

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

СБОРНИК ДОКЛАДОВ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ  
150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
АКАДЕМИКА В.Р. ВИЛЬЯМСА  
И 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
И.С. КАУРИЧЕВА

**03 – 05 декабря 2013 г.**

Москва  
Издательство  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева  
2014

УДК 631.4.06.091.4 (060.55)  
ББК 40.3я434  
С 23

Сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.Р. Вильямса и 100-летию со дня рождения И.С. Кауричева, подготовлен по авторским статьям.

Под общей редакцией академика РАН **В.И. Кирюшина**  
и профессора **В.Д. Наумова**

**Материалы Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.Р. Вильямса. – (03 – 05 декабря 2013 г., Москва) / научное издание. – Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014. – 145 с.**

В сборнике представлены материалы Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.Р. Вильямса и 100-летию со дня рождения И.С. Кауричева. – (03 – 05 декабря 2013 г., Москва).

В работе конференции приняли участие ученые Российской академии наук и Российской академии сельскохозяйственных наук, высших учебных заведений, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, представители научно-исследовательских институтов и структур, работающих в сфере АПК, ученые из-за рубежа.

Приведенные в сборнике статьи отражают актуальные вопросы, связанные с аспектами разработки и сохранения научного наследия академика В.Р. Вильямса. Доклады участников конференции содержат доказательство того, что научное наследие В.Р. Вильямса и И.С. Кауричева действительно явилось огромным вкладом в развитие отечественного и мирового сельского хозяйства.

Сборник предназначен для научных работников и специалистов в области почвоведения, луговодства, студентов бакалавриата, магистратуры, аспирантов, преподавателей и широкому кругу читателей.

ISBN

© Баутин В.М.  
идея создания серии, 2014  
© Издательство РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева, 2014

## ЛЕГКОРАЗЛАГАЕМОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ ЗОНАЛЬНОГО РЯДА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

*Б.А. Борисов, Н.Ф. Ганжара*  
*РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева*

Состояние органического вещества почв, т.е. содержание, запасы, состав, свойства и распределение гумусовых веществ и источников гумуса в почвенном профиле является одной из важнейших характеристик почвенного плодородия.

Среди разнокачественных веществ, объединяемых понятием «гумус» важную роль в почвенном плодородии играет легкоразлагаемое (лабильное) органическое вещество (ЛОВ). К ЛОВ относят источники гумуса – растительные и животные остатки, поступающие в почву, а также детрит – промежуточные продукты разложения и гумификации источников гумуса, не связанные с минеральной частью почвы. По химическому составу лабильные органические вещества включают лигнин, низко- и среднемолекулярные углеводы, аминокислоты, пептиды и другие неспецифические соединения, новообразованные гумусовые кислоты, гуминовые и фульвокислоты, непрочно связанные с минеральной частью почвы. В составе ЛОВ лигнина 15-25%, целлюлозы 5-10%, протеина до 5%, крахмала в пределах 1%.

Если скорость обновления гумусовых веществ, связанных с минеральной частью почвы измеряется сотнями и даже тысячами лет, то скорость обновления ЛОВ в почвах составляет годы и десятки лет.

Легкоразлагаемое органическое вещество можно подразделить на внутрипочвенное и напочвенное. Типичным примером напочвенного ЛОВ являются лесные подстилки и степной войлок. Их состав и географические закономерности накопления изучены наиболее полно [2, 11, 12]. Скорость практически полного обновления лесных подстилок также составляет единицы и десятки лет [9].

Поскольку легкоразлагаемое органическое вещество является наиболее динамичной составляющей органического вещества почв, оно принимает заметное

участие во многих функциях почв и биосферы:

- питании растений и почвенных животных;
- биологической активности почв;
- регулировании состава почвенного и атмосферного воздуха;
- формировании почвенной структуры и физических свойств;
- накоплении тяжелых металлов, радионуклидов и других загрязняющих веществ.

Можно предполагать, что в разных типах почв функции ЛОВ наряду с общими могут иметь существенные различия, связанные с различной

Легкоразлагаемое органическое вещество почв является одним из основных источников питательных веществ для растений.

Важнейшей характеристикой легкоразлагаемого органического вещества является содержание в нем азота, а также величина отношения  $C : N$ , влияющая на скорость разложения ЛОВ. Основная часть азота, доступного растениям, поступает в почвы именно из легкоразлагаемого органического вещества. Сопоставление данных по урожайности сельскохозяйственных культур с содержанием ЛОВ и с возможным высвобождением азота позволило сделать заключение о том, что оптимальные значения содержания углерода ЛОВ для зерновых культур находятся в пределах 0,2-0,4% от массы почвы или 6-12 т/га в пахотном слое. При таком содержании ЛОВ с отношением  $C : N$  менее 25 урожай зерновых не лимитируется почвенным азотом. В случае, если в составе ЛОВ отношение  $C : N$  более 25, необходимо вносить азот в виде минеральных удобрений для оптимизации этого отношения, так же как и при внесении соломы зерновых [7].

В составе ЛОВ может содержаться 0,4-1,0% фосфора, 0,5-1,2% калия, 0,2-

1,0% кальция, 0,04-0,2% железа, а также повышенное количество микроэлементов, имеющих важные биологические функции и определяющих сбалансированное питание растений (магния 134–552, марганца 105–286, цинка 28–285, меди 11–44 мг/кг сухого вещества). При этом ежегодное высвобождение элементов из ЛОВ сопоставимо с выносом их урожаем [17].

В настоящей работе представлены результаты исследования содержания, запасов, времени практически полного обновления легкоразлагаемого органического вещества (ЛОВ) целинных (залежных), а также пахотных почв зонального ряда европейской части России.

Объектами наших исследований являлись следующие почвы зонального ряда Европейской части России: дерново-подзолистые почвы южно-таежной подзоны (Ивановская и Московская области), светло-серые лесные почвы лесостепной зоны (Московская область), черноземы оподзоленные, выщелоченные и типичные лесостепной зоны (Рязанская, Тамбовская и Воронежская области), черноземы обыкновенные и южные степной зоны (Волгоградская область), каштановые и светло-каштановые почвы сухостепной зоны (Волгоградская область). На каждой почвенной разности образцы отбирались из основного разреза по генетическим горизонтам, кроме того образцы отбирались из гумусовых горизонтов (на целинных почвах) или из пахотных горизонтов (на освоенных почвах) из 10 точек в пределах площадок размером 50x50 м.

Лабораторные анализы почв выполнены по следующим методикам: содержание гумуса – по Тюрину в модификации Симакова, содержание легкоразлагаемого органического вещества по предложенной нами методике отделения ЛОВ от минеральной части почвы и стабильных гумусовых веществ с помощью тяжелой жидкости плотностью 1,8 г/см<sup>3</sup> (концентрированный раствор иодида натрия), а для более тонкого препаративного отделения проведением повторной флотации в тяжелой жидкости с плотностью 1,6 г/см<sup>3</sup> [8].

Об интенсивности преобразования органического вещества можно судить по величине подстилочно-опадного ко-

эффициента (ПОК), или коэффициента разложения Кд — отношение массы подстилки к массе зеленой части опада [13]. ПОК или Кд отражает предельную величину накопления подстилки из единицы источников за год в почвах, достигших квазиравновесного состояния [6]. Время практически полного обновления ( $T_{0,96}$ ), т. е. обновления на 96% можно рассчитать по формуле:

$$T_{0,96} = 3$$

где  $N_0$  — запасы лесной подстилки (т/га);  $n$  — скорость обновления (т/га в год).

За  $n$  можно принять количество годового опада, поскольку в биогеоценозах, достигших квазиравновесного состояния количество разлагающихся органических веществ, примерно, равно количеству поступающего опада. Такими статьями расхода органических веществ, как вынос в нижележащие горизонты и закрепление в форме гумуса можно пренебречь, так как их доля в общем балансе потерь относительно невелика.

По результатам определений проведена математическая обработка, дисперсионный и корреляционный анализы выполнялись с помощью программного комплекса STRAZ.

