

На правах рукописи

*Е. Белоусова*

**Белоусова Елена Николаевна**

**ФОРМИРОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ  
ПОЧВ ЭЛЮВИАЛЬНОГО РЯДА ЗОНЫ ТРАВЯНЫХ ЛЕСОВ  
ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ**

03.00.27 – почвоведение

**Автореферат**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**Красноярск – 2005**

Работа выполнена на кафедре почвоведения и агрохимии агрономического факультета в ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Научный руководитель

– доктор биологических наук, профессор  
Чупрова Валентина Владимировна

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук  
Крупкин Петр Иванович;

доктор биологических наук  
Ведрова Эстелла Федоровна

Ведущая организация

– Томский государственный университет

Защита диссертации состоится « 11 » ноября 2005 г. в 12 ч на заседании диссертационного совета Д 220.037.01 при ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660049, г. Красноярск, проспект Мира, 90. Факс: (3912) 27-86-52.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан « 8 » октября 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Полонская Д.Е.

2006-4  
16538

2184532

**Актуальность темы.** Структурное состояние почвы – один из важнейших факторов ее экологической устойчивости и плодородия. Познание генезиса почвенного агрегата является необходимой научной предпосылкой для разработки приемов сохранения агрономически ценной, стабильной структуры. Исследование закономерностей формирования элементов почвенной структуры отнесено к одной из труднейших проблем научного почвоведения (Антипов-Каратаев, 1948; Келлерман, 1959; Кузнецова, 1966; Воронин, 1984; Гумматов, Пачепский, 1991; Зубкова, Карпачевский, 2001). К настоящему времени еще нет исчерпывающего научного объяснения механизмов формирования и устойчивости почвенной структуры (Шеин, 2003). Особое внимание этот вопрос приобретает в связи с агрогенным воздействием на почву. Это влияние отражается на одном из основных факторов структурообразования – органическом веществе, а следовательно, и на агрегатном уровне организации почвы. Идея об определяющей роли органического вещества в образовании почвенной структуры подтверждена исследованиями Н.И.Саввинова (1931), И.В.Тюрина (1949), Д.С.Орлова (1992), И.В.Кузнецовой (1966, 1994). Однако почти отсутствуют материалы о реакции почвенного агрегата на сезонный ритм превращения гумусовых веществ. Особенно мало работ, отражающих сезонную динамику структурно-агрегатного состояния почв под сельскохозяйственными культурами в условиях агрохимической мелиорации.

Сведения по оценке структурно-агрегатного состояния, динамике водопрочности структурных компонентов и механизмам их формирования в почвах земледельческой территории Красноярского края малочисленны. Недостаточность информации по обозначенному кругу вопросов определила постановку настоящих исследований.

**Цель работы** – изучить динамику структурного состояния и выяснить роль процессов трансформации подвижного органического вещества в формировании водопрочных агрегатов почв зоны травяных лесов Приенисейской Сибири.

#### **Основные задачи:**

1. Оценить влияние влажности почвы и гранулометрического состава на процессы образования и динамику макроструктурных компонентов в условиях целины и агрогенного воздействия.

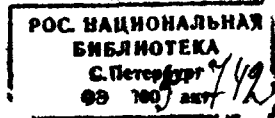
2. Исследовать влияние минеральных удобрений и белитовой муки на агрегатообразование и его динамику.

3. Оценить влияние ритма превращений компонентов органического вещества под различными сельскохозяйственными культурами и целиной на динамику водопрочности агрегатов.

4. Выявить особенности воздействия минеральных удобрений и белитовой муки на трансформацию органического вещества и влияние этого процесса на образование водоустойчивых агрегатов.

#### **Защищаемые положения**

1. Образование и динамика структурных макроагрегатов в почвах элювиального ряда определяется колеблемостью полевой влажности. Степень и на-



правленность ее участия связана с гранулометрическим составом почв и уровнем агрогенного воздействия.

2. Роль компонентов органического вещества в динамике водопрочных агрегатов носит неустойчивый характер и подчинена процессам его трансформации.

3. Внесение минеральных удобрений обуславливает количественные изменения в системе "органическое вещество почвы → водопрочность агрегатов". На фоне известкования способ структурной организации восстанавливается.

**Научная новизна.** Получены новые материалы по динамике структурного состояния почв элювиального ряда зоны травяных лесов Приенисейской Сибири. Найденны зависимости изменчивости макроструктуры от уровня полевой влажности почв и гранулометрического состава. Показано, что динамика водопрочности почвенных агрегатов определяется ритмом превращений подвижных компонентов органического вещества. Установлено, что внесение минеральных удобрений снижает степень участия компонентов органического вещества в динамике водопрочности почвенных агрегатов. Использование минеральных туков на фоне белитовой муки обнаружило коагулирующее действие кальций-органических соединений в 20-40 см слое агроцепозов многолетних трав. Для почв подзолистого ряда выявлена роль фракции размером <0,25 мм (выделенной при мокром просеивании) как депонента органического вещества и индикатора динамики процессов образования-разрушения почвенного агрегата.

**Практическая значимость.** Созданы математические модели, которые могут быть использованы для мониторинга влияния входных факторов на динамику структурного состояния почвенной системы. Выявленные изменения структурного состояния почвы в условиях агрохимической мелиорации позволяют рационально поддерживать состояние органического вещества в пахотных почвах и обеспечивать «статус» почвенного агрегата. Материалы работы используются в учебном процессе по курсу почвоведения в Красноярском государственном аграрном университете.

**Апробация работы.** Материалы диссертации опубликованы в 6 работах, а также доложены и обсуждены на международных научных конференциях: «Ломоносов – 2001» (Москва, 2001), «Экология Южной Сибири – 2001» (Абакан, 2001), «Ломоносов – 2002» (Москва, 2002), «Фундаментальные физические исследования в почвоведении и мелиорации» (Москва, 2003); на семинарах кафедры почвоведения и агрохимии (2001, 2002, 2003); на заседании Красноярского отделения Докучаевского общества почвоведов (2005).

**Работа выполнена** при поддержке Красноярского краевого фонда науки – 13G112 (индивидуальный грант), а также фонда "Интеграция" (грант 0145).

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 224 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, выводов и 13 приложений. Содержит 31 таблицу и 50 рисунков. Список литературы включает 311 источников, в том числе 28 иностранных авторов.

**Личный вклад автора** состоит в анализе и обобщении собранного материала, статистической обработке и интерпретации фактических данных.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность своему учителю и научному руководителю, д-ру биол. наук, профессору В.В. Чупровой, а также канд. биол. наук Ю.Н. Трубникову, канд. биол. наук О.А.Ульяновой и д-ру с.-х. наук, профессору Ю.П. Танделову за помощь в проведении экспериментальных работ.

## Глава 1 Обзор литературы

В главе обсуждаются возможные гипотезы структурообразования (Виленский Д.Г., 1937; Тюлин А.Ф., 1946; Антипов-Каратаев и др., 1948; Келлерман В.В., 1948; Вильямс В.Р., 1949; Гедройц К.К., 1955; Вершинин П.В., 1959; Дояренко А.Г., 1963; Качинский, Н.А., 1965; Ревут И.Б., 1972; Воронин А.Д., 1984, 1986; Данилова, 1991, 1994; Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О., 2001, 2004). Публикации, касающиеся оценки вклада гумуса в агрегатообразование и придания педам свойства водопрочности, немногочисленны (Плотников А.А., 1960, 1961; Кузнецова И.В., 1966, 1994; Хан Д.В., 1969; Шинкарев А.А., Перепелкина Е.Б., 1994, 1997, 1999; Милановский Е.Ю., Шеин Е.В., 1993, 2002, 2003), а для условий земледельческой территории Красноярского края – единичны (Кураченко Н.Л., 1997, 2001).

## Глава 2 Объекты и методы исследований

### 2.1. Объекты исследований

Исследования проводились на многолетнем полевом стационаре-лаборатории агропочвоведения Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства (КНИИСХ), который размещен на территории землепользования ТОО «Зареченское» Тюхтетского района, в пределах зоны травяных лесов Ачинского округа Красноярского края (56<sup>0</sup>с.ш. и 88<sup>0</sup>в.д.). Описание особенностей рельефа, почвообразующих пород, растительности и климата приведено по работам А.А.Ерохиной, М.В.Кириллова (1962), Н.П.Брициной (1962), Н.Н.Галахова (1962), Е.Л.Любимовой (1962), М.В.Кириллова (1963), Б.Н.Лиханова (1964), С.Л.Кушева, Б.Н.Леонова (1964), Н.В.Орловского (1971), Г.М.Сергеева (1971), Ю.И.Ершова (1999), П.И.Крупкина с соавт. (1999).

