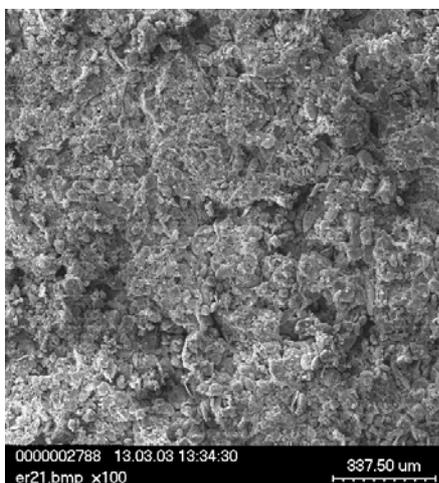
**Благодарности.** Автор искренне благодарен и глубоко признателен научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Т.Г. Рященко. За внимательное отношение, поддержку и помощь при выполнении диссертационной работы автор благодарен всем сотрудникам кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии ИрГТУ и Центра геолого-экологических исследований, особенно профессору И.И. Верховзину, кандидату геолого-минералогических наук Н.Н. Гринь и Т.И. Терпуговой. Кроме того, автор выражает особую благодарность сотрудникам Аналитического центра ИЗК СО РАН кандидатам геолого-минералогических наук В.В. Акуловой, Н.Н. Уховой и С.И. Штельмах за деловые советы, замечания и консультации, а также инженерам Т.Ф. Даниловой, М.В. Даниловой и Т.С. Филёвой за помощь при выполнении аналитических исследований грунтов.

Автор весьма признателен своим родным и близким за искреннюю поддержку во время выполнения диссертационной работы.

## ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Положение 1. Параметры микроструктуры лессовых и глинистых грунтов, полученные по новому методу «Микроструктура» с учетом данных о детальном структурном индексе и электронной микроскопии, являются корреляционно-генетическими признаками выделенных геолого-генетических комплексов (ГГК), к числу которых относятся содержание агрегатов и их разновидностей, первичных крупнопылеватых и тонко-мелкопесчаных частиц, реальная глинистость и коэффициент свободы тонкоглинистой фракции; зоны изменчивости различных микроструктурных параметров в вертикальном разрезе грунтовой толщи определяются литологическим составом (глинистая или лессовая группа) и стратиграфо-генетической принадлежностью.*

Историю изучения микроструктуры лессовых (лессовидных) и глинистых грунтов на юге Восточной Сибири можно разделить на три этапа. На первом (1960–1990 гг.) применялся оптический метод и метод А.К. Ларионова, на втором (1990–2000гг.) впервые получены РЭМ-изображения микроструктуры грунтов региона и Монголии (рис. 1), на третьем (2000–2010 гг.) разработан и успешно реализован новый метод «Микроструктура» (табл. 1). Результаты современного этапа исследований микроструктуры лессовых и глинистых грунтов представлены в настоящей работе [1–5, 7–11].



**Рис. 1.** Агрегированно-скелетная микроструктура лессовидных суглинков ( $dQ_3^3$ ) – карьер «Новоразводная», район г. Иркутска.

Таблица 1

Параметры микроструктуры лессовых и глинистых грунтов  
(метод «Микроструктура»)