#### **Легкоразлагаемое органическое вещество гумусовых горизонтов целинных и залежных почв зонального ряда**

В табл. 1 представлены материалы по содержанию ЛОВ в целинных и залежных почвах различных природных зон.

Анализируя данные табл. 1, можно отметить следующее: наиболее высокие показатели содержания углерода легкоразлагаемого органического вещества ( $C_{ЛОВ}$ ) отмечаются для почв южной тайги – 0,48-1,10% (исключение составляет дерново-подзолистая смытая почва залежи Ивановской области); наиболее низкие показатели  $C_{ЛОВ}$  наблюдались в черноземах обыкновенных и южных степной зоны – 0,14-0,23%. В каштановых и светло-каштановых почвах сухостепной зоны содержание  $C_{ЛОВ}$  было заметно выше, чем в черноземах степной зоны – 0,30-0,68%.

Резкое снижение содержания и запасов ЛОВ в залежных черноземах степной зоны, возможно, объясняется выпаханностью данных почв (до перехода в залежь), а также низким поступлением растительных остатков по сравнению с целинными почвами (из-за специфического характера растительности на залежи).

Таким образом, в почвах зонального ряда от дерново-подзолистых почв южной тайги к черноземам степной зоны на-

блюдалась устойчивая тенденция снижения содержания  $C_{\text{ЛОВ}}$  в почвах и снижения относительного содержания  $C_{\text{ЛОВ}}$  в % от содержания общего углерода ( $C_{\text{общ}}$ ). Однако, при движении далее на юг – к каштановым и светло-каштановым почвам сухой степи эта тенденция нарушилась – содержание  $C_{\text{ЛОВ}}$  в этих почвах и относительное его содержание в составе общего органического вещества было выше, чем в черноземах степной зоны.

### 1. Показатели накопления органического вещества в целинных и залежных почвах различных природных зон

Тип почвы, горизонт, глубина (см), биоценоз	Собщ	$C_{\text{ЛОВ}}$	$C_{\text{ЛОВ}}$ , % к Собщ	$T_{0,96}$ лет	Запасы ЛОВ, т/га	$\frac{VC_{\text{общ}}}{VC_{\text{ЛОВ}}}$
	% к массе почвы					
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<b>Южная тайга, Ивановская область</b>						
Дерново-подзолистая среднесуглинистая, А1, 3-20, елово-березовый, разнотравье	1,76	0,62	35,2	55,8	15,8	12,4 17,5
Дерново-глеевая тяжелосуглинистая, А1, 4-23, елово-березовый	2,18	1,10	50,4	70,7	31,4	7,8 21,2
Дерново-подзолистая среднесуглинистая, А1, 2-23, залежь	1,87	0,54	28,8	39,0	17,0	10,3 15,4
Дерново-подзолистая среднесуглинистая, А1, 2-19, залежь на эродированных почвах	1,11	0,30	27,0	27,0	7,7	5,7 16,2
<b>Южная тайга, Московская область</b>						
Дерново-подзолистая глееватая тяжелосуглинистая, А1, 3-18, ельник мертвопокровный	2,75	0,80	29,0	48,0	18,0	14,7 19,8
Дерново-подзолистая среднесуглинистая, А1, 3-21, елово-березовый	2,24	0,48	21,4	32,1	13,0	15,7 24,3
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, А1, 2-22, залежь	2,09	0,48	23,0	28,1	14,4	16,5 21,2
<b>Лесостепь, Московская область</b>						
Светло-серая лесная среднесуглинистая, А1, 2-21, березовый лес	2,12	0,53	25,0	23,4	14,1	7,9 15,3
Светло-серая лесная среднесуглинистая, А1, 3-24, залежь	2,55	0,52	20,4	22,5	15,3	8,9 14,8
<b>Лесостепь, Рязанская область</b>						
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый, А, 3-26, залежь	3,54	0,88	24,9	26,4	26,3	7,1 14,0
<b>Лесостепь, Тамбовская область</b>						
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, А, 2-28, залежь	3,04	0,28	9,2	8,4	9,5	10,4 15,3
<b>Лесостепь, Воронежская область</b>						

Чернозем выщелоченный среднесуглинистый, А, 3-27, лесополоса	3,47	0,65	18,7	19,5	18,7	$\frac{5,8}{13,7}$
Чернозем выщелоченный среднесуглинистый, А, 2-25, залежь	2,30	0,27	11,7	8,1	7,5	$\frac{6,4}{12,3}$
Чернозем типичный тяжелосуглинистый, А, 3-28, залежь	4,34	0,43	9,9	12,9	12,9	$\frac{7,5}{13,9}$
<b>Степь, Новоаннинский район, Волгоградская область</b>						
Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый, А, 2-26, залежь	2,77	0,23	8,3	9,0	7,2	$\frac{8,3}{17,9}$
Чернозем южный тяжелосуглинистый, А, 2-23, залежь	2,56	0,14	5,2	5,7	4,1	$\frac{8,6}{19,2}$
<b>Степь, Городищенский район, Волгоградская область</b>						
Каштановая среднесуглинистая, А, 0-22, залежь	1,31	0,35	26,7	21,0	11,6	$\frac{12,9}{23,6}$
Каштановая среднесуглинистая, А, 2-23, лесополоса с разнотравьем	1,63	0,68	42,3	30,5	21,4	$\frac{11,6}{23,2}$
<b>Степь, Средне-Ахтубинский район, Волгоградская область</b>						
Светло-каштановая среднесуглинистая, А, 0-20, залежь	0,94	0,30	32,6	22,7	9,0	$\frac{14,4}{23,6}$
Светло-каштановая среднесуглинистая, А, 0,21, залежь	1,03	0,36	35,0	27,3	11,3	$\frac{15,6}{23,7}$
НСР <sub>0,05</sub>	0,46	0,08				

Примечание. V – коэффициент вариации для площадок 50x50 м;  
НСР<sub>0,05</sub> – наименьшая существенная разность при 5% уровне значимости

Учитывая, что ежегодное поступление количества источников гумуса (растительного опада) имеет обратную направленность, т.е. уменьшается в зоне сухих степей по сравнению со степной зоной; повышенное накопление ЛОВ в почвах сухостепной зоны, по-видимому, следует объяснить резким снижением биологической активности в засушливых условиях сухостепной зоны и, как следствие, уменьшением интенсивности процессов разложения, минерализации и гумификации поступающих растительных и животных остатков. Результатом этого явилось увеличение накопления ЛОВ в почвах. Данные предположения косвенно подтверждаются результатами расчетов корреляционной зависимости показателей состояния легкоразлагаемого органического вещества почв (содержание  $C_{\text{ЛОВ}}$ , запасы  $C_{\text{ЛОВ}}$ , отношение  $C_{\text{ЛОВ}}$  к  $C_{\text{общ}}$ ) от климатических показателей (сумма активных температур,

количество осадков, коэффициент увлажнения). Например, при расчете корреляционной зависимости отношения  $C_{\text{ЛОВ}}$  к  $C_{\text{общ}}$  от коэффициента увлажнения во всем зональном ряду коэффициент корреляции составил 0,19, а в том же ряду без каштановых почв сухих степей коэффициент корреляции составил 0,89. Таким образом, в ряду, не включающем каштановые почвы, наблюдалась тесная корреляция между изучаемыми показателями, а при добавлении в тот же ряд каштановых почв корреляция становилась слабой, по-видимому, в каштановых почвах сильнее действовал какой-то другой фактор.

Для времени практически полного обновления ЛОВ ( $T_{0,96}$ ) отмечались примерно такие же закономерности, как и для содержания и запасов ЛОВ. Эта величина последовательно уменьшалась в ряду: дерново-подзолистые – серые лесные – черноземы лесостепной зоны – черноземы

степной зоны и далее заметно увеличивались в каштановых почвах сухих степей.

Легкоразлагаемое органическое вещество пахотных горизонтов почв зонального ряда

В пахотных почвах по сравнению с целинными резко изменяются количество и состав источников гумуса. Они представлены послеуборочными остатками (корневые + пожнивные) и органическими удобрениями.