В годы исследований распределение тепла и влаги было неодинаковым. За летний период 2000 года (май-август) сумма осадков составила 294 мм; в 2001 году – 207 мм. Среднемесячные температуры воздуха в 2000 году составили в июне – 17,4<sup>0</sup>, июле 17,3<sup>0</sup>, августе – 16,7<sup>0</sup>; в 2001 году: в июне – 18,1<sup>0</sup>, июле – 16,3<sup>0</sup>, августе – 17,9<sup>0</sup>. Названные климатические показатели в целом соответствуют характеру этой природной зоны.

Объекты исследований – дерново-глубокоподзолистая поверхностнослабогумусовая легкосуглинистая и светло-серая лесная глубоковскипающая среднеспособная тяжелосуглинистая почвы.

На дерново-подзолистой почве схема опыта представлена следующими вариантами: 1) целина; 2) чистый бессменный пар; 3) зерновые культуры (яровая

пшеница, овес); 4) многолетние травы без удобрений: костреч безостый (*Bromus inermis*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*), тимофеевка обыкновенная (*Phleum pratensis*) и клевер белый (*Trifolium alba*); 5) многолетние травы с использованием минеральных удобрений -  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ; 6) многолетние травы с использованием минеральных удобрений на известкованном фоне -  $N_{90}P_{90}K_{90}$  + белитовая мука (б.м.). Доза внесения каждого вида удобрений составила 90 кг/га д.в. Азотные туки представлсны аммиачной селитрой, фосфорные – двойным суперфосфатом, калийные – хлористым калием. В качестве известьсодержащего мелиоранта использована белитовая мука с дозой внесения – 9 т/га.

Эти варианты изучали в условиях девятипольного севооборота: пар – озимая рожь – ячмень + клевер – клевер 1 г.и\* – клевер 2 г.и. – лен – яровая пшеница – овес – травы 1 г.и. (\* - год использования). Повторность в опыте трехкратная. Площадь делянки – 50 м<sup>2</sup>.

На светло-серой лесной почве схема опыта включала варианты: 1) целина; 2) чистый бессменный пар; 3) зерновые культуры без удобрений; 4) зерновые культуры с применением минеральных удобрений -  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ; 5) зерновые культуры с применением минеральных удобрений на фоне известкования -  $N_{90}P_{90}K_{90}$  + б.м.; 6) многолетние травы без удобрений; 7) многолетние травы с применением минеральных удобрений -  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ; 8) многолетние травы с применением минеральных удобрений на фоне известкования -  $N_{90}P_{90}K_{90}$  + б.м. Повторность в опыте трехкратная. Площадь делянки – 40 м<sup>2</sup>. Целинные участки, представленные злаково-бобовым лугом, располагались в 10-15 м от опытного поля.

## 2.2. Методы исследований

На целинных участках и всех вариантах и повторностях полевых опытов были отобраны почвенные образцы из слоев 0-20 и 20-40 см для определения химических, физико-химических показателей и гранулометрического состава. Химические и физико-химические показатели получены по общепринятым прописям современных методов (Аринушкина, 1970). Гранулометрический состав почвы в целом, а также в водопрочных и фракции <0,25 мм был определен пипет-методом по Н.А.Качинскому в лаборатории Красноярского агрохимического центра.

Структурное состояние почв изучали по методу Н.И.Саввинова. Для этого на делянках обозначенных вариантов закладывали в трехкратной повторности прикошки на глубину 50 см. Отбор почвенных проб проводили из слоев 0-20 и 20-40 см. Одновременно отбирали почвенные образцы на влажность при помощи бура по слоям с интервалом 10 см в слое 0-40 см в трехкратной повторности. Влажность определяли термостатно-весовым методом. Сроки отбора всех почвенных образцов приурочены к основным фазам развития сельскохозяйственных культур: всходы, цветение (бутонизация у трав), полная спелость зерновых (отава трав).

Водопрочность почвенных агрегатов определяли методом качания сит на приборе И.М. Бакшеева в девятикратной повторности. В подготовленных образцах (водопрочных агрегатах и фракции <0,25 мм) определяли следующие

компоненты органического вещества: органический углерод по И.В. Тюрину ( $C_{орг}$ ); подвижные гумусовые вещества экстрагировали последовательной обработкой навески почвы (5г) дистиллированной водой в соотношении 1:5 и 0,1н NaOH, в соотношении 1:20. Содержание углерода водорастворимого органического вещества ( $C_{H2O}$ ) определяли методом бихроматной окисляемости по И.В. Тюрину (Аринушкина, 1970; Агрохимические методы ..., 1975). Содержание щелочнорастворимого углерода ( $C_{0,1NaOH}$ ) определяли по И.В.Тюрину в модификации В.В.Пономаревой, Т.А.Плотниковой (1975). В составе органических веществ щелочной вытяжки ( $C_{0,1NaOH}$ ) определяли гуминовые кислоты ( $C_{ГК}$ ) осаждением их 1н  $H_2SO_4$ . Содержание фульвокислот ( $C_{ФК}$ ) устанавливали по разности общего количества углерода гумусовых веществ в 0,1н NaOH вытяжке и углерода гуминовых кислот в этой же вытяжке. Следующая навеска почвы была подвергнута обработке 0,1 н  $H_2SO_4$  (декальцирование). В полученном декальцинате определяли общий углерод ( $C_{0,1 н H2SO4}$ ) по методу И.В. Тюрина, подвижное железо и кальций – трилонометрически (Аринушкина, 1970). Повторность аналитических определений трехкратная.

Минералогический состав в водопрочных агрегатах и фракции <0,25 мм установлен с помощью рентгенофазового метода (ДРОН-3) в лаборатории Красноярского института химии и химических технологий СО РАН.

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием компьютерных программ MS Excel, Statistics и SPSS v12.0.

### Глава 3

## Структурное состояние дерново-подзолистой почвы и его изменение под влиянием удобрений и мелиорантов

### 3.1. Динамика структурного состава

Материалы табл.1 отражают сезонные изменения структурного состояния в вариантах дерново-подзолистой почвы в течение вегетационных сезонов 2000–2001 гг.

**Таблица 1. Динамика структурного состава дерново-подзолистой почвы, %**

Варианты	Июнь 2000		Июль 2000		Август 2000		Июнь 2001		Июль 2001		Август 2001	
	>10	10-0,25	>10	10-0,25	>10	10-0,25	>10	10-0,25	>10	10-0,25	>10	10-0,25
1. Целина	35,7*	64,2	25,0	73,3	40,4	59,7	25,1	74,9	30,0	69,9	41,1	58,3
	42,6*	57,1	33,9	65,1	46,4	53,7	40,2	59,7	45,7	54,2	43,5	56,0
2. Пар	22,3	77,5	27,1	71,3	18,6	81,4	24,9	74,7	29,3	70,6	22,2	76,9
	24,8	74,8	20,9	78,7	18,6	80,5	20,3	79,6	24,9	74,3	15,2	83,1
3 Пшеница	34,4	64,9	26,8	70,3	51,4	48,6	14,4	85,5	22,9	76,4	8,9	89,9
	25,7	74,2	32,6	66,2	39,0	61,0	36,1	63,8	34,1	65,5	11,9	86,6
4.Многол. травы	23,4	75,9	13,1	86,6	33,7	66,3	19,0	80,1	19,8	79,6	15,8	80,0
	17,5	82,5	8,1	91,2	11,4	88,6	8,2	91,0	14,3	85,6	18,0	78,7
5. Мн.тр.+ NPK	26,5	73,1	12,9	85,8	26,5	73,2	19,8	79,6	36,3	63,7	15,8	80,0
	13,1	86,2	14,1	84,9	19,9	79,6	14,3	85,6	20,7	79,2	18,0	78,7
6 Мн.тр.+ NPK+ б.м.	18,8	81,1	17,4	82,4	10,4	88,0	23,8	75,9	16,8	83,2	16,0	80,2
	13,2	86,0	9,5	89,0	10,5	89,2	26,6	72,9	12,1	87,8	14,9	80,9

\* здесь и далее: числитель – 0–20 см, знаменатель – 20–40 см

Почва целины характеризуется преобладанием во фракционном составе глыб (>10 мм) и агрегатов крупных размерностей. Ее структурное состояние в слое 0–20 см оценивается как хорошее в течение июня-июля и удовлетворительное в конце вегетационного сезона. Соотнося содержание агрономически ценных фракций (АЦФ) с полевой влажностью, выявлено наличие обратных связей (табл. 2). Сопоставление гранулометрического состава почвы с распределением в ней агрономически ценных агрегатов выявило в слое 0–20 см прямую сильную зависимость от фракции средней пыли ( $r = 0,7$ ) и обратную среднюю ( $r = -0,63$ ) от ила. В почвенном слое 20–40 см эти зависимости ослабевают: прямая средняя – с фракцией средней пыли ( $r = 0,34$ ) и обратная средняя – с илом ( $r = -0,4$ ). Динамические изменения в содержании агрегатов >0,25 мм в слое 20–40 см были выражены слабее. Количество агрегатов >10 мм достоверно превышало верхний слой ( $t_{\phi} > t_r$ ). Среди фракций ценного размера преобладали крупные отдельности.