Индекс	Параметры, %	Индекс	Параметры, %
A	Общее количество агрегатов	$M^{5-A}$	Частицы в составе агрегатов (0,002–0,001)
$A^1$	Агрегаты – 1–0,25 мм	$M^6$	Первичные частицы – < 0,001 мм
$A^2$	Агрегаты – 0,25–0,05	$M^{6-A}$	Частицы в составе агрегатов (< 0,001)
$A^3$	Агрегаты – 0,05–0,01	$M^7$	Реальное содержание фракции < 0,001 мм
$A^4$	Агрегаты – 0,010–0,002	$M^8$	Реальное содержание фракции < 0,002 мм
$A^5$	Агрегаты – 0,002–0,001	$M^9$	Содержание фракции < 0,002 мм по стандартной гранулометрии
$M^1$	Первичные (свободные) частицы – 1,00–0,25 мм	$K_{гн}$	Коэффициент глинистости ( $M^8 / M^9$ )
$M^2$	Первичные частицы – 0,25–0,05	$M^{11}$	Общее содержание фракции 0,050–0,002 по стандартной гранулометрии
$M^{2-A}$	Частицы в составе агрегатов (0,25–0,05)	$F^1$	Коэффициент свободы фракции 1,00–0,25 мм
$M^3$	Первичные частицы – 0,05–0,01	$F^2$	Коэффициент свободы фракции 0,25–0,05
$M^{3-A}$	Частицы в составе агрегатов (0,05–0,01)	$F^3$	Коэффициент свободы фракции 0,05–0,01
$M^4$	Первичные частицы – 0,010–0,002	$F^4$	Коэффициент свободы фракции 0,010–0,002
$M^{4-A}$	Частицы в составе агрегатов (0,010–0,002)	$F^5$	Коэффициент свободы фракции 0,002–0,001
$M^5$	Первичные частицы – 0,002–0,001	$F^6$	Коэффициент свободы фракции < 0,001 мм

При изучении микроструктуры различных геолого-генетических комплексов (ГГК) отложений установлены структурные индексы (по А.К. Ларионову) и одновременно получены данные по методу «Микроструктура».

При сравнении результатов установлено их сходство, поэтому «забытый» метод А.К. Ларионова в сочетании с новым методом «Микроструктура» мы рекомендуем для оперативной оценки микростроения глинистых и лессовых грунтов при инженерно-геологических исследованиях.

Микроструктурные признаки различных ГГК (метод «Микроструктура») показаны на примере представительных образцов. Глинистые грунты относятся к пяти ГГК ( $dQ_4$ ,  $aQ_3$ ,  $pdQ$ ,  $e/vl$ ,  $lN$ ) и древней (казанцевской) погребенной почве (ппг2) (табл. 2, рис. 2), лессовые – к трем ГГК ( $pQ_3$ ,  $dQ_3$ ,  $vQ_{3-4}$ ) и погребенной почве (табл. 3); лессы моногенетичны ( $vQ_3$ ) (табл. 3).

Сравнительный анализ десяти параметров микроструктуры образцов глинистых и лессовых грунтов различных ГГК, а также погребенных почв показал, что имеются признаки их сходства и различия, к числу которых относятся содержание агрегатов и их разновидностей, первичных крупнопылеватых и тонко-мелкопесчаных частиц, реальная глинистость и коэффициент свободы тонкоглинистой фракции. Например, для озерного комплекса ( $lN$ ) отмечается максимум агрегатов, повышенное содержание мелкопылеватых и пониженное крупнопылеватых первичных частиц, максимальная реальная глинистость (табл. 2). Эоловые лессы (табл. 4) имеют черты сходства с лессовидными делювиальными (Верхнее Приангарье –  $dQ_3$ ) и эоловыми (Прибайкалье –  $vQ_{3-4}$ ) отложениями (табл. 3), что подтверждает периодическое участие эолового фактора при формировании делювиальных покровов ангарских террас; для пролювия Забайкалья этот фактор исключается, поскольку для него характерны иные признаки микроструктуры [9].

При исследовании параметров микроструктуры в вертикальном разрезе грунтовых толщ (разрезы «Саянск» – аллювиальный современный комплекс; «Иркутск», «Мальта» – полигенетические толщи; «Биробиджан» – озерный палеоген-неогеновый комплекс) выявлены зоны их изменчивости, определяемые литологическим составом (лессовые или глинистые грунты) и генетической принадлежностью.