Количество послеуборочных остатков зависит прежде всего от вида сельскохозяйственных культур и составляет примерно 1–2 т/га у пропашных культур, 3–4 т/га у зерновых и 4–8 т/га у многолетних трав. В среднем, по нашим расчетам в полевых севооборотах южной тайги количество послеуборочных остатков составляет 3–4 т/га, в лесостепной зоне 4–5 т/га, в степной 3–4 т/га. Органические удобрения длительное время, начиная с 30-х годов прошлого столетия, вносились в очень небольших количествах (не более 1 т/га сухого вещества по отчетным данным). Исключение составляли только овощные севообороты и прифермские участки, где дозы органических удобрений были более высокими.

Нашими исследованиями установлено, что содержание ЛОВ в пахотных почвах различных природных зон колеблется от сотых долей процента до 2% и более в зависимости от количества поступающих источников гумуса. Показано, что в

условиях опытов с одинаковыми схемами в черноземах лесостепной зоны накапливается примерно в 2 раза меньше ЛОВ по сравнению с дерново-подзолистыми почвами южной тайги [7].

В таблице 2 представлены результаты изучения легкоразлагаемого органического вещества пахотных почв зонального ряда. Относительное содержание ЛОВ в составе органического вещества в дерново-подзолистых почвах примерно в 2 раза выше по сравнению с черноземными почвами, что объясняется более высокой биологической активностью черноземов и более существенным снижением поступающих источников гумуса в пахотные черноземы по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, что обусловлено, по-видимому, особенностями севооборотов в черноземной зоне (увеличение доли пропашных культур, снижение доли многолетних трав). Наиболее высокие показатели содержания  $C_{\text{ЛОВ}}$  наблюдались в пахотных горизонтах черноземов лесостепной зоны – 0,29-0,31%. В пахотных серых лесных и дерново-подзолистых почвах содержание  $C_{\text{ЛОВ}}$  было ниже (за исключением дерново-подзолистой среднеокультуренной почвы, в которую регулярно вносили высокие дозы органических удобрений). Наиболее низким уровнем содержания  $C_{\text{ЛОВ}}$  характеризовались обыкновенные и южные черноземы степной зоны, содержание  $C_{\text{ЛОВ}}$  в каштановых почвах было несколько выше.

## 2. Показатели накопления органического вещества в пахотных горизонтах почв различных природных зон

Тип почвы, глубина пахотного слоя (см)	Собщ	$C_{\text{ЛОВ}}$	$C_{\text{ЛОВ}}, \% \text{ к}$ Собщ	$T_{0,96}, \text{ лет}$	Запасы ЛОВ, т/га	$\frac{V_{\text{Собщ}}}{V_{\text{СЛОВ}}}$
	% к массе почвы					
<b>Южная тайга, Московская область</b>						
Дерново-подзолистая среднесуглинистая, 0-23	1,11	0,17	15,3	10,5	5,1	$\frac{12,1}{17,8}$
Дерново-подзолистая эродированная среднесуглинистая, 0-22	0,96	0,10	10,4	6,3	3,0	$\frac{11,3}{16,7}$
Дерново-подзолистая среднеокультуренная среднесуглинистая, 0-26	2,34	0,85	36,3	15,9	27,6	$\frac{12,8}{18,0}$
<b>Лесостепь, Московская область</b>						
Серая лесная среднесуглинистая, 0-25	1,22	0,12	9,8	6,6	3,9	$\frac{11,4}{18,3}$

Темно-серая лесная среднесуглинистая, 0-25	2,26	0,25	11,1	12,3	7,8	$\frac{10,3}{18,1}$
<b>Лесостепь, Рязанская область</b>						
Чернозем оподзоленный, тяжело-суглинистый, 0-27	3,48	0,29	8,3	12,6	9,0	$\frac{7,9}{15,2}$
<b>Лесостепь, Тамбовская область</b>						
Чернозем выщелоченный тяжело-суглинистый, 0-28	3,74	0,31	8,3	13,2	10,0	$\frac{6,6}{14,1}$
<b>Степь, Новоаннинский район Волгоградская область</b>						
Чернозем обыкновенный тяжело-суглинистый, 0-27	2,56	0,17	6,6	8,1	5,7	$\frac{6,7}{12,5}$
Чернозем южный тяжело-суглинистый, 0-25	2,30	0,11	5,4	5,1	3,6	$\frac{6,9}{12,3}$
<b>Сухая степь, Городищенский район Волгоградская область</b>						
Каштановая среднесуглинистая, 0-24	1,06	0,21	20,0	13,3	6,8	$\frac{10,3}{18,3}$
<b>Сухая степь, Средне-Ахтубинский район Волгоградская область</b>						
Светло-каштановая среднесуглинистая, 0-23	0,87	0,13	14,6	11,6	4,1	$\frac{13,0}{19,8}$
НСР <sub>0,05</sub>	0,39	0,07				

Примечание. V – коэффициент вариации для площадки 50x50 м;  
НСР<sub>0,05</sub> – наименьшая существенная разность при 5% уровне значимости.

По относительному содержанию  $C_{\text{ЛОВ}}$  к  $C_{\text{общ}}$  более высокие показатели имели дерново-подзолистые и каштановые почвы, меньшие серые лесные и черноземы лесостепной зоны, а наиболее низкие черноземы степной зоны, что можно объяснить напряженностью биологических процессов.

Время практически полного обновления ( $T_{0,96}$ ) в пахотных почвах отличались от  $T_{0,96}$  в целинных и залежных аналогах значительной выравненностью в зональном ряду. Тем не менее, в темно-серых лесных, черноземах лесостепной зоны и каштановых почвах показатели времени практически полного обновления были несколько выше, чем в дерново-подзолистых, серых лесных и черноземах степной зоны.

Показатели вариабельности (как для  $C_{\text{общ}}$ , так и для  $C_{\text{ЛОВ}}$ ) в пахотных почвах были ниже, чем в целинных и залежных аналогах. Вариабельность этих показателей у дерново-подзолистых, серых лесных и каштановых почв была несколько выше, чем у черноземов. В пахотных почвах сохранилась тенден-

ция, отмеченная для залежных почв: заметное увеличение относительного содержания  $C_{\text{ЛОВ}}$  в каштановых почвах, по сравнению с черноземами степной зоны. Однако, различия между черноземами и каштановыми почвами по этому показателю не были такими резкими, как у залежных почв. Этот факт можно объяснить тем, что фактор обработки почв оказал нивелирующее воздействие. При расчетах корреляционной зависимости показателей состояния легкоразлагаемого органического вещества пахотных почв зонального ряда (содержание  $C_{\text{ЛОВ}}$ , запасы  $C_{\text{ЛОВ}}$ , отношение  $C_{\text{ЛОВ}}$  к  $C_{\text{общ}}$ ) от климатических показателей (сумма активных температур, количество осадков, коэффициент увлажнения) установлены такие же тенденции, как и для целинных почв зонального ряда. Например, при расчете корреляционной зависимости отношения  $C_{\text{ЛОВ}}$  к  $C_{\text{общ}}$  от количества осадков во всем зональном ряду коэффициент корреляции составил 0,07, а в том же ряду без каштановых почв сухих степей коэффициент корреляции составил

0,82. По-видимому, и в пахотных каштановых почвах, в отличие от остальных почв зонального ряда, накопление  $C_{\text{ЛОВ}}$  в большей степени определяется не количеством осадков, а снижением биологической активности в сухой сезон.

### Выводы

Проведенная работа позволила получить следующие основные результаты:

Содержание и запасы внутрипочвенного легкоразлагаемого органического вещества, включающего корневой опад разной степени разложения и гумификации, в автоморфных целинных и залежных почвах увеличивались от дерново-подзолистых почв южно-таежной подзоны к черноземам лесостепи (объясняется увеличением количества корневого опада), снижались в черноземах степной зоны (объясняется снижением количества корневого опада) и вновь увеличивались в каштановых и в светло-каштановых почвах сухих степей (объясняется увеличением сухости почвенного профиля в летний период и снижением из-за этого биологической активности);

Время практически полного обновления внутрипочвенного ЛОВ снижалось от дерново-подзолистых почв южно-таежной подзоны к черноземам обыкновенным и южным степной зоны (объясняется усилением биологической активности) и увеличивалось в каштановых почвах сухих степей (объясняется снижением биологической активности);

Для пахотных почв различных природных зон были отмечены те же закономерности по накоплению и функционированию внутрипочвенного ЛОВ, однако, они выражены слабее по сравнению с целинными и залежными аналогами, что объясняется нивелированием условий увлажнения, а также поступления и минерализации источников органического вещества;

### Список литературы

1. *Аткина Л.И.* Зональные изменения запасов опада и подстилки в сосняках Западной Сибири// Почвоведение. 2003. №8. С.980-983.