**Таблица 2. Результаты корреляционно-регрессионного анализа влияния влажности дерново-подзолистой почвы (x) на динамику содержания агрономически ценных фракций (y), n = 18 (2000-2001 гг.)**

Варианты	Слой, см	Уравнение регрессии $y = a \pm b_{y/x}$	$r_{y/x}$	$r^2$	$r_{05}$
1. Целина	0-20	$y = 95,64769 - 2,22228x$	-0,556*	0,309	0,468
	20-40	$y = 82,41187 - 1,77991x$	-0,432	0,186	
2. Пар	0-20	$y = 74,10454 + 0,11073x$	0,038	0,001	
	20-40	$y = 92,83310 - 1,05653x$	-0,499*	0,249	
3. Зерновые	0-20	$y = 95,49168 - 1,72696x$	-0,271	0,074	
	20-40	$y = 77,06961 - 0,54592x$	-0,117	0,014	
4. Многолетние травы	0-20	$y = 91,58130 - 1,16625x$	-0,420	0,176	
	20-40	$y = 81,50008 + 0,34228x$	0,134	0,018	
5. Многолетние травы + НРК	0-20	$y = 94,17848 - 2,08341x$	-0,532*	0,283	
	20-40	$y = 75,60365 + 0,47692x$	0,273	0,075	
6. Многолетние травы + НРК + б.м.	0-20	$y = 86,01386 - 0,25099x$	-0,111	0,012	
	20-40	$y = 91,04806 - 0,47989x$	-0,167	0,028	

Пахотный слой парового поля противоположен целинному варианту по характеру динамических изменений почвенных агрегатов. Здесь количество глыбистых отдельностей снижается. Факторами, повлиявшими на указанные изменения, могли стать механические обработки. Повышение аэрируемости и испарение влаги в условиях легкосуглинистого гранулометрического состава почвы пара, по-видимому, объясняет слабую корреляционную связь между содержанием АЦФ и влажностью почвы в первый год и среднюю обратную – во второй вегетационный сезон. С глубиной (20–40 см) меняются условия увлажнения и возрастает зависимость от этого фактора. Структурный состав этого почвенного слоя складывается агрегатами преимущественно крупного размера.

В верхнем слое почвы, занятого яровой пшеницей, наблюдается значительное увеличение количества агрегатов >10 мм. Это повлекло за собой снижение комков ценного размера. Их содержание изменяется в течение вегетационного сезона, значимо снижаясь к августу. Роль влажности почвы в

этой динамике характеризовалась умеренной силой связи. В противоположность яровой пшенице отчетливо выявляется оструктурирующая роль растения овса. Уравнение линейной регрессии демонстрирует положительное влияние взаимодействия факторов “корневая система овса – влажность почвы” на выход АЦФ. Структурное состояние почвы под овсом в слое 0–20 см оценивается как отличное, на глубине 20–40 см – хорошее

Воздействие на почву смеси многолетних трав (без удобрений) определяет иное поведение структуры. В верхнем слое почвы этого варианта содержание фракций  $>0,25$  мм варьирует, увеличиваясь от июня к июлю 2000 года. В августе, в связи со сменой условий увлажнения, количество агрегатов ценного размера снизилось. В течение вегетационного сезона 2001 года динамика АЦФ характеризуется равномерным распределением. В составе агрегатов 10–0,25 мм господствует фракция величиной 2–1 мм. В почвенной толще 20–40 см обнаружен больший выход агрегатов ценного размера в сравнении с верхним 0–20 см слоем.

### **3.2. Влияние удобрений и мелиорантов на структурное состояние**

Динамика содержания АЦФ в почве удобренных участков под травяной смесью характеризовалась неравномерным их распределением в период исследований 2000–2001 гг. Корреляционно-регрессионный анализ указывает на то, что внесение полного минерального удобрения усиливает влияние фактора “влажность” в слое 0–20 см. Обнаружена тенденция к увеличению доли отдельных фракций  $>10$  мм. В составе АЦФ преобладала фракция диаметром 2–1 мм. С глубиной содержание глыб снижается, а среди агрономически ценных агрегатов возрастает количество педов размером 5–3 мм.

Использование минеральных удобрений совместно с белитовой мукой в почве поля, занятого многолетними травами, “сглаживает” динамический ряд АЦФ, находящийся в средней зависимости от уровня полевой влажности. Здесь прослеживается значительный выход агрегатов ценного размера в сравнении с контрольным и удобренным вариантами.

## **Глава 4**

### **Структурное состояние светло-серой лесной почвы и его изменение под влиянием удобрений и мелиорантов**

#### **4.1. Динамика структурного состава**

Динамика структурного состояния 0–40 см толщи целины (табл. 3), так же как и в условиях дерново-подзолистой почвы, находилась в сильной зависимости от уровня полевой влажности. Утяжеление гранулометрического состава сопровождается наиболее контрастными явлениями «набухание-усадки». Это определило разнонаправленность знаков корреляций в годы исследований (табл. 4): в слое 0–20 см обнаружена сильная положительная связь ( $r = 0,9$ ) с фракцией крупного песка и сильная обратная – с илом и физической глиной ( $r = -0,9$ ;  $r = -0,8$  соответственно); в слое 20–40 см – прямая сильная и средняя связь с фракциями крупной и средней пыли ( $r = 0,8$ ,  $r = 0,6$  соответственно) и сильная обратная связь с фракцией мелкого песка ( $r = -0,8$ ).

Распределение агрегатов в поле пара происходит более равномерно. Характер влияния влажности почвы на динамику АЦФ был выражен в меньшей степени по сравнению с целиной. При этом направление зависимости было противоположным почве естественного фитоценоза. В структурном составе 0–20 см слоя выявлено преобладание агрегатов размеров 2–1, 0,5–0,25 мм по сравнению со слоем 20–40 см. В последнем имеют преимущество отдельности величиной 10–7, 7–5, 5–3 мм ( $F_{\phi} > F_{\tau}$ ).

**Таблица 3. Динамика структурного состава светло-серой лесной почвы, %**

Варианты	Июнь 2000		Июль 2000		Август 2000		Июнь 2001		Июль 2001		Август 2001	
	>10	10-0,25	>10	10-0,25	>10	10-0,25	>10	10-0,25	>10	10-0,25	>10	10-0,25
1.Целина	13,5 28,5	86,4 71,4	13,7 22,6	86,1 76,2	44,4 43,2	55,6 56,8	7,0 19,6	92,7 79,0	10,2 39,6	89,7 66,8	17,4 28,9	81,3 70,2
2.Пар	14,7 19,4	84,9 80,3	14,2 18,7	84,5 78,5	12,4 9,9	87,4 90,1	18,8 13,8	80,7 85,5	13,7 12,8	86,0 87,1	21,8 15,2	75,3 82,5
3.Зерно- вые (к)	12,6 11,6	87,1 88,1	20,6 18,9	78,5 81,7	15,7 14,0	84,3 86,0	8,0 11,2	91,0 88,4	14,5 15,8	85,4 84,1	29,7 14,4	67,8 83,4
4. Зерн.+ NPK	16,6 11,3	82,8 88,5	11,7 20,4	87,0 78,5	16,0 11,3	83,8 88,7	18,8 17,5	80,4 82,0	14,2 11,7	85,6 87,9	27,0 18,0	62,8 75,7
5.Зерн.+ NPK+б.м.	6,6 9,5	92,8 90,4	18,7 16,5	79,6 81,6	12,6 12,2	87,2 87,8	14,2 11,8	85,9 87,8	12,5 13,1	87,4 86,7	14,4 10,6	81,3 83,4
6.Многол- травы (к)	29,7 18,0	70,2 81,8	22,5 14,5	76,4 85,2	29,7 15,1	70,1 84,9	24,5 17,6	73,8 81,4	27,4 24,5	72,1 75,4	18,7 11,1	74,8 85,9
7. Мн.тр.+ NPK	18,2 12,4	81,3 86,9	20,5 18,4	78,9 80,6	27,7 8,9	72,3 91,1	29,6 13,2	68,5 85,9	27,6 14,7	72,3 85,2	28,5 20,2	68,7 78,2
8. Мн.тр.+ NPK+б.м.	33,8 20,8	66,1 78,7	25,8 24,2	73,4 75,1	40,1 28,3	59,9 71,7	27,9 21,1	71,0 78,1	36,9 31,7	63,0 68,0	39,9 28,5	58,4 70,2

**Таблица 4. Результаты корреляционно-регрессионного анализа влияния влажности светло-серой лесной почвы (x) на динамику содержания агрономически ценных фракций (y), n = 18 (2000–2001 гг.)**