Таблица 2

## Параметры микроструктуры глинистых грунтов различных ГГК

№ образца-глубина, м	ГГК	A	A <sup>2</sup>	A <sup>3</sup>	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>4</sup>	M <sup>7</sup>	F <sup>6</sup>	M <sup>8</sup>	K <sub>гл</sub>
1817–5,3	dQ <sub>4</sub>	28,8	7,8	12,2	37,5	24,0	21,3	27,9	7	33,0	7,7
10–13,5	aQ <sub>3</sub>	13,6	1,9	1,9	20,4	50,7	9,0	14,1	15	16,4	2,6
5–8,1	pdQ	29,5	23,7	1,0	3,9	55,3	7,4	28,9	8	33,3	1,5
2–9,2	e/vl	29,7	4,5	20,2	6,6	40,2	17,8	27,6	1	33,9	6,5
11–6,0	ппг2	28,2	15,1	8,5	14,4	37,0	10,5	21,8	10	26,6	2,7
09–1,5	IN	53,8	13,3	27,0	29,1	10,6	25,0	49,6	3	56,9	17,2

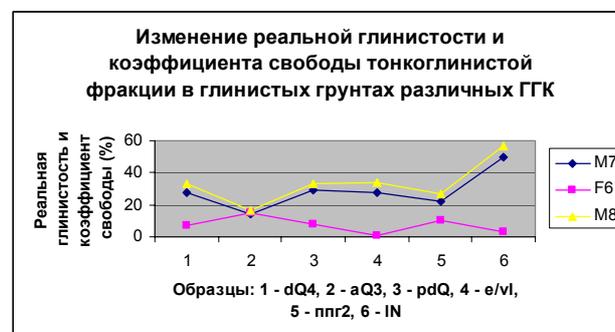
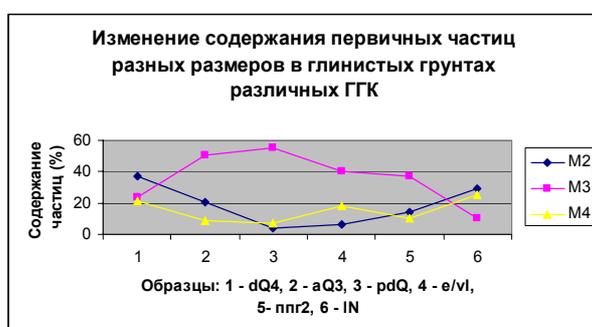


Рис. 2. Изменение параметров микроструктуры в глинистых грунтах.

Таблица 3

## Параметры микроструктуры лессовых грунтов различных ГГК

№ образца-глубина, м	ГГК	A	A <sup>2</sup>	A <sup>3</sup>	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>4</sup>	M <sup>7</sup>	F <sup>6</sup>	M <sup>8</sup>	K <sub>гл</sub>
2E–0,8	pQ <sub>3</sub>	20,3	10,3	0,0	41,1	23,9	1,5	3,0	45	12,2	3,1
10–2,0	dQ <sub>3</sub>	20,3	18,1	0,0	20,6	58,1	0,1	10,2	1	11,6	2,4
10–5,0	ппг	26,8	15,9	10,2	20,5	43,8	5,9	21,7	3	23,9	1,8
05–1,5	vQ <sub>3-4</sub>	17,1	16,6	0,0	20,5	59,7	1,2	9,4	11	10,2	2,6
4P–1,5	vQ <sub>3-4</sub>	13,9	12,1	0,0	25,8	56,3	1,6	6,8	16	7,9	3,0

Таблица 4

Параметры микроструктуры лессов (vQ<sub>3</sub> – lss)

Образец	A	A <sup>2</sup>	A <sup>3</sup>	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>4</sup>	M <sup>7</sup>	F <sup>6</sup>	M <sup>8</sup>	K <sub>гл</sub>
КЛ–40 (19)	14,2	10,8	0,0	8,3	69,6	2,8	8,6	28	9,8	1,5
ПЛ–1 (20)	61,3	61,0	0,0	13,5	21,7	2,7	18,9	1	19,5	7,2
ПЛ–2	14,9	14,2	0,0	19,1	63,7	1,3	12,7	6	15,0	3,9
Китай*	21,4	14,8	3,7	12,0	41,0	7,3	10,8	21	13,5	-

КЛ-40 – Франция; ПЛ-1, ПЛ-2 – Польша; \*приведены средние значения по девяти образцам.