2. *Богатырев Л.Г.* О классификациях лесных подстилок// Почвоведение. 1990. №3. с.118-127.

3. *Вайчис М.В.* Главнейшие типы лесных почв Литовской ССР, их генезис и эволюция. Автореф. дисс. дсxn. Елгава, 1972. -57 с.

4. *Ганжара Н.Ф.* Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества подзолистых и черноземных почв Европейской части СССР. Автореф... дисс. д.б.н. М.:МСХА, 1988.-31 с.

5. *Ганжара Н.Ф.* Гумус, свойства почв и урожай// Почвоведение. 1998. №7. С.812-819.

6. *Ганжара Н.Ф.* Концептуальная модель гумусообразования// Почвоведение. 1997. №9. С.1075-1080.

7. *Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А.* Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв. М.: Агроконсалт, 1997. 82 с.

8. *Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф.* Практикум по почвоведению. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.

9. *Ганжара Н.Ф., Смоленцева Н.Л.* Сезонная динамика выщелачивания зольных элементов из опада в условиях средней тайги// Известия ТСХА. 1978. Вып.1. С.112-117.

10. *Гришина Л.А.* Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: Изд. Моск. ун-та, 1986. 243 с.

11. *Зонн С.В. Травлев А.П.* Географогенетические аспекты почвообразования, эволюции и охраны почв. Киев: Наукова Думка, 1989. 216 с.

12. *Карпачевский Л.О.* Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд. Моск. ун-та, 1977. 327 с.

13. *Кошельков С.П.* Лесные подстилки еловых и сосновых лесов южной тайги и принципы их классификации. Автореф... дисс. к.б.н. М., 1964.-28 с.

14. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.-Л.: Наука, Ленинградское отд., 1965. 251 с.

15. *Сапожникова В.А.* Особенности трансформации органического вещества в почвах сосновых биогеоценозов при различных экологических условиях. Авто-

реф... дисс. к.б.н. М.: Изд. Моск. ун-та, 2000. -32 с.

16. *Самойлова Е.М.* Луговые почвы лесостепи. М.: Изд. Моск. ун-та, 1982. 32 с.

17. *Середова Е.М.* Влияние органических удобрений на состояние органического вещества и свойства дерново-подзолистых почв. Автореф... дисс. к.б.н. М.: МСХА, 1998.-15 с.

18. *Фирсова В.П., Павлова Т.С.* Почвенные условия и особенности круговорота веществ в горных сосновых лесах. М.: Наука, 1983. 164 с.

19. *Черкинский А.Е., Горячкин С.В.* Органопродилы почв Севера ЕТР в составе органопродилей почв мира.// Исследование профилей почв на Европейском Севере. Архангельск, 1990. С.61-65.

## **ВКЛАД ПРОФЕССОРА И.С.КАУРИЧЕВА В ПОЗНАНИЕ ПОДЗОЛО- И ГЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ**

*Ф.Р. Зайдельман*

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова*

В этом докладе, посвящённом памяти выдающегося почвоведов нашего времени Ивана Сергеевича Кауричева, талантливого ученика академика В.Р. Вильямса [1] и профессора С.П. Яркова [20], предпринята попытка обратить внимание на два направления его деятельности, которым он посвятил большую часть своей жизни.

Во-первых, на его педагогические труды и, во-вторых, на экспериментальные исследования, связанные с изучением двух основных в лесной зоне процессов почвообразования – подзоло- и глееобразования [5]. Творчество И.С.Кауричева как педагога оказало большое положительное влияние на уровень подготовки студентов и аспирантов. Это произошло в результате создания нового учебника по курсу «Почвоведение», написанном талантливым коллективом авторов под редакцией И.С. Кауричева и его самом активном авторском участии [10]. За создание этого фундаментального учебника коллектив был удостоен Государственной премии и премии им В.Р. Вильямса 1 степени. Почти одновременно с выходом в свет третьего издания учебника для ВУЗов «Почвоведение» вышло в свет третье издание «Практикума по почвоведению» [11]. Это универсальное руководство было создано коллективом кафедры под редакцией и активном авторстве Ивана Сергеевича Кауричева. Оно охватывало практически все разделы современного почвоведения: классификацию и диагностику почв, полевые и лабораторные методы исследования физических и химических свойств почв, составления почвенно-агрономических карт. Практикум был переведён на французский и испанский языки.

Несколько слов о Иване Сергеевиче как о человеке. Он был доброжелательным,

приветливым и коммуникабельным человеком. С ним всегда было легко и интересно беседовать, особенно о почвоведении. После выхода в свет постановления правительства «О мерах по подъёму сельского хозяйства Нечернозёмной зоны» в 1974 г. Иван Сергеевич предложил мне прочитать ряд лекций о мелиорации почв Нечернозёмья на курсах повышения квалификации специалистов сельского хозяйства в ТСХА. От этих непродолжительных контактов у меня осталось впечатление о И.С.Кауричеве как светлом, оптимистичном и глубоко эрудированном педагоге, создавшем целую эпоху в агрономическом почвоведении.

Круг его научных интересов был сосредоточен на изучении роли переувлажнения и глееобразования в формировании подзолистых почв, солодей и солонцов, трансформации пород под влиянием переувлажнения. Им совместно с В.Г. Витязевым [15] и другими было исследовано влияние оглеения на гранулометрический состав почв, их удельную поверхность и другие физические свойства. И.С. Кауричев был один из первых, кто раскрыл особенности фосфатного режима почв в условиях избыточного увлажнения.

Иван Сеергевич Кауричев активно внедрял современные методы исследования почв в работу кафедры – окислительно-восстановительного потенциала, хроматографии, анализа минералогического состава почв, лизиметрические и другие методы исследования твердой, жидкой и газообразной фазы почв. Он обращал большое внимание на применение в исследовательской работе методов физического моделирования почвообразовательных процессов [12, 13, 14, 16].

Научная работа кафедры почвоведения ТСХА была всегда тесно связана

с проблемами генезиса и использования почв гумидных ландшафтов. Академик И.В. Тюрин [19] в предисловии к посмертному изданию монографии С.П. Яркова «Почвы лесолуговой зоны СССР» [20] писал: «... труд профессора С.П.Яркова является специальным исследованием... Особенно большое внимание уделяется вопросам подзолообразования. С.П. Ярков открыл новую страницу в изучении этого интересного и сложного вопроса... Работа С.П. Яркова выдвигает новые вопросы, подлежащие изучению другими специалистами». Продолжателем этого направления заслуженно стал профессор И.С. Кауричев. Он уделял особое внимание проблемам почвообразования (особенно глееобразованию – [2]) и оптимизации свойств почв Нечерноземья. Он подготовил и издал в 1991 году пособие для студентов сельскохозяйственных ВУЗов «Природно-сельскохозяйственное районирование и почвы Нечернозёмной зоны» [17]. В этом пособии дана не только агрономическая, но и мелиоративная оценка почв этого региона. В научной работе Иван Сергеевич уделял большое внимание вопросам моделирования трансформации органического вещества трав, мхов и листвы древесных пород в условиях оптимального и избыточного увлажнения. Им показано, что в анаэробных условиях в результате ферментации растительного субстрата происходит существенное увеличение содержания одно-, двух- и трёхосновных низкомолекулярных органических кислот, фенолов и полифенолов, фульвокислот [9]. Кислые продукты ферментации действуют на минеральный субстрат пород как кислоты, как комплексообразователи и как восстановители. Это приводит к образованию подвижных металл-органических комплексов, способных к миграции с током влаги в условиях застойно-промывного водного режима. Кауричевым И.С., Ноздруновой Е.М., Евсеевой Р.П. [9, 12-15] и другими было показано, что под защитой органических леганд мигрирует около 100% водорастворимого алюминия и 40-50% подвижного железа. Наши наблюдения подтверждают результаты исследований И.С.Кауричева и позволяют выска-