Варианты	Слой, см	Уравнение регрессии $y = a \pm b_{y/x}$	$r_{y/x}$	$r^2$	$r_{05}$
1. Целина	0-20	$y = 103,67796 - 1,01757x$	-0,413	0,170	0,468
	20-40	$y = 94,43760 - 1,24904x$	-0,359	0,129	
2. Пар	0-20	$y = 101,65732 - 1,11921x$	-0,360	0,130	
	20-40	$y = 81,22865 + 0,18708x$	0,047	0,002	
3. Зерновые	0-20	$y = 71,47157 + 0,61395x$	0,178	0,032	
	20-40	$y = 69,37373 + 0,99163x$	0,582*	0,338	
4. Многолетние травы	0-20	$y = 98,27020 - 1,40630x$	-0,674*	0,454	
	20-40	$y = 61,43695 + 1,17965x$	0,339	0,115	
5. Пшеница/овес + NPK	0-20	$y = 75,82906 + 0,29299x$	-0,057	0,003	
	20-40	$y = 85,41105 - 0,11991x$	-0,045	0,002	
6. Пшен./овес + NPK + б.м.	0-20	$y = 62,03496 + 1,50827x$	0,591*	0,349	
	20-40	$y = 72,84932 + 0,87425x$	0,494*	0,244	
7. Многолетние травы + NPK	0-20	$y = 45,49568 + 1,51083x$	0,726*	0,528	
	20-40	$y = 54,99284 + 1,64481x$	0,807*	0,651	
8. Многолетние травы + NPK+б.м.	0-20	$y = 91,26262 - 1,32599x$	-0,531*	0,285	
	20-40	$y = 103,21770 - 1,61451x$	-0,385	0,148	

Структурное состояние почвы в посевах зерновых культур (3–5 варианты) соответствовало отличному уровню. Выход АЦФ в пахотном слое напрямую определялся динамикой полевой влажности, а в слое 20–40 см – достоверно обратным характером зависимости образования АЦФ от содержания влаги.

Совместное использование минеральных удобрений и белитовой муки под зерновые культуры привело к заметному возрастанию в почве макроструктурных компонентов к концу вегетационного сезона в сравнении с контрольным и удобрённым только минеральными удобрениями вариантами. В отличие от последних, здесь обнаружена значимая положительная зависимость образования АЦФ с уровнем полевой влажности. В целом для почвы делянок с зерновыми культурами статистический анализ выявил достоверное преобладание фракции размером 2–1 мм в слое 0–20 см. «Вектор» содержания агрегатов в нижележащем слое сместился в сторону более крупных фракций: 10–7, 7–5, 5–3 мм.

Наибольший выход агрегатов ценного размера под многолетними травами (6–8 варианты) наблюдался в слое 20–40 см. Доля агрегатов размером  $>10$  и  $<0,25$  мм в слое 0–20 см существенно превышает нижележащий. Среди агрономически ценных агрегатов количественно выделяется фракция размером 2–1 мм, но эта разница статистически не значима. В слое 20–40 см структурный состав сформирован агрегатами 10–7, 7–5, 5–3, 3–2 мм, которые достоверно превышают их содержание в верхнем слое. Отмечаемые оценки между почвенными слоями определялись различиями в направленности связи с динамикой полевой влажности. Верхний слой почвы контрольного и удобрённого минеральными удобрениями вариантов в сочетании с белитовой мукой отличались существенными обратными корреляциями между динамикой АЦФ и уровнем влажности. Внесение полного минерального удобрения сопровождается сменой направления зависимости.

## **Глава 5**

### **Формирование и изменение водопрочных агрегатов в дерново-подзолистой почве**

#### **5.1. Динамика водопрочности почвенных агрегатов и участие органического вещества в их формировании**

В результате исследований выявлено, что образование и динамика водопрочных агрегатов определяются сезонным ритмом подвижных компонентов органического вещества. Их роль в процессе образования водопрочных агрегатов носит неустойчивый характер, что обусловлено генезисом почв и экологическими условиями среды агроценозов. Фракции  $>0,25$  мм выделялись преобладанием крупно- и среднепесчаных механических элементов, характеризующихся по минералогическому составу кварцем.

Водопрочность агрегатов в 0–20 см слое целины отличается от почв агроценозов значительным количеством фракций крупных размерностей (табл.5). Динамика водопрочности почвенных агрегатов (А) в 0–20 см слое целины дер-

ново-подзолистой почвы находилась в прямой зависимости от колеблемости рядов динамики железоорганических соединений, извлекаемых 0,1н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, и в меньшей степени – бурых гуминовых кислот, экстрагируемых 0,1 н NaOH. Здесь железогумусовые соединения являются клеящим элементом адгезивом и осуществляют роль склеивания грубодисперсных частиц и цементации их в агрегаты:

$$A)^* y = 60,12388 + 0,02150 (Fe_2O_3) + 0,05731 (C_{гг}), \text{ при } R = 0,784; R^2 = 0,614,$$

$$\beta = \begin{matrix} & 0,705 & 0,298 \end{matrix}$$

где  $y$  – динамика водопрочности агрегатов, %;

$R$  – коэффициент множественной корреляции;

$R^2$  – коэффициент множественной детерминации;

$\beta$  – стандартизированный коэффициент регрессии, показывающий степень и направление влияния вариации фактора  $x_i$  на вариацию результативного признака  $y$ , при отвлечении от сопутствующей вариации других факторов, входящих в уравнение регрессии.

Пропитанные подвижными железо-гумусовыми соединениями частицы <0,25 мм (Б)\* при высыхании способствуют оформлению макроагрегатов:

$$B)^* y = 29,21672 - 0,02158 (C_{фг}) + 0,01528 (Fe_2O_3) + 0,00262 (CaO), \text{ при } R = 0,957; R^2 = 0,916.$$

$$\beta = \begin{matrix} & -0,253 & -0,709 & 0,216 \end{matrix}$$

В слое 20–40 см были выявлены достоверно меньшие значения водопрочности по сравнению с верхним слоем ( $t_{ф} > t_{г}$ ). Динамика водопрочности агрегатов определялась фульвосоединениями щелочной вытяжки. Наиболее дисперсный материал фракции <0,25 мм, вступаю в взаимодействие с оксидом железа декальцината, способствует повышению адсорбционной способности. Это обеспечивает постепенное укрупнение агрегатов путем вовлечения тонких механических элементов.

**Таблица 5. Динамика водопрочных почвенных агрегатов (>0,25 мм) и фракции <0,25 мм на вариантах дерново-подзолистой почвы**

Варианты	Июнь 2000		Июль 2000		Август 2000		Июнь 2001		Июль 2001		Август 2001	
	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25
1. Целина	84,3	15,3	83,6	16,4	84,8	15,2	89,8	10,2	85,4	14,6	78,9	21,1
	68,3	31,7	68,5	31,5	79,8	20,2	80,9	19,1	73,9	26,1	74,7	25,3
2. Пар	74,7	25,3	69,6	30,4	72,7	27,3	76,4	23,6	73,5	26,5	65,5	34,5
	73,5	26,5	74,9	25,1	78,4	21,6	85,1	14,9	64,8	35,2	63,6	36,4
3 Пшеница	71,5	28,1	80,1	19,9	83,6	16,4	72,9	27,1	61,2	38,8	64,4	35,6
	62,9	37,1	76,2	23,8	87,4	12,6	89,1	10,9	66,1	33,9	60,5	39,5
4.Многол. травы	79,5	20,5	80,6	19,4	83,4	16,6	89,7	10,3	76,6	23,4	71,4	28,6
	70,9	29,1	75,4	24,6	71,1	28,9	91,7	8,3	73,0	27,0	63,7	36,3
5. Мн.тр.+ NPK	77,6	22,4	74,1	25,9	82,4	17,6	89,0	11,0	72,2	27,8	79,7	20,3
	69,6	30,4	67,6	32,4	74,3	25,7	89,5	10,5	60,6	39,4	68,8	31,2
6. Мн.тр.+ NPK+ б.м.	77,8	22,2	74,3	25,7	78,3	21,7	89,0	11,0	69,1	30,9	78,7	21,3
	71,1	28,9	76,5	23,5	77,9	22,1	76,0	24,0	75,1	24,9	78,1	21,9
НСР <sub>05</sub>	8,6	8,5	6,7	6,0	6,1	5,9	8,6	8,6	5,2	5,2	6,1	5,8
	8,1	8,1	8,7	8,7	5,8	6,5	9,9	9,8	6,9	6,9	6,1	6,1

Содержание водоустойчивых агрегатов  $>0,25$  мм в почве парового участка несущественно изменяется в течение сезонов 2000–2001 гг. Агрегаты  $>1$  мм практически нацело разрушаются до более мелких. Почвенные агрегаты 0–20 см слоя, склеенные при участии кальций-фульвата, обнаруживают слабую способность противостоять разрушающему действию воды:

$$A) y = 77,55495 + 0,00778(C_{\text{Ca}}) - 0,01275(CaO), \text{ при } R = 0,914; R^2 = 0,835.$$

$$\beta = \begin{matrix} -0,059 & -0,882 \end{matrix}$$

$$B) y = 31,96607 - 0,04954(Fe_2O_3) + 0,00572(CaO) + 0,00369(C_{H_2SO_4}) \text{ при } R = 0,963; R^2 = 0,928.$$

$$\beta = \begin{matrix} -0,726 & 0,372 & 0,039 \end{matrix}$$

Данные зависимости свидетельствуют о том, что химически активные органические соединения способствуют пептизации высокодисперсной части почвы. Этот природный процесс ограничивает ход коагуляции. В условиях подпахотного слоя парового поля клеящие свойства гуминовых соединений проявляются только до уровня микроагрегатов.