Например, в разрезе «Иркутск» положительный пик по общему количеству агрегатов фиксируется в лессовой толще в интервале 9,5–14,0 м за счет крупнопылеватых разновидностей, которые относятся к эпигенетическим образованиям, связанным с палеокриогенными воздействиями, в то время как тонко-мелкопесчаные агрегаты имеют эоловое происхождение и поэтому являются сингенетическими. В разрезе «Биробиджан» к признакам озерного происхождения глин относятся содержание тонко-мелкопесчаных агрегатов и мелкопылеватых первичных частиц, распределение которых относительно стабильно.

***Положение 2.** Создание своеобразного информационного банка, который включает данные по десяти микроструктурным параметрам семи различных объектов, объединяющих ГГК лессовых и глинистых грунтов, донные речные и озерные глинистые осадки, и получение основных статистических показателей являются основой для выявления общих и специфических микроструктурных особенностей исследованных группировок, что отражает условия их формирования.*

Для всей совокупности образцов (n=91), которая включала семь групп (донные глинистые речные и разновозрастные озерные осадки, лессовые грунты Иркутска, Приморья, Монголии, глины из района г. Биробиджана) выполнена статистическая обработка данных (метод «Микроструктура» – десять параметров), установлены общие особенности микростроения исследованных грунтов и выделены параметры с наибольшей изменчивостью (табл. 5, рис. 3). Установлено, что разнообразное сообщество грунтов характеризуется агрегированностью (преобладает скелетно-агрегированная микроструктура) и пылеватостью (господствует первичная крупная пыль); среди агрегатов преобладают тонко-мелкопесчаные и крупнопылеватые, однако их содержание изменяется в широком диапазоне. Выделены признаки, имеющие максимальную разнородность распределения: тонко-

мелкопесчаные агрегаты, коэффициент глинистости, первичные тонко-мелкопесчаные частицы и коэффициент свободы тонкоглинистой фракции.

Таблица 5

Результаты статистической обработки данных о параметрах микроструктуры глинистых и лессовых грунтов по общей выборке (n=91)

П	Параметры микроструктуры (%)									
	A	A <sup>2</sup>	A <sup>3</sup>	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>4</sup>	M <sup>7</sup>	F <sup>6</sup>	M <sup>8</sup>	K <sub>гл</sub> *
X <sub>ср</sub>	26	11	12	16	30	17	20	18	26	3
X <sub>min</sub>	6,5	0	0	0,3	0	0,4	0	0	2,1	1,1
X <sub>max</sub>	52,3	47,8	35,4	65,5	62,7	36,8	55,5	78,0	64,8	21,0
σ	10,92	9,18	8,25	15,60	14,84	8,18	13,50	18,96	14,00	2,77
V, %	43	82	72	96	50	48	68	104	57	90
θ	8,85	7,12	6,63	11,57	13,00	6,57	10,56	15,47	12,09	1,62
M <sub>d</sub>	23	10	11	11	27	19	17	11	22	2

Примечание. П – статистические показатели: X<sub>ср</sub>, X<sub>min</sub>, X<sub>max</sub> – среднее, минимальное и максимальное значения параметра микроструктуры; σ – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации; θ – среднее отклонение; M<sub>d</sub> – медиана; n – количество образцов; \* коэффициент глинистости в долях единицы.