зать утверждение, что в реальных почвах глееобразование в анаэробных условиях при застойно-промывном водном режиме есть ни что иное, как кислотный гидролиз в анаэробной среде, т.е. кислотный гидролиз в его наиболее агрессивной форме, способной «к расшатыванию минералов» [9]. Именно эта форма глееобразования, как было показано нами, является причиной возникновения подзолистых горизонтов независимо от гранулометрического состава почв и пород. Естественная постановка вопроса – почему глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима рассматривается как единственная причина образования светлых кислых элювиальных (т.е. подзолистых) горизонтов? В современной учебной и научной литературе часто полагают, что подзолистые горизонты и почвы возникают под влиянием трёх факторов:

1. Лессиважа
2. Кислотного гидролиза
3. Глееобразования

Однако в 1964 году профессор А.А.Роде [13] на 37 разрезах суглинистых и глинистых дерново-подзолистых почв Восточно- Европейской равнины показал, что большинство таких почв с подзолистыми горизонтами формируются без участия лессиважа. Позднее нами на четырёх катенах южной тайги было изучено влияние лессиважа на формирование автоморфных и гидроморфных суглинистых и глинистых почв с хорошо выраженными подзолистыми горизонтами. В выборке из 20 разрезов лишь 5 имели признаки лессиважа. Из этих и других данных сделан вывод о том, что лессиваж не является обязательным процессом почвообразования. Это явление имеет скорее факультативный характер [6,8].

Для формирования подзолистого горизонта необходимо два обязательных условия. Во-первых, переход в почвенный раствор в анаэробной среде железа, марганца, алюминия, титана, кальция и других элементов. Во-вторых, их вынос в условиях застойно-промывного водного режима. Только в этих условиях возможно образование подзолистых горизонтов. Все эти условия в полной мере отражаются в понятии «глееобразование в условиях

застойно–промывного водного режима». Оно само по себе выполняет функции кислотного гидролиза, обеспечивает анаэробиз и застойно-промывной водный режим. Эта форма глееобразования «расшатывает минералы» [9]. Поэтому дополнительное указание на кислотный гидролиз (т.е. на второй фактор подзолообразования) в этом случае становится излишним. Это подтверждает следующая схема (таблица 1).

В этой связи следует подчеркнуть, что в лесной и лесостепной зонах кислотный гидролиз проявляется не в одной, как полагают в настоящее время, а в трех различных формах (таблица 1). В случае оглеенных почв, как следует из таблицы 1, действуют две формы.

Установлено, что в природной среде кислотный гидролиз гидроморфных почв проявляется в двух разных формах, которые определяются их водным режимом – 1. кислотный гидролиз в застойном и 2. кислотный гидролиз в условиях застойно-промывного водного режима [4-6]. Нами на основе природных наблюдений и модельных исследований [4] установлено, что в условиях застойного режима практически не происходит выноса элементов, стабильны свойства твёрдой фазы, имеет место слабое подщелачивание. Поэтому в их профиле не возникают подзолистые горизонты [таблица 2].

Напротив, в условиях застойно-промывного водного режима происходит

существенное подкисление среды, значительный вынос железа, марганца, алюминия, кальция и других элементов; резкое снижение степени насыщенности основаниями, относительное увеличение содержания  $\text{SiO}_2$  и фульвокислот, обезыливание верхних горизонтов и их осветление [таблица 2].

Таким образом, глееобразование при застойно-промывном водном режиме оказывает интегральное триединое воздействие на твёрдую фазу почв:

1. оно сопровождается образованием анаэробной среды; 2. кислотным гидролизом и переводом в подвижное состояние основные элементы почв 3. их выносом.

Поскольку глееобразование при застойно-промывном водном режиме сопровождается выносом большинства металлов, освобождением минеральных зёрен от гидроокисных кутан, деструкцией почвенных минералов, снижением степени насыщенности основаниями ППК (в 2-3 раза) и рН, повышением содержания кремнезёма в поверхностных слоях и изменением их окраски на белёсый цвет есть все основания признать, что глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима на кислых, нейтральных и выщелоченных породах является необходимым, достаточным и единственным условием образования подзолистых горизонтов.

Более полно содержание этого доклада изложено в монографии автора (по списку литературы к этой статье – 4).

Таблица 1

**Три формы кислотного гидролиза и три группы почв на кислых, нейтральных и выщелоченных породах в условиях промывного, постоянно застойного и застойно-промывного водного режима**

Почвообразовательные процессы - формы кислотного гидролиза		
Неоглеенные почвы	Оглеенные почвы	
1. Кислотный гидролиз в аэробной среде на фоне промывного водного режима	2. Кислотный гидролиз в анаэробной среде в условиях постоянного оглеения и застойного водного режима	3. Кислотный гидролиз в анаэробно-аэробной среде в условиях пульсирующего оглеения и застойно-промывного водного режима
Почвы не заболоченные: бурые кислые недифференцированные	Почвы интенсивно заболоченные недифференцированные: дерново-глеевые, торфянисто-глеевые, торфяно-глеевые	Почвы кислые дифференцированные разной степени оглеения с чётко выраженными гор. А2: подзолы, подзолистые, дерново-подзолистые, солоди, рисовые подзолы, подбелы и др.

**Изменение свойств почв и процессов на кислых и выщелоченных породах под влиянием глееобразования при застойном и застойно-промывном типах водного режима (по материалам модельных и натуральных исследований)**

Свойства почв и процессы	Изменения свойств почв и процессов в результате глееобразования на фоне водного режима	
	застойного	застойно-промывного
1. Вынос Fe	умеренный	интенсивный
2. Вынос Al	не выражен	интенсивный
3. Вынос Ca и Mg	не выражен или слабый	интенсивный
4. pH	без изменений или слабое подщелачивание	резкое подкисление (на 1-2 ед. pH)
б. Подвижный алюминий	без изменений	резкое увеличение (на 1-2 порядка)
6. Гидролитическая к-ть	без изменений	резкое увеличение (в 3-4 раза)
7. Степень насыщенности	без изменений	резкое уменьшение (в 3-4 раза)
8. Содержание ила	заметное увеличение	существенное уменьшение
9. Внешняя удельная поверхность	заметное увеличение	уменьшение
10. Конкрецеобразование	не выражено	заметное или интенсивное
11. Цвет горизонта	сизый, голубоватый, синий, синеватый	белёсый, ярко-белый, сероватый, светло-палевый

### Список литературы

1. Вильямс В.Р. Почвоведение. Собр. Соч. М.: Сельхозгиз, 1949. т.1. 447 с.
2. Высоцкий Г.Н. Глей // Почвоведение. 1905. №4. С.291-327.
3. Евсеева Р.П. Водорастворимые соединения алюминия в подзолистых и дерново-подзолистых почвах. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. М.: ТСХА. 1968. 17 с.
4. Зайдельман Ф.Р. Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и её прикладные аспекты. М.: Изд-во Красанд, 2009. 249 с.
5. Зайдельман Ф.Р. Подзоло- и глееобразование. М.: Изд-во Наука, 1974. 204 с.
6. Зайдельман Ф.Р. Закономерности формирования светлых кислых элювиальных горизонтов в профиле почв. Диплом № 3711. Научные открытия за 1995-1996 гг. Приоритет от 28 июля 1974 г. Изд-во РАЕН и ААНО, 1997. С.14.
7. Зайдельман Ф.Р. Естественное и антропогенное переувлажнение почв. Спб. Гидрометеиздат, 1992. 288 с.
8. Зайдельман Ф.Р. Лессиваж и его связь с гидрологическим режимом почв // Почвоведение. 2007. № 2. С. 133–144.
9. Кауричев И.С., Ноздрунова Е.М. Общие черты генезиса почв временно- избыточного увлажнения // Новое в теории оподзоливания и осолодения. М.: Изд-во Наука, 1964. С. 45-61.
10. Кауричев И.С. (отв. редактор и автор). Почвоведение. 3-е издание. М.: Изд-во Колос. 1982. 496 с.
11. Кауричев И.С. (отв. редактор и автор). Практикум по почвоведению. М.: 3-е издание. Изд-во Колос. 1980. 272 с.
12. Кауричев И.С., Ноздрунова Е.М., Евсеева Р.П. Водорастворимый алюминий в почвах таежной зоны // Известия сельскохозяйственной академии. 1968. № 6. 145-151.
13. Кауричев И.С., Базелинская М.В., Заболотнова Л.А. Действие водных экстрактов из растительности на вынос и поглощение зольных элементов некоторыми минералами и породой // Известия ТСХА, 1976. №5. С. 107-116.