В посевах зерновых культур динамика водопрочных образований была выражена. Основную массу агрегатов  $>0,25$  мм в слое 0–20 см слагают фракции диаметром 1–0,25 мм. Агрегирующий эффект подвижных органических веществ проявляется слабо. Здесь сохраняется диспергирующая минеральные коллоиды роль кислого гумуса:

$$A) y = 84,11752 - 0,80878(C_{H_2O}) + 0,00771(Fe_2O_3) - 0,01563(CaO), \text{ при } R = 0,850; R^2 = 0,722.$$

$$\beta = \begin{matrix} -0,478 & 0,252 & -0,404 \end{matrix}$$

В динамике фракции  $<0,25$  мм активно участвуют фульвокислоты щелочной вытяжки:

$$B) y = 11,93581 + 0,14304(C_{\text{Фв}}) + 0,02126(CaO), \text{ при } R = 0,987; R^2 = 0,974.$$

$$\beta = \begin{matrix} 0,78 & 0,431 \end{matrix}$$

Ведущей клеящей субстанцией водопрочных агрегатов в 20–40 см слое почвы являются железоорганические компоненты, оказывая коагулирующее воздействие на перемещающиеся органо-минеральные соединения.

Сезонный ритм водопрочности агрегатов в 0–20 см слое почвы делянок, занятых многолетними травами (без удобрений), указывает на более слабую ее изменчивость в 2000 году, чем в 2001 г. Формирование и динамика водопрочных агрегатов определяются фульватами кальция и гумусовыми соединениями, экстрагируемых щелочным гидролизатом. Так как доля участия каждого из компонентов достаточно высока, то для моделей были использованы парные линейные уравнения связи (с учетом ограничений множественного регрессионного анализа):

$$A) y_1 = 95,48124 - 0,03702(CaO), \text{ при } R = 0,882; R^2 = 0,778$$

$$\beta = -0,882$$

$$y_2 = 61,7300 + 0,04800(C_{NaOH}), \text{ при } R = 0,727; R^2 = 0,528.$$

$$\beta = 0,727$$

Динамика агрегатов фракции  $<0,25$  мм определялась уровнем органического углерода: B)  $y = 29,66743 - 0,00929(C_{орг}) + 0,58554(C_{H_2O}), \text{ при } R = 0,879; R^2 = 0,773.$

$$\beta = \begin{matrix} -0,747 & 0,476 \end{matrix}$$

В подпахотном слое агроценоза многолетних трав колеблемость водопрочных отдельностей и фракции <0,25 мм на 95% определяется компонентами щелочной вытяжки.

## 5.2. Влияние минеральных удобрений и белой муки на динамику водопрочных агрегатов

Внесение минеральных удобрений в почву под многолетние травы не отражается на характере распределения и изменчивости почвенных агрегатов верхнего слоя. Фракционный состав почвы мало отличается от контрольного. Использование минеральных туков обуславливает интенсивные процессы превращения органического вещества. Это определяет снижение степени воздействия каждого из компонентов органического вещества на свойство водоустойчивости:

$$\begin{aligned}
 \text{А) } y &= 139,15408 - 0,03042 (C_{\text{опз}}) - 0,02583 (C_{\text{H2O}}) + 0,03389 (C_{\text{H2SO4}}), \text{ при } R = 0,769; R^2 = 0,592. \\
 \beta &= \begin{matrix} & -0,754 & -0,019 & 0,444 \end{matrix} \\
 \text{Б) } y &= 13,32029 + 0,00781 (Fe_2O_3) + 0,01799 (C_{\text{H2SO4}}), \text{ при } R = 0,408; R^2 = 0,166. \\
 \beta &= \begin{matrix} & 0,245 & 0,236 \end{matrix}
 \end{aligned}$$

В слое 20–40 см регрессионная статистика выявила ведущую роль в процессах образования водопрочных агрегатов железоорганических комплексов.

Совместное внесение минеральных удобрений и белой муки под многолетние травы первого года использования сопровождается слабыми изменениями водопрочности 0–20 см слоя почвы. В течение 2001 года их колебания были более существенными. Регрессионный анализ указывает на слабую степень участия подвижного органического вещества в процессах агрегирования и динамике водопрочности агрегатов в слое 0–20 см:

$$\begin{aligned}
 \text{А) } y &= 95,51158 + 0,01257 (C_{\text{NaOH}}) + 0,02793 (C_{\text{жв}}) - 1,57664 (C_{\text{H2O}}), \text{ при } R = 0,809; R^2 = 0,655. \\
 \beta &= \begin{matrix} & 0,190 & 0,172 & -0,710 \end{matrix}
 \end{aligned}$$

Динамика агрегатов <0,25 мм в значительной степени обусловлена колеблемостью органических соединений, извлекаемых 0,1 н раствором  $H_2SO_4$ :

$$\begin{aligned}
 \text{Б) } y &= 31,16419 - 0,13058 (C_{\text{H2SO4}}) - 0,00430 (C_{\text{фв}}), \text{ при } R = 0,874, R^2 = 0,763. \\
 \beta &= \begin{matrix} & -0,848 & -0,058 \end{matrix}
 \end{aligned}$$

На глубине 20–40 см наблюдается преобразование фракций водоустойчивых агрегатов, в составе которых происходит укрупнение, прежде всего отдельностей размером 3–1 мм. Динамический ряд водопрочности на 74% определялся железоорганическими соединениями и на 7% – Са-фульватными.

## Глава 6

### Формирование и изменение водопрочных агрегатов в светло-серой лесной почве

#### 6.1. Динамика водопрочности почвенных агрегатов и участие органического вещества в их формировании

Анализируя стабильность структуры светло-серой лесной почвы, отметим, что ее водопрочные агрегаты, в отличие от дерново-подзолистой почвы, содержали значительную долю фракций крупной пыли и ила, в составе которых присутствует минерал каолинит.

Данные табл. 6 демонстрируют сезонный ритм водопрочности почвенных педов на целине и пашне. Отличия между слоями по количеству водопрочных агрегатов достоверны только в почве природной экосистемы. В пахотных почвах различия сглаживаются, подтверждая, вероятно, эффект агрогенного использования. Преимущество водопрочности в слое 0–20 см перед нижележащим «обеспечивали» крупноразмерные фракции. В условиях естественного сложения и насыщенности корневыми системами развивались процессы полимеризации низкомолекулярных продуктов распада органических веществ и формирование молекул гуминовых кислот. Их образование предполагает возникновение адгезионных эффектов за счет адсорбции органических компонентов на поверхности тонкодисперсной минеральной части при посредстве фульватов железа:

$$A) y = 44,09871 + 0,06308 (C_{\text{Fe}}) + 0,03032 (Fe_2O_3), \text{ при } R = 0,872; R^2 = 0,760.$$

$$\beta = \begin{matrix} & 0,468 & 0,637 \end{matrix}$$

Уравнение, описывающее уровни влияния факторов для фракции <0,25 мм, свидетельствует о действии компонентов декальцината как цементирующего тонкодисперсную часть материала в процессе высыхания.

$$B) y = 13,46424 + 0,01465 (CaO) - 0,04154 (C_{H_2SO_4}), \text{ при } R = 0,833; R^2 = 0,694.$$

$$\beta = \begin{matrix} & 0,64 & -0,4 \end{matrix}$$

С глубиной выход водоустойчивых агрегатов сокращается в связи с более интенсивным распадом фракций 3 мм. Участие органического вещества в образовании водопрочных макроагрегатов ограничено. Связь между почвенными частицами <0,25 мм осуществлялась при помощи «молекулярных припоев» – органо-минеральных структур, преимущественно железисто-фульватного состава.