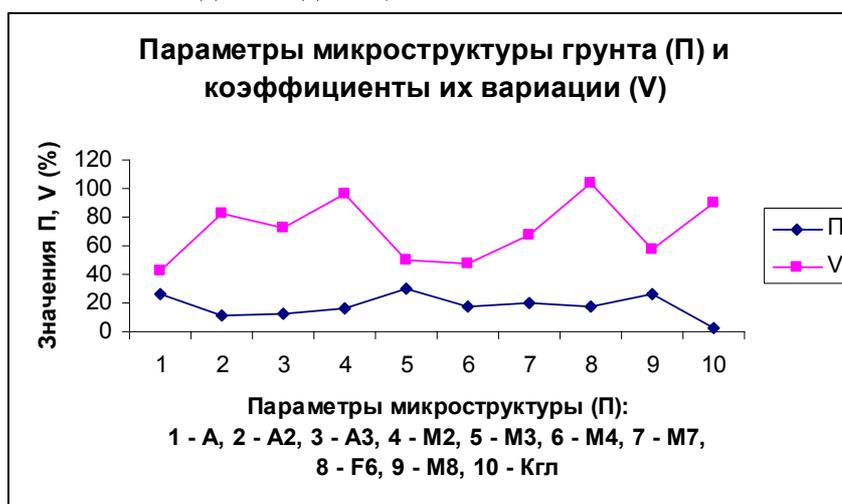
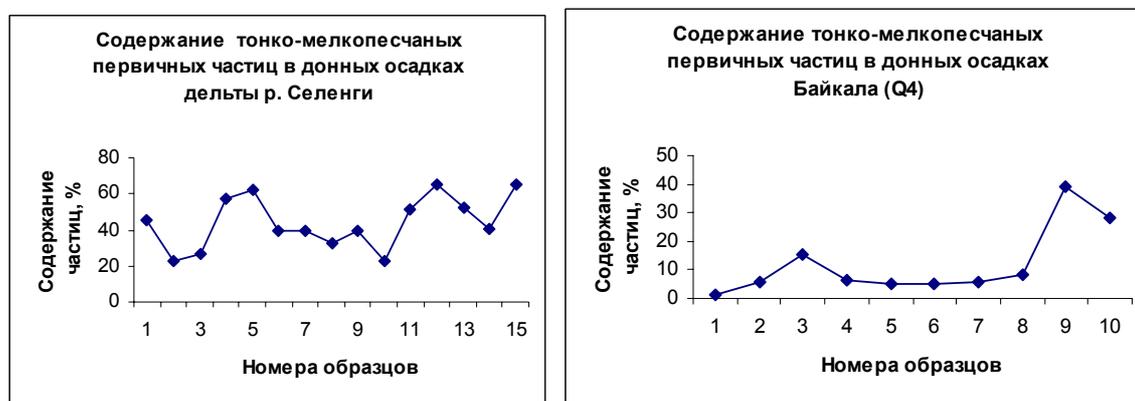


Рис. 3. Характер распределения параметров микроструктуры в глинистых и лессовых грунтах по данным общей выборки (n=91).

Донные речные и озерные осадки. Речные осадки (дельта Селенги) относительно стабильны по содержанию агрегатов и первичных тонко-мелкопесчаных частиц, остальные параметры микроструктуры имеют разнородное распределение (V=53–175 %). В озерных осадках (образцы в интервале 0–100 см, Байкал – Академический хребет, коллекция Е.Г. Вологиной) отмечается стабильное распределение содержания первичных

мелкопылеватых частиц и реальной глинистости; для голоценовых илов установлен агрегированно-скелетный тип микроструктуры, плейстоценовых глин – скелетно-агрегированный. Одним из факторов указанных различий является, вероятнее всего, гидродинамический режим аккумуляции осадков в речной дельте и озере (рис. 4).