14. Кауричев И.С., Базелинская М.В., Заболотнова Л.А. Влияние водорастворимых органических веществ на подвижность железа, алюминия и кремния некоторых минералов и пород // Известия ТСХА. 1974. С.106-113.

15. Кауричев И.С., Витязев В.Г., Рабий А.М. Влияние оглеения на удельную поверхность почв и пород // Известия ТСХА. 1979. №1. С.83-92.

16. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: Изд-во Колос, 1982. 247 с.

17. Кауричев И.С. «Природно-сельскохозяйственное районирование и почвы Нечерноземной зоны». Учебное пособие. М.: Изд-во Колос. 1991. 56 с.

18. Роде А.А. К вопросу об оподзоливании и лессиваже // Почвоведение. 1964. №7. С. 9-23.

19. Тюрин И.В. Предисловие к монографии С.П. Яркова. Почвы лесолуговой зоны. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 318 с.

20. Ярков С.П. Почвы лесолуговой зоны. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 318 с.

## ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ СВОБОДНОГО КИСЛОРОДА СИСТЕМОЙ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ

*Н.Н. Игнатъев, Г.Н. Истомина, А.О. Бирюков*  
*РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева*

Поглощение свободного кислорода почвой и развившимися в ней корнями отражают процессы, происходящие в системе почва-растение. Однако, необходимо в каждом случае истолкование полученных результатов и учет условий, в которых осуществляется поглощения  $O_2$ .

В настоящей работе мы приводим пример указанного истолкования.

В опыте(3) была использована пахотная легкосуглинистая дерново-подзолистая почва (гумус-1,9%; рНсол.-6,3) с Цветочной станции РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева. Были также использованы семидневные проростки озимой пшеницы, семена которых перед проращиванием 10 секунд обрабатывали растворами солей кобальта и лимонной кислоты по вариантам, и дистиллированной водой в контроле.

*Таблица 1*

**Поглощение  $O_2$  системой почва – растение под влиянием кобальта и лимонной кислоты**

№ п/п	Варианты	$O_2$ мл/кгч	Число корней, шт. на 1 растение	$O_2$ мл/кг зерна/ч
1	Контроль – $H_2O$	4,50	21	180
2	Лимонная кислота	4,91	20	180
3	$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	5,07	20	109
4	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	3,56	24	133
5	Лимонная кислота+ $CoSO_4 \cdot 7H_2O$	3,20	26	79
6	Лимонная кислота + $CoCl_2 \cdot 6H_2O$	3,47	33	70
	НСР	0,55	2,8	34,4

Как видим из таблицы 1, лимонная кислота проявляет себя как слабый стимулятор, Соли кобальта по отдельности проявили себя противоположным образом., а растворенные в лимонной кислоте соли кобальта по отдельности привели к резкому по сравнению с контролем скорости поглощения кислорода системой, и это при условии, что концентрация каждого компонента составляла по 0,002%. Мы не ожидали снижения поглощения  $O_2$ , мы надеялись на повышение. Результат следует объяснить. Первая мысль- с растением неблагоприятно. Но после подсчета корней их оказалось больше всего на одно растение в последних двух вариантах. Мы предположили, что за счет увеличения

корней и за счет стимулирующего эффекта лимонной кислоты и кобальта выделительная деятельность корней усилилась.

В корневых выделениях насчитывается 15 групп токсинов (2). Увеличение токсинов в почве вполне могло частично подавить функционирование почвенной микрофлоры и привести к снижению скорости расхода кислорода в почве. Но это надо доказать.

Мы получили водные вытяжки из почвы по каждому варианту. Из каждого варианта обработали навеску зерна соответствующей вытяжкой и через сутки определили скорость поглощения кислорода проросшим зерном. Как видно из таблицы 1, самая небольшая скорость имела место в послед-

них двух вариантах. Это говорит о том, что в этих вариантах в почве было наибольшее количество токсинов, которые и подавили дыхание зерна в последних двух вариантах значительно, чем в других. Это подтверждает наше предположение о накоплении токсинов в почве и частичном подавлении почвенной микрофлоры.

Для подтверждения установленной тенденции мы повторили опыт (таблица 3)

с использованием другой почвы, другого растения и других стимуляторов(1). В качестве почвы был использован тепличный грунт на торфяной основе. В качестве растений – семидневные проростки огурцов, в качестве стимуляторов – Симбионт-2; Симбионт-3 и Медный купорос. Используются следующие сокращения: П-почва, Р-растение, У-удобрение, (п)-в почву, (с)-по семенам.

Таблица 2

**Поглощение кислорода тепличным грунтом с корнями огуречных проростков**

№ п/п	Варианты	O <sub>2</sub> мл/кгч
1	ПРУ С-2	63,6
2	ПРУ CuSO <sub>4</sub> (п) С-2	73,1
3	ПРУ CuSO <sub>4</sub> (п) CuSO <sub>4</sub> (с) С-2	53,1
4	ПРУ CuSO <sub>4</sub> (п) CuSO <sub>4</sub> (с) С-3	44,7

Из таблицы 2 видно, что при нормальной стимуляции (вариант 2) скорость поглощения кислорода была наибольшей. Но стоило усилить стимуляцию добавив медь по семенам, как поглощения кислорода почвой с корнями резко снизилось (вариант-3). Когда заменили Симбионт-2 на более активный Симбионт-3, скорость поглощения O<sub>2</sub> снизилась еще более (вариант-4).

Таким образом, получена полная аналогия опыту в таблице 1. О.В. Селиц-

кая определила микробную массу в почве второго опыта(4) по вариантам таблицы 2. Результаты представлены в таблице 3. Из таблицы 3 видно, что самая высокая микробная масса имела место в первом варианте, то есть при нормальной стимуляции. При повышенной стимуляции микробная масса сокращалась почти вдвое (вариант 2 и 3).

Таким образом, наше предположение о частичном подавлении почвенной микрофлоры оправдалось.

Таблица 3

**Микробная масса при разных уровнях стимуляции**

№ п/п	Варианты	O <sub>2</sub> мл/кгч	Микробная биомасса	
			Мкг С/г почвы	%
1	ПРУ CuSO <sub>4</sub> (п) С-2	73,6	0,195	100
2	ПРУ CuSO <sub>4</sub> (п) CuSO <sub>4</sub> (с) С-2	53,1	0,105	54
3	ПРУ CuSO <sub>4</sub> (п) CuSO <sub>4</sub> (з) С-3	44,7	0,108	55

**Выводы:**

При избыточной стимуляции по семенам скорость поглощения кислорода системой почва-растение резко снижается.

Косвенно по торможению дыхания проросших семян озимой пшеницы установлено, что при избыточной стимуляции по семенам в почве накапливается избыточное количество токсинов.

При избыточной стимуляции по семенам микробная масса в почве в условиях опыта резко снижалась.

#### **Библиографический список**

1. Андриюшин Д.А. Поглощение кислорода системой почва-растение при разных уровнях питания растений. Канд. дисс. М.: МСХА им. К.А.Тимирязева, 2005г.

2. Гродзинский А.М. и соавторы. Аллелопатическое почвоутомление \ А.М.

Гродзинский, Г.П. Богдан, Э.А. Головки и др. Киев: Наукова думка, 1979.