**Таблица 6. Динамика водопрочных почвенных агрегатов (>0,25 мм) и фракции <0,25 мм на вариантах светло-серой лесной почвы**

Варианты	Июнь 2000		Июль 2000		Август 2000		Июнь 2001		Июль 2001		Август 2001	
	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25	>0,25	<0,25
1.Целина	79,4 60,1	20,1 39,9	83,4 62,8	16,6 37,2	89,4 79,8	10,6 23,3	79,5 73,0	20,5 27,1	85,0 72,7	15,3 27,3	69,2 67,0	30,8 33,0
2.Пар	63,1 58,6	35,8 41,0	51,6 60,1	48,4 39,9	54,0 53,3	46,0 46,7	67,1 62,1	32,9 37,8	50,4 64,4	49,6 35,6	57,2 58,8	42,8 41,2
3.Зерно- вые	51,2 50,0	48,8 50,0	65,0 57,9	35,0 41,5	57,0 66,0	43,0 34,0	66,4 62,0	33,6 38,0	60,3 61,8	39,7 38,2	50,2 52,9	49,8 47,1
4.Зерно- вые+ NPK	57,7 56,4	42,3 43,6	55,0 60,2	45,0 39,8	58,8 65,1	41,2 34,9	55,5 66,6	44,5 33,4	59,4 63,1	40,6 36,9	59,2 39,8	40,8 60,2
5 Зерн. + NPK+б.м.	49,7 56,6	50,3 43,4	62,2 49,5	37,8 50,5	58,5 61,6	41,5 38,4	54,5 46,2	45,5 53,8	61,2 63,1	38,8 36,9	44,5 38,4	55,5 61,6
6 Мн.тр.	66,5 63,5	33,6 36,5	59,0 51,3	41,0 48,7	71,2 53,8	28,8 46,2	74,0 63,5	26,0 36,5	69,9 65,0	30,0 35,0	55,7 70,6	44,3 29,4
7. Мн тр.+ NPK	66,2 59,0	34,5 41,0	49,1 59,5	50,8 40,5	68,0 60,4	32,0 39,5	68,1 64,2	31,9 35,8	55,3 62,2	44,7 37,8	51,0 45,0	48,9 55,0
8. Мн.тр.+ NPK + б.м	62,4 61,3	37,6 38,7	59,3 69,0	40,7 31,0	75,8 62,7	24,2 37,3	74,0 67,9	26,0 32,1	69,8 75,1	30,2 24,9	65,4 67,6	34,6 32,4
HCP <sub>05</sub>	11,4	11,8	10,5	10,5	10,6	10,6	9,5	9,5	11,7	11,7	10,9	10,9
	12,0	11,8	11,0	11,1	11,8	12,0	11,2	11,2	F <sub>0&lt;F<sub>1</sub></sub>	14,2	11,2	9,9

Характер распределения водоустойчивых агрегатов в почве пара имеет сходную динамику в разные годы исследований. Наибольший выход водоустойчивых агрегатов >0,25 мм в пахотном слое почвы зафиксирован в начале вегетационных сезонов. Среди агрегатов >0,25 мм выявлено интенсивное разрушение фракций >1 мм. Уровень водопрочности здесь, с высокой долей вероятности, определяется гумусовыми веществами, извлекаемыми 0,1 н NaOH:

$$A) y = 20,19436 + 0,11243 (C_{NaOH}) - 0,03169 (Fe_2O_3), \text{ при } R = 0,985; R^2 = 0,971.$$

$$\beta = \begin{matrix} & 0,797 & -0,636 \end{matrix}$$

Динамика агрегатов <0,25 мм обусловлена совместным действием органического углерода и компонентами сернокислой вытяжки:

$$B) y = 70,39959 - 0,01787(C_{орг}) + 0,02108 (Fe_2O_3) - 0,01948 (CH_2SO_4) \text{ при } R = 0,803; R^2 = 0,645.$$

$$\beta = \begin{matrix} & -0,692 & 0,463 & -0,167 \end{matrix}$$

Динамика агрегатного состава в нижележащем слое почти не выражена. Обнаружена низкая водопрочность фракций размером >3 мм. Значительный вклад в колеблемость водопрочности вносили "агрессивные" фульвокислоты. Обладая высокой химической активностью, эти соединения способствуют разрушению межконтактных взаимодействий, и как следствие, снижению водостойкости комков. Выявлено определенное участие и  $C_{гк}$  микробиологически устойчивых гидрофобных компонентов, обладающих склеивающей способностью.

Особенности биологии культур яровой пшеницы и овса отразились на процессах превращения органического вещества и их влиянии на колеблемость водопрочности. Динамика водопрочных агрегатов в верхнем слое почвы была различной под посевами пшеницы и овса. Почвенные отдельности >3, 3 1 мм характеризовались низкой водопрочностью, распадаясь на более мелкие (1–0,25 мм). Образующиеся в кислых условиях рН гумусовые вещества обладают слабыми клеящими свойствами, при взаимодействии с водой происходит почти полное разрушение агрегата:

$$A) y = 84,99919 - 0,04424 (C_{фв}) - 0,01666 (CaO), \text{ при } R = 0,758; R^2 = 0,575.$$

$$\beta = \begin{matrix} & -0,553 & -0,584 \end{matrix}$$

Фракция <0,25 мм в сравнении с водопрочными отдельностями фиксировала на своей поверхности максимальное количество гуминоподобных веществ, способствуя образованию агрегатов размером 3–1 мм:

$$B) y = 51,74560 - 0,08648(C_{св}) + 0,02340 (C_{фв}) + 0,00909 (CaO), \text{ при } R = 0,995; R^2 = 0,989.$$

$$\beta = \begin{matrix} & -0,651 & 0,398 & 0,337 \end{matrix}$$

В почвенном слое 20–40 см реализовался иной механизм образования и динамики водопрочных агрегатов. Под пшеницей прослеживалось постепенное накопление водоустойчивых отдельностей от июня к августу. В их составе господствовали фракции 1–0,5 и 0,5–0,25 мм. Количество водопрочных агрегатов под овсом слабо изменялось в первые два месяца лета, после чего следовало значительное их сокращение к августу. Здесь проявляется диспергирующее воздействие "агрессивных" органических кислот, не способных участвовать в процессах оформления почвенных частиц в водопрочные агрегаты. Компоненты щелочной вытяжки вместе с кальцийорганическими соединениями определяли колеблемость фракции <0,25 мм с суммарным эффектом – 42%.

В посевах многолетних трав выход водопрочных агрегатов незначительно отличается от предыдущих вариантов, но во фракционном составе различия существенны: отдельностей >1 мм достоверно больше, чем в почве парового поля и зерновых агроценозах. Уровень водоустойчивости агрегатов в слое 0–20 см определяется «молодыми» органическими веществами, переходящими в  $0,1n \text{ H}_2\text{SO}_4$ , превращение которых подчинено окислительно-восстановительным условиям среды:

$$A) y = 38,50048 + 0,07854(C_{\text{фн}}) + 0,00999(Fe_2O_3) - 0,00109(CaO) - 0,08194(C_{\text{H}_2\text{SO}_4}), \text{ при } R = 0,999; R^2 = 0,998.$$

$$\beta = \begin{matrix} & 0,466 & 0,204 & -0,058 & -0,727 \end{matrix}$$

Компоненты декальцината напрямую оказывали влияние на изменчивость фракции <0,25 мм:

$$B) y = 11,58209 + 0,00293(Fe_2O_3) + 0,01385(CaO) + 0,06300(C_{\text{H}_2\text{SO}_4}) \text{ при } R = 0,940; R^2 = 0,883.$$

$$\beta = \begin{matrix} & 0,034 & 0,511 & 0,746 \end{matrix}$$

Динамика водопрочности почвенных агрегатов 20–40 см слоя поддерживается органическими соединениями гидрофобной природы. Данное свойство приобретает благодаря коагулирующему воздействию коллоидов кальций-фульватных соединений. В колеблемости фракции <0,25 мм эти компоненты исполняли роль универсальных коагуляторов, способствуя далее процессам укрупнения.

## 6.2. Влияние минеральных удобрений и белитовой муки на динамику водопрочных агрегатов

Агрегатный состав почвы под удобренными зерновыми культурами характеризуется небольшим диапазоном изменений в течение вегетационных сезонов. Различия между возделываемыми однолетними культурами пшеницы и овса проявляются во фракционном составе агрегатов >0,25 мм пахотного слоя. Применение минеральных удобрений способствует образованию гумусовых веществ, обладающих слабыми клеящими свойствами, и увеличивает их подвжность:

$$A) y = 45,11029 + 0,00316(C_{\text{орг}}) + 0,00391(C_{\text{NaOH}}), \text{ при } R = 0,588; R^2 = 0,346.$$

$$\beta = \begin{matrix} & 0,484 & 0,177 \end{matrix}$$

Преобладание химически активных соединений фульватной природы обусловило диспергирующее воздействие на минеральную часть почвы и участие в сезонной колеблемости фракции <0,25 мм:

$$B) y = 33,70039 + 0,00545(C_{2\text{х}}) + 0,01741(C_{\text{H}_2\text{SO}_4}) + 0,00516(Fe_2O_3), \text{ при } R = 0,898; R^2 = 0,807.$$

$$\beta = \begin{matrix} & 0,247 & 0,617 & 0,255 \end{matrix}$$

На глубине 20–40 см значительный спад в динамике содержания водопрочных агрегатов наблюдается к концу вегетационного сезона только под культурой овса. В составе агрегатов >0,25 мм господствуют тонкие фракции. Здесь прослеживается усиление негативного воздействия «агрессивных» органических соединений. Результат этого процесса – разрушение кристаллической решетки минералов и перевод продуктов распада в раствор, в том числе кальция. Сафульватные соединения оказались не способны к процессам склеивания и напрямую определяли динамику агрегатов <0,25 мм.