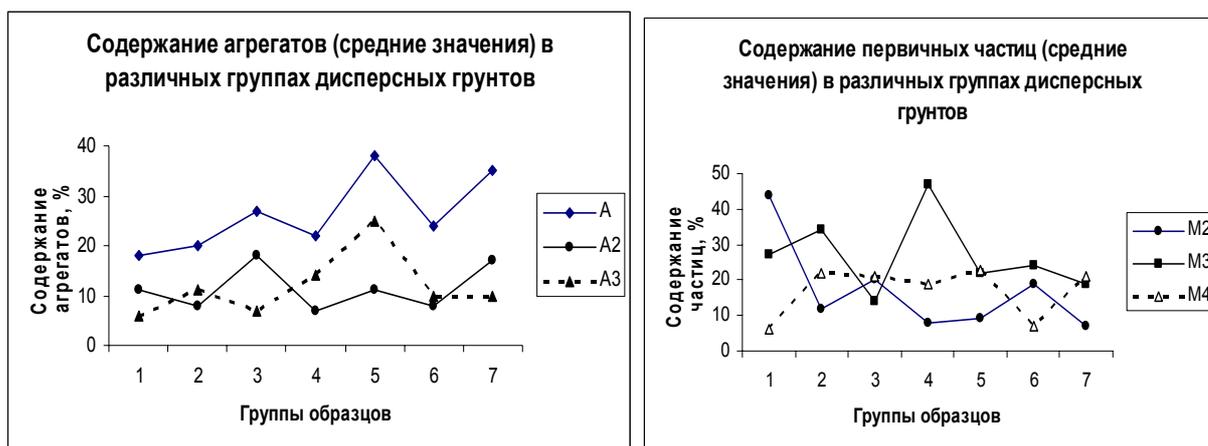


**Рис. 4.** Содержание первичных частиц (0,25–0,05 мм) в речных и озерных осадках.

*Лессовые грунты.* Характерные особенности тренда в распределении параметров микроструктуры заключаются в разнородности содержания тонко-мелкопесчаных агрегатов и стабильности общей агрегированности.

*Глины (район г. Биробиджана).* Максимальный тренд имеет содержание крупнопылеватых агрегатов и тонко-мелкопесчаных первичных частиц ( $V=70-78\%$ ). Относительно равномерно распределены микроструктурные параметры, связанные с глинистой составляющей ( $M^7, M^8$ ) ( $V=20-25\%$ ), что является генетическим признаком озерных образований.

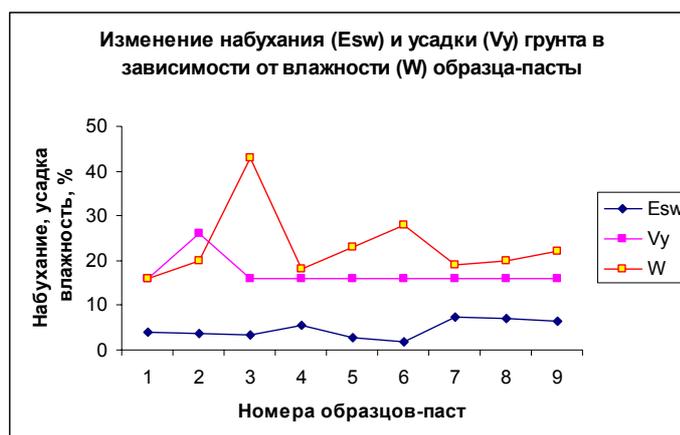
Общая картина изменчивости параметров по группам представлена на графиках (рис. 5).



**Рис. 5.** Изменчивость содержания агрегатов и первичных частиц.

***Положение 3.** Прогнозная роль микроструктуры лессовых и глинистых грунтов при их инженерно-геологической оценке заключается в том, что ее параметры оказывают влияние на физико-химические и прочностные свойства, что подтверждается данными проведенного лабораторного эксперимента и результатами количественных характеристик их взаимосвязей: пластичность, набухание и усадка имеют собственные факторы влияния; сцепление определяется параметрами микроструктуры, связанными со степенью агрегированности, величиной реальной глинистости и содержанием первичных мелкопылеватых частиц и крупнопылеватых агрегатов.*