3. Егрина Г.Н. Поглощение кислорода системой почва-растение в условиях применения лимонной кислоты и кобальта. Кандидатская диссертация, М.; МСХА им. К.А.Тимирязева, 1986.

4. Игнатъев Н.Н., Селицкая О.В., Бирюков А.О. Особенности стимулирующей и ингибирующей активности тепличного грунта при применении регуляторов роста растений. \ Известия ТСХА, 2005. Вып. 4. с. 3-10.

## ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД И ВЕРМИГУМАТА НА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

*В.А. Касатиков<sup>1</sup>, В.А. Черников<sup>2</sup>, В.А. Раскатов<sup>2</sup>*  
*1. ГНУ ВНИИОУ, 2. РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева*

В настоящее время резко обострились проблемы, связанные с загрязнением биосферы, нередко приводящим к острым экологическим ситуациям. Это вызвало расширение и интенсификацию исследований масштабов и темпов загрязнения окружающей среды, поиск эффективных приемов охраны почвенного покрова, водных ресурсов, атмосферного воздуха. Такие приемы и средства должны предусматривать снижение потоков химических загрязняющих веществ, поступающих в биосферу с выбросами промышленности, транспорта, с бытовыми отходами. Необходимо ограничение или полное устранение токсичного действия различных веществ техногенного происхождения на растительный и животный мир и главным образом предотвращения отрицательного их влияния на здоровье человека [1].

Но есть и другой путь – производство и применение удобрений на основе различного вида органических отходов, в частности осадков городских сточных вод.

Внесение осадков городских сточных вод в почву или производство на их основе различных компостов – один из основных

путей решения проблемы их утилизации. Это связано с тем, что по содержанию тяжелых металлов, являющихся в основной массе микроэлементами осадки сточных вод по нормативным и показателям относятся преимущественно к категории чистая почва. При их внесении в почву в виде органических или органоминеральных удобрений почва обогащается питательными макро – и микроэлементами (азотом, фосфором, кальцием, магнием, молибденом, цинком, медью марганцем, кобальтом и др.) и органическим веществом.

Органическое вещество, удобрительные макро – и микроэлементы, позволяет рассматривать ОСВ в качестве существенного источника питательных веществ в общем балансе удобрительных ресурсов как по регионам, так и в стране (табл. 1).

В ходе многолетних исследований в опыте с систематическим внесением возрастающих доз ОСВ как совместно с доломитовой мукой, так и без нее было выявлено, что ОСВ как органическое удобрение способствует накоплению органического углерода в пахотном горизонте почвы (табл. 2).

*Таблица 1*

### Ресурсы осадков сточных вод по объему производства и удобрительным макроэлементам

Округ	Объем, тыс. т сух. в-ва	азот	фосфор	калий
		тыс. т		
Центральный	684	10,26	13,68	2,74
Северо-Западный	184	2,76	3,68	0,74
Южный	536	8,04	10,72	2,14
Приволжский	677	10,16	13,54	2,71
Уральский	470	7,05	9,40	1,88
Сибирский	482	7,23	9,64	1,93
Дальневосточный	171	2,56	3,42	0,68
Российская Федерация	3204	48,06	64,08	12,82

Содержание Сорг. увеличивается в среднем в 1,3 - 2,0 раза по сравнению с контрольным вариантом при внесении минимальной и максимальной доз осадка, равных соответственно 165 и 1320 т/га, внесенных за период 1984-2011гг. Причем необходимо отметить, что при совместном использовании ОСВ и извести этот показатель выше, чем при использовании одного осадка. Очевидно, что это связано с высокой степенью подвижности органического вещества осадка, которое без внесения извести легко мигрирует вниз по профилю. Подтверждением этого предположения служит содержание органического углерода в подпахотном горизонте почвы, которое выше чем на вариантах с совместным внесением ОСВ и извести. Тем самым можно сделать вывод о том, что использование извести при внесении ОСВ препятствует миграции органического вещества осадков вниз по профилю, способствуя накоплению Сорг. в пахотном горизонте почв.

При внесении ОСВ в почву происходит закономерное увеличение содержания подвижного фосфора, что связано с высоким содержанием биодоступных форм фосфора в самих ОСВ. При систематическом внесении ОСВ почва из разряда мало обеспеченной фосфором переходит в разряд высоко обеспеченных. Следует отметить, что внесение ОСВ оказало влияние на содержание фосфора как в пахотном, так и в подпахотном горизонте почвы (табл. 2).

Общей тенденцией является увеличение содержания фосфора в пахотном и подпахотном горизонтах почвы при применении извести совместно с ОСВ, что связано с преимущественным образованием фосфатов кальция, а не железа. Исследования, проводимые с ОСВ, флокулированных неорганическим флокулянт (CaCo<sub>3</sub>+FeCl<sub>3</sub>), выявили обратную зависимость по миграции подвижного фосфора за счет преимущественного образования фосфатов железа.

Таблица 2  
Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой супесчаной почвы, 2012 г.

Вариант	pH <sub>KCL</sub>	H <sub>r</sub>	$\frac{Sn_o}{Ca + Mg}$	ЕКО	v, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	C <sub>общ.</sub> , %	Гумус, %
						мг-экв./100 г			
1. Контроль	6,2	0,76	6,79	7,59	90	31	3,7	0,937	1,62
	6,0	0,83	6,20	7,13	88	12	2,6	-	-
2. ОСВ 15 т/га + дол. мука 3 т/га	6,4	0,65	7,46	8,11	92	81	3,9	1,046	1,80
	6,1	0,70	6,42	7,12	90	36	2,7	-	-
3. ОСВ 30 т/га + дол. мука 3 т/га	6,34	0,61	7,43	8,04	92	97	4,1	1,085	1,87
	6,20	0,64	6,69	7,33	91	52	2,4	-	-
4. ОСВ 60 т/га + дол. мука 3 т/га	6,4	0,71	7,37	8,08	91	170	4,5	1,389	2,39
	6,20	0,65	6,73	7,38	92	86	2,9	-	-
5. ОСВ 120 т/га + дол. мука 3 т/га	6,4	0,83	7,40	8,23	90	219	5,6	1,740	3,00
	6,3	0,67	6,79	7,46	91	99	3,2	-	-
6. ОСВ 15 т/га + дол. мука 6 т/га	6,4	0,63	7,38	8,01	92	87	3,9	0,994	1,71
	6,3	0,62	7,09	7,71	92	39	2,8	-	-
7. ОСВ 30 т/га + дол. мука 6 т/га	6,4	0,62	7,44	8,06	92	102	3,9	1,263	2,18
	6,4	0,61	6,95	7,56	92	57	2,7	-	-
8. ОСВ 60 т/га + дол. мука 6 т/га	6,5	0,63	7,55	8,18	92	151	4,4	1,423	2,45
	6,4	0,59	7,06	7,65	92	86	2,8	-	-
9. ОСВ 120 т/га + дол. мука 6 т/га	6,5	0,76	7,60	8,36	91	269	6,4	1,930	3,33
	6,4	0,67	6,81	7,48	91	131	3,5	-	-

10. ОСВ 15 т/га + дол. мука 9 т/га	<u>6,5</u> 6,5	<u>0,61</u> 0,56	<u>7,42</u> 7,16	<u>8,03</u> 7,72	<u>92</u> 93	<u>90</u> 39	<u>3,8</u> 3,5	<u>1,076</u> -	<u>1,86</u> -
11. ОСВ 30 т/га + дол. мука 9 т/га	<u>6,5</u> 6,5	<u>0,57</u> 0,59	<u>7,61</u> 7,14	<u>8,18</u> 7,73	<u>93</u> 92	<u>99</u> 51	<u>3,9</u> 2,7	<u>1,124</u> -	<u>1,94</u> -
12. ОСВ 60 т/га + дол. мука 9 т/га	<u>6,5</u> 6,5	<u>0,67</u> 0,53	<u>7,70</u> 7,60	<u>8,37</u> 8,13	<u>92</u> 93	<u>146</u> 91	<u>4,3</u> 2,8	<u>1,277</u> -	<u>2,20</u> -
13. ОСВ 120 т/га + дол. мука 9 т/га	<u>6,5</u> 6,5	<u>0,65</u> 0,53	<u>7,85</u> 7,60	<u>8,50</u> 8,13	<u>92</u> 93	<u>222</u> 99	<u>5,6</u> 3,2	<u>1,802</u> -	<u>3,11</u> -

Примечание: над чертой – слой почвы 0-20 см, под чертой – слой почвы 20-40 см

Таким образом, в стандартных условиях при известковании почвы повышается миграционная способность фосфора, в то время, как миграция органического вещества, напротив, снижается, хотя и не отсутствует полностью. Очевидно, что миграция фосфора в нижележащие горизонты происходит преимущественно в виде растворимых Са – фосфатов и в меньшей степени в составе органического вещества.