Ход распределения водопрочных агрегатов под зерновыми культурами в ранее произвесткованной и удобренной минеральными удобрениями почве слоя 0–20 см характеризуется максимальными значениями в середине вегетационных сезонов. Почвенные агрегаты >1 мм отличаются слабой водопрочностью. Агрохимическая мелиорация сопровождается увеличением подвижности гумуса, характеризующегося гидрофильностью. Ход динамики водопрочных агрегатов и фракции <0,25 мм в наибольшей степени определяется кальцийорганическими соединениями и водорастворимыми гумусовыми веществами:

$$A) y = 52,97630 + 0,71949 (C_{H2O}) - 0,01848 (CaO), \text{ при } R = 0,954; R^2 = 0,910.$$

$$\beta = \begin{matrix} 0,596 & -0,718 \end{matrix}$$

$$B) y = 55,63643 - 0,67655 (C_{H2O}) + 0,00727 (CaO), \text{ при } R = 0,893; R^2 = 0,798.$$

$$\beta = \begin{matrix} -0,535 & 0,573 \end{matrix}$$

В слое 20–40 см увеличение содержания гумусовых веществ сопровождается значительным сокращением водоустойчивости. Фракция <0,25 мм, напротив, имеет сильные положительные зависимости с гумусовыми соединениями. При дефиците оснований кислые функциональные группы органических веществ оказываются неблокированными и склонны осуществлять кислотный гидролиз. Они не обладают склеивающими свойствами, вызывая при намачивании водой распад почвенного агрегата.

Поступление минеральных удобрений в почву под многолетние травы способствует накоплению химически менее зрелых органических соединений и вызывает существенное снижение водопрочности агрегатов верхнего слоя. Изменение уровня водостойкости почвенных агрегатов определяется фракцией “агрессивных” фульвокислот и новообразованных гумусовых соединений гуматной природы извлекаемых раствором 0,1н NaOH:

$$A) y = 31,28763 + 0,07854 (C_{20}) + 0,03851 (C_{H2SO4}), \text{ при } R = 0,862; R^2 = 0,743.$$

$$\beta = \begin{matrix} 0,372 & 0,661 \end{matrix}$$

Динамика агрегатов размером <0,25 мм описывается следующим уравнением:

$$B) y = -57,89659 + 3,29228(C_{H2O}) + 0,01954(CaO) - 0,01963(C_{H2SO4}) \text{ при } R = 0,900; R^2 = 0,810.$$

$$\beta = \begin{matrix} 0,518 & 0,426 & -0,385 \end{matrix}$$

Вероятно, фракция <0,25 мм фиксировала на поверхности молодые гумусовые вещества. С глубиной наблюдается снижение роли органического вещества в характере динамики водопрочности структуры. Водопрочность находится в обратной зависимости от кальцийорганических соединений.

Внесение минеральных удобрений в предварительно произвесткованную почву делянок, засеянных смесью многолетних трав, обнаруживает значительные изменения фракционного состава агрегатов >0,25 мм 0–20 см слоя. Внесение белитовой муки обеспечивает слабокислую реакцию среды в сравнении с контролем. Это активизирует формирование железо-гумусовых сорбционных комплексов, являющихся активными структурообразователями:

$$A) y = 47,24740 + 0,03985 (C_{20}) + 0,03287 (C_{H2SO4}), \text{ при } R = 0,629; R^2 = 0,396.$$

$$\beta = \begin{matrix} 0,391 & 0,450 \end{matrix}$$

$$B) y = 40,35618 - 0,04572(C_{20}) + 0,02064 (C_{Fe}), \text{ при } R = 0,997; R^2 = 0,995.$$

$$\beta = \begin{matrix} -0,538 & 0,160 \end{matrix}$$

Агрохимическая мелиорация способствует преобразованию структуры органического вещества подпахотного слоя и проявлению универсального коагулирующего действия фульвата кальция на органические коллоиды.

### Практические рекомендации

Для поддержания структурного состояния и плодородия почв региона рекомендуется: 1) отдавать предпочтение возделыванию овса и смеси многолетних трав: коостреца безостого, овсяницы луговой, тимофеевки обыкновенной и клевера белого; 2) совместное использование полного минерального удобрения в дозе  $N_{90}P_{90}K_{90}$  и белитовой муки с дозой внесения – 9 т/га под многолетние травы

### Выводы

1. Процессы образования и динамики макроструктурных компонентов подчинены сезонному ритму влажности почвы. Степень и направленность ее участия определяются гранулометрическим составом почвы и характером использования (природная экосистема и агроценозы).

2. Внесение минеральных удобрений под многолетние травы на дерново-подзолистой почве сопровождается достоверной обратной зависимостью между выходом агрегатов ценного размера и влажностью почвы в пределах верхнего 0–20 см слоя. В условиях светло-серой лесной почвы, напротив, проявляется прямое влияние влажности на процесс агрегатообразования. На фоне известкования подобная зависимость нивелируется.

3. Использование минеральных удобрений в чистом виде и совместно с белитовой мукой под однопольные зерновые культуры не изменяет характера участия влажности в ходе агрегирования.

4. Роль компонентов органического вещества в процессе образования водопрочных агрегатов носит неустойчивый характер, что обусловлено генезисом почв и экологическими условиями среды агроценозов.

5. Динамика водопрочности почвенных агрегатов в условиях 0–20 см слоя целины дерново-подзолистой и светло-серой лесной почв находится в прямой зависимости от колеблемости рядов динамики железоорганических соединений, извлекаемых 0,1н  $H_2SO_4$ , и в меньшей степени – бурых гуминовых кислот, экстрагируемых 0,1н  $NaOH$ . Динамика водопрочности агрегатов дерново-подзолистой почвы в слое 20–40 см определяется фульвосоединениями щелочной вытяжки, в светло-серой лесной почве – слабым влиянием подвижных гумусовых веществ.

6. Вовлечение дерново-подзолистой почвы в сельскохозяйственное использование обуславливает обратный характер участия компонентов органического вещества в формировании водопрочных агрегатов пахотного слоя. Водоустойчивость нижележащего слоя напрямую зависит от динамики подвижного органического вещества.

7. Изменение уровней временного ряда водопрочности структуры 0–20 см слоя светло-серой лесной почвы в посевах зерновых культур (без удобрений) отрицательно сопряжено с колеблемостью Са-фульватных соединений и фракцией фульвокислот, экстрагируемой 0,1н  $NaOH$ ; в слое 20–40 см – фракцией “агрессивных” фульвокислот.

8. Динамика водопрочности агрегатов пахотного слоя удобрённых зерновых культур обусловлена ритмом превращения углерода органических соединений; в шихележашем слое – динамикой Са-фульватных соединений и фракцией “агрессивных” фульвокислот. Совместное использование минеральных удобрений и белитовой муки определяет обратный характер участия Са-фульватных соединений, прямой – углерода водорастворимых органических веществ в формировании агрегатов в слое 0–20 см и обратный – с  $C_{орг}$  в слое 20–40 см.

9. Ведущим фактором динамики водопрочности почвенных агрегатов верхнего слоя в посевах многолетних трав без удобрений является фракция фульвосоединений, экстрагируемых 0,1н  $H_2SO_4$  и 0,1н NaOH. В подпахотном слое обнаружено участие Са-органических соединений. На фоне минеральных удобрений в чистом виде и при совместном их использовании с белитовой мукой прямое влияние фульвокислот, экстрагируемых 0,1н  $H_2SO_4$ , дополняется воздействием бурых гуминовых кислот щелочной вытяжки.