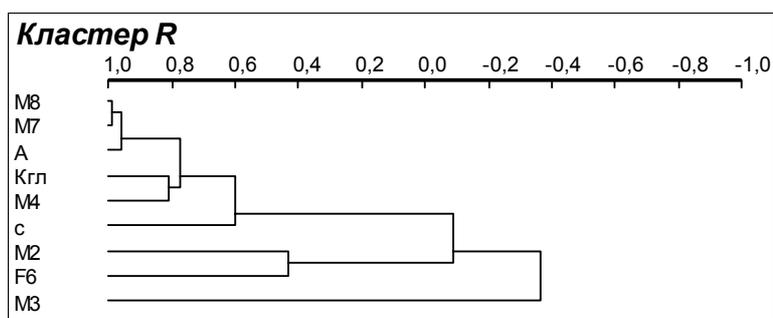
Микроструктура и физико-химические свойства. По результатам лабораторного эксперимента установлено, что изменение влажности пасты обратно пропорционально ее набуханию, прямых взаимосвязей усадки и набухания не замечено; изменение влажности пасты практически не повлияло на величину ее усадки, что, возможно, связано с особенностями микроструктуры грунта (много крупнопылеватых агрегатов и первичных частиц того же размера, что способствует плотной упаковке структурных элементов) (рис. 6).



**Рис. 6.** Изменение набухания и усадки грунта (лабораторный эксперимент).

Выполнены различные варианты расчетов для количественной оценки взаимосвязей набухания, усадки и пластичности с микроструктурными параметрами (метод «Микроструктура»). На основании многочисленных дендрограмм установлено, что пластичность, набухание и усадка не обнаруживают существенных или заметных взаимосвязей, они имеют свои факторы влияния: пластичность связана с реальной глинистостью грунта (M8), набухание – с реальной глинистостью и степенью агрегированности (M7, M8, A, Kгл), усадка – с коэффициентом свободы тонкоглинистой фракции (F6).

Удельное сцепление и параметры микроструктуры. Исследовались две группы объектов: первая включала 25 образцов-паст, вторая – 21 монолит. Для матрицы были выбраны десять микроструктурных параметров: A, A2, A3, M2, M3, M4, M7, F6, M8, Kгл. В результате расчетов установлено, что факторы прочности образцов-паст представлены группой признаков, характеризующих степень агрегированности грунта – это общее число агрегатов, коэффициент глинистости и реальное содержание глинистых частиц, а также количество мелкопылеватых первичных фракций; за пределами влияния оказались тонко-мелкопесчаные (M2) и крупно-пылеватые (M3) элементы и коэффициент свободы тонкоглинистой фракции (F6) (рис. 7).



**Рис. 7.** Взаимосвязи сцепления и параметров микроструктуры образцов-паст (n=25, m=9).

Для монолитов предварительно была проведена статистическая обработка данных и установлено, что только четыре параметра имеют значительный тренд ( $V=54-88\%$ ), остальные изменяются слабо ( $V=19-32\%$ ). В результате на дендрограмме связи сцепления с M4, A3, M3 становятся незначительными (коэффициент корреляции 0,15–0,25). Следовательно, при относительно однородной выборке показателей оценить их взаимосвязи затруднительно. Составлена общая матрица для образцов-паст и образцов-монолитов; дендрограмма оказалась аналогичной построенной с теми же признаками только для образцов-паст: коэффициенты корреляции в группе «сцепления» находятся в пределах 0,38–0,98 для общей матрицы (n=46) и в пределах 0,50–0,98 для образцов-паст (n=25).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе использования нового метода «Микроструктура» создан информационный банк данных по ключевым участкам.

При сравнительном анализе микроструктурных параметров лессовых (лессовидных) и глинистых отложений геолого-генетических комплексов выявлены признаки различия и сходства: количество агрегатов и их разновидностей, содержание первичных частиц определенных размеров, реальная глинистость.

Впервые получены и статистически обработаны данные о десяти параметрах микроструктуры семи объектов (91 образец); к общим признакам относятся агрегированность и преобладание первичных крупнопылеватых

фракций, остальные параметры имеют значительный тренд, что отражает условия формирования исследованных групп отложений.

Результаты лабораторного эксперимента, количественная оценка взаимосвязей свойств грунтов с параметрами их микроструктуры показали, что усадка связана с коэффициентом свободы тонкоглинистой фракции, набухание – с реальной глинистостью, пластичность – с общим количеством агрегатов и реальной глинистостью, сцепление – с агрегированностью и содержанием мелкопылеватых первичных частиц и агрегатов.

### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.**

#### В рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК России:

1. Чернышова (Вашестюк) Ю.В. Методы изучения микроструктуры дисперсных грунтов / Рященко Т.Г., Чернышова (Вашестюк) Ю.В. // Вестник ИрГТУ. – 2009. – № 1 (37). – С. 34–38.
2. Чернышова (Вашестюк) Ю.В. Микроструктура и физико-химические свойства глинистых грунтов (опыт применения кластерного анализа) / Рященко Т.Г., Чернышова (Вашестюк) Ю.В. // Вестник ИрГТУ. – 2010. – № 4 (44). – С. 41–44.
3. Вашестюк Ю.В. Сравнительный анализ параметров микроструктуры глинистых и лессовых грунтов (программа «Стандартная статистика») / Рященко Т.Г., Вашестюк Ю.В. // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 9. – С. 64–72.
4. Вашестюк Ю.В. Сравнительная характеристика микроструктуры и глинистых минералов полигенетических лессовидных отложений и эоловых лессов / Рященко Т.Г., Вашестюк Ю.В. // Вестник ИрГТУ. – 2012. – № 6. – С. 43–48.

#### В научных сборниках и материалах конференций:

5. Чернышова (Вашестюк) Ю.В. Микроструктура донных осадков дельты р. Селенги и лессовых и глинистых грунтов различных геолого-генетических комплексов (новый метод структурных диаграмм) / Чернышова (Вашестюк) Ю.В. // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXIII Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. – С. 256–258
6. Чернышова (Вашестюк) Ю.В. Набухание и усадка дисперсных грунтов (лабораторный эксперимент) / Чернышова (Вашестюк) Ю.В., Рященко Т.Г. // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. Сборник избранных трудов научно-технической конференции. Вып. 9. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – С. 138–143.
7. Чернышова (Вашестюк) Ю.В. Микроструктура дисперсных грунтов: методы и результаты изучения (на примере ключевых участков в Прибайкалье) / Чернышова (Вашестюк) Ю.В. // Проблемы геологии и освоения недр. Т.1. Тр. XIV междунар. симпозиума им. М.А. Ухова студентов и

молодых ученых. – Томск: Изд-во Томского Политехнического ун-та, 2010. – С.287–289.

8. Вашестюк Ю.В. Этапы изучения микроструктуры лессовых и глинистых грунтов юга Восточной Сибири / Вашестюк Ю.В. // Строение литосферы и геодинамика. – Иркутск, ИЗК СО РАН, 2011. – С 135–136.

9. Вашестюк Ю.В. Микроструктура дисперсных грунтов циклично построенных разрезов (на примере разреза «Нижняя Буланка», Забайкалье) / Вашестюк Ю.В. // Строение литосферы и геодинамика. – Иркутск, ИЗК СО РАН, 2013. – С 111–113.

10. Вашестюк Ю.В. Взаимосвязи микроструктуры и свойств глинистых грунтов (опыт применения кластерного анализа) / Вашестюк Ю.В., Рященко Т.Г. // Сергеевские чтения. Вып. 15. – М.: РУДН, 2013. – С 18–23

Учебные пособия:

11. Вашестюк Ю.В. Грунтоведение. Определение показателей физического состояния, состава и свойств дисперсных грунтов (глинистых, лессовых и песчаных): лаборат. практикум / Рященко Т.Г., Гринь Н.Н., Вашестюк Ю.В. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – 40 с.

12. Вашестюк Ю.В. Грунтоведение: учебное пособие / Рященко Т.Г., Гринь Н.Н., Вашестюк Ю.В. – Иркутск Изд-во ИрГТУ, 2013. – 124 с.