#### Основные положения диссертации опубликованы в работах:

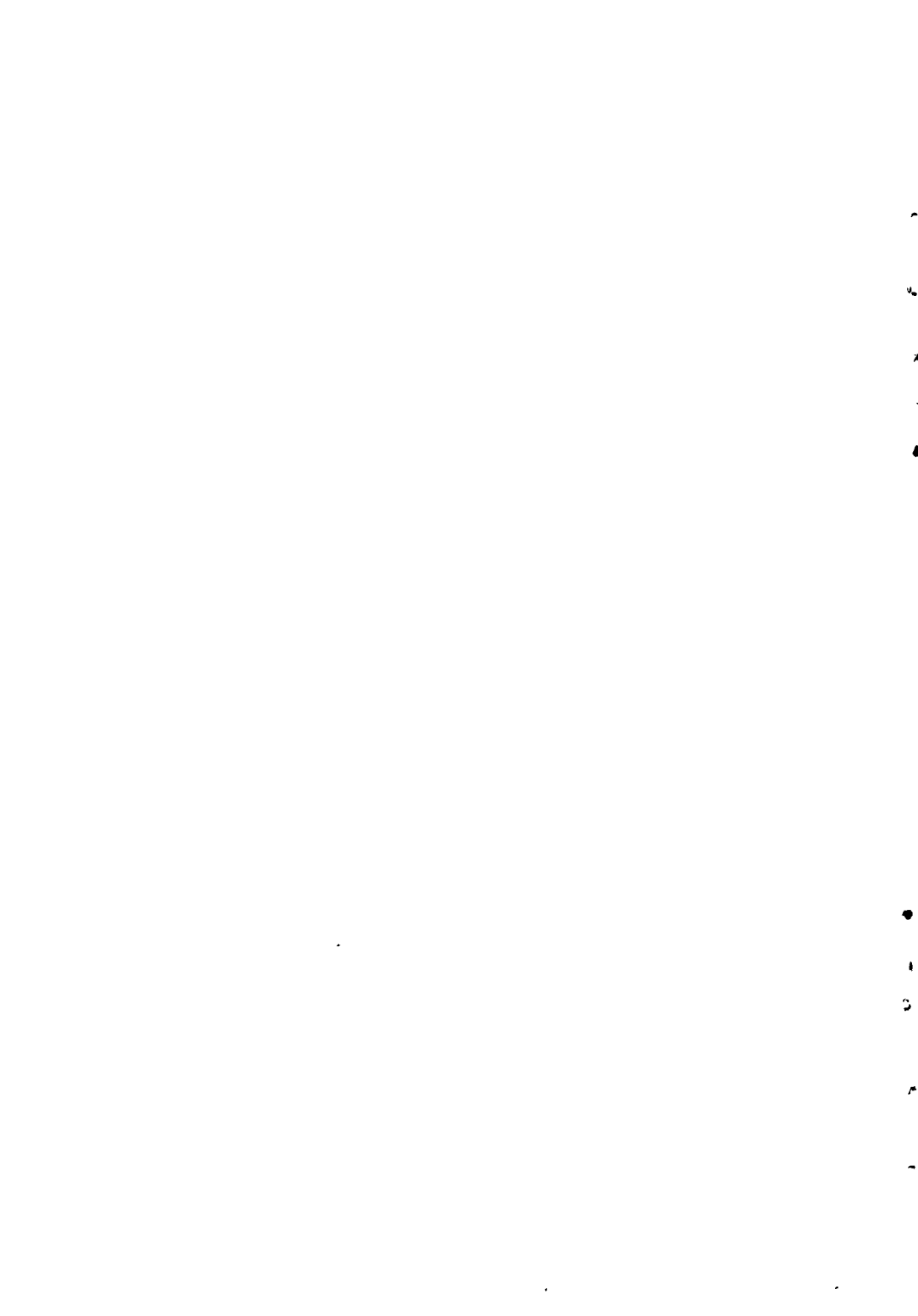
1. Романцова, Е.Н. Агрегатное состояние дерново-подзолистых почв Приенисейской Сибири / Е.Н. Романцова // тез. докл. VIII Междунар. конф. студ. и аспирантов по фундамент. наукам “Ломоносов – 2001”. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 102.
2. Романцова, Е.Н. Агрегатное состояние серых лесных почв Приенисейской Сибири / Е.Н. Романцова // Экология Южной Сибири: тез. докл. Южно-Сибирской Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых. – Абакан, 2001. – С. 47–48.
3. Романцова, Е.Н. Сравнительная характеристика агрегатного состояния дерново-подзолистых и серых-лесных почв зоны травяных лесов Приенисейской Сибири / Е.Н. Романцова // тез. докл. IX Междунар. конф. студ. и аспирантов по фундамент. наукам “Ломоносов – 2002”. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – С. 92.
4. Романцова, Е.Н. Сезонная динамика агрегатного состояния серых лесных почв Приенисейской Сибири / Е.Н. Романцова, Н.Л. Кураченко // Почвы Сибири: Особенности функционирования и использования. Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2003. – С. 42–48.
5. Белоусова, Е.Н. О динамике водопрочности почвенных агрегатов серой лесной почвы Приенисейской Сибири / Е.Н. Белоусова, А.А. Белоусов // Фундаментальные физические исследования в почвоведении и мелиорации: труды Всерос. конф. – М.: МГУ, 2003. – С. 167–169.
6. Белоусов, А.А. Динамика биопараметров светло-серой лесной почвы и оценка степени ее устойчивости / А.А. Белоусов, Е.Н. Белоусова // Вестник КрасГАУ. Вып.8. – Красноярск: КрасГАУ, 2005. – С. 95–103.

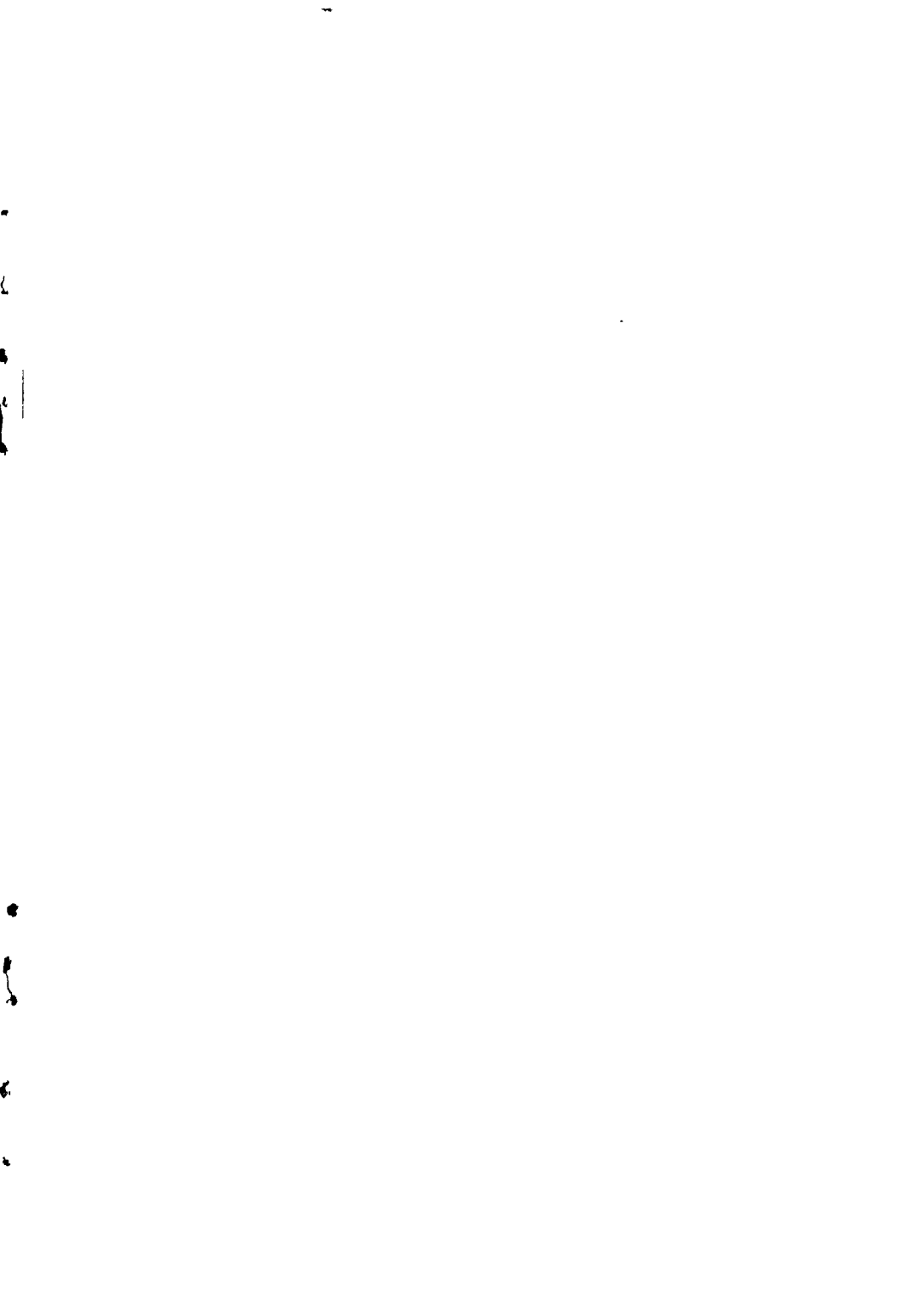
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24 49 04.953 П 000381 09.03 от 25 09 2003 г

Подписано в печать 05.10.2005. Формат 60x84/16 Бумага тип № 1.

Офсетная печать. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 89

Издательство Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117





**№ 18543**

РНБ Русский фонд

2006-4  
16538