В связи с этим можно сделать вывод о том, что использование осадков сточных вод в качестве нетрадиционного органического удобрения способствует улучшению агрохимических показателей почвы: ОСВ поддерживают реакцию почвенной среды близкой к нейтральной; внесение возрастающих доз ОСВ увеличивает содержание органического углерода в пахотном горизонте почвы; по содержанию подвижного фосфора почва из разряда слабо обеспеченных переходит в разряд высоко обеспеченных. Низкий уровень содержания калия в ОСВ предполагает применение калийных удобрений.

Более углубленные исследования, проведенные на втором году последствия ОСВ в 2013г. выявили, что степень гумусированности почвы сохраняется на высоком уровне в отсутствии зависимости от уровня известкования почвы (табл. 3). И действительно ее значение при периодическом уровне известкования 3 т/га доломитовой муки повысилось на 14-76 %, при 6 т/га – на 5,4-80%, при 9 т/га – на 4,7-77%. В то же время с ростом степени известкования закономерно возрастает содержание гуминовых кислот с максимумом

при уровне известкования 6 т/га доломитовой муки. Это находит отражение и в степени гумификации органического вещества почвы. Содержание лабильного и водорастворимого гумуса зависит в основном от доз внесенных ОСВ.

При этом осадки сточных вод являются не столько органическим удобрением, но в большей степени органоминеральным мелиорантом, существенно изменяющим не только гумусовое состояние почвы, но и ее основные физико-химические показатели.

В связи с внедрением в растениеводство современных интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур проблема разработки технологии получения и применения адаптированных ростовых регуляторов приобретает большое значение, прежде всего, в зонах «рискованного» земледелия и зонах с интенсивным использованием земли, а также тепличных хозяйствах. При этом часто возникает необходимость стимуляции прорастания семян и повышения потенциальных возможностей сопротивления растений к неблагоприятным агроклиматическим условиям. Многочисленными исследованиями установлено стимулирующее действие гуминовых соединений на рост и развитие растений, повышение их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды. При систематическом использовании препаратов улучшается почвенная структура, буферные и ионообменные свойства почвы, активизируется деятельность почвенных микроорганизмов, минеральные элементы переводятся в доступную для растений форму [2].

**Влияние последствия осадка сточных вод и известкования на состав и качественные показатели органического вещества дерново-подзолистой супесчаной почвы, слой 0-20 см.**

Вариант	Сгум. %	Групповой состав гумуса, %					Лаб. гумус	Водор. гумус
		$\frac{\Sigma C_{гк.} + C_{фк.}}{C_{фк.}}$	$C_{гк.}$	$C_{фк.}$	$\frac{C_{гк.}}{C_{фк.}}$	$C_{ост}$		
Контроль (б/у)	0,853	0,261	0,105	0,156	0,67	0,592	13,2	2,9
ОСВ 165 т/га + дол. мука 3 т/га	0,977	0,301	0,091	0,210	0,43	0,676	12,9	2,7
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 3 т/га	1,50	0,427	0,158	0,269	0,59	1,073	13,2	2,4
ОСВ 165 т/га + дол. мука 6 т/га	0,898	0,256	0,143	0,113	1,26	0,642	13,4	2,7
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 6 т/га	1,54	0,419	0,229	0,190	1,21	1,121	13,2	2,2
ОСВ 165 т/га + дол. мука 9 т/га	0,893	0,279	0,119	0,160	0,74	0,614	14,4	2,8
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 9 т/га	1,511	0,473	0,173	0,264	0,65	1,038	12,8	2,4

Преимущества гуминовых препаратов заключаются в возможности сокращения расхода минеральных удобрений без ущерба для урожая вследствие повышения усваивания питательных веществ и в возможности значительно уменьшить количество применяемых пестицидов, не снижая при этом эффективности их действия, что чрезвычайно важно как в экономическом, так и экологическом аспектах [3].

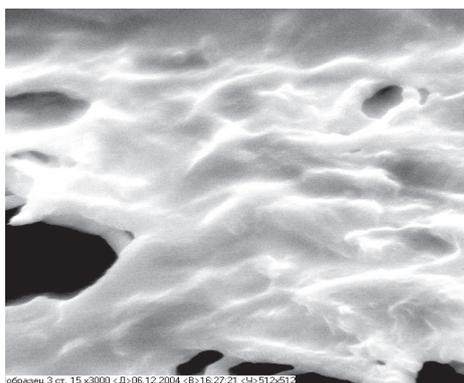
Следует отметить, однако, что гуминовые препараты, поступающие на рынок, существенно различаются по своим свойствам в зависимости от вида сырья, способа производства препарата и формы готового продукта. Поэтому расширение областей применения гуминовых препаратов ограничивается в настоящее время недостатком теоретических исследований, посвященных проблемам количественного описания структуры и свойств гумусовых соединений и механизмам их действия. Исследования в этом направлении проводились нами в последние 8 лет с использованием гуматов, выделенных из вермикомпостов, полученных из субстратов на основе осадка городских сточных вод и навоза КРС. Исследования по проблеме гумусовых соединений рассматри-

вались нами в следующих направлениях: 1) Изучение строения вермигуматов (гумусовых соединений) методом электронной микроскопии; 2) Влияние вермигуматов на агроэкологические свойства почвы и урожайность полевых культур, а также миграцию тяжелых металлов в системе почва-растение. Результаты исследований вермигуматов (ВГ), выделенных из вермикомпостов на основе навоза КРС и ОСВ с помощью РЭМ BS-300 (ЧССР), позволили выявить один из механизмов их воздействия на семена и растения зерновых культур, объяснили необходимость использования очень низких концентраций растворов вермигуматов. Известно, что при использовании физиологически активных веществ их значительная часть используется неэффективно; плохо удерживается на поверхности семян при их обработке, тем самым снижая эколого-функциональный эффект всхожести семян и их действия в определенные фенологические фазы развития растений. Водные растворы этих соединений обладают высокой адгезией и растекаемостью. Вермигуматы могут образовывать рыхлые пористые пленки на поверхности растений (фото. 1,2). Строение пленок таково, что они не нарушают газовый обмен, но в то же

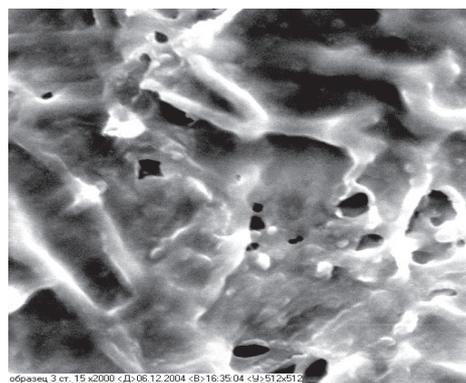
время способствуют лучшему усвоению питательных элементов из почвы на разных стадиях развития семян и растений. Для выявления прочности закрепления водной пленкообразующей массы вермигуматов на поверхности семян и растений были проведены лабораторные опыты на смываемость вермигуматов, выделенных из вермикомпоста на основе навоза КРС

(ВГн) с поверхности семян и листьев водой с разным временем высушивания от 0,5 до 10 час.

Полученные результаты подтвердили предположение о слабой и средней смываемости пористой пленкообразующей массы (по данным инструментальной диагностики и вегетационного опыта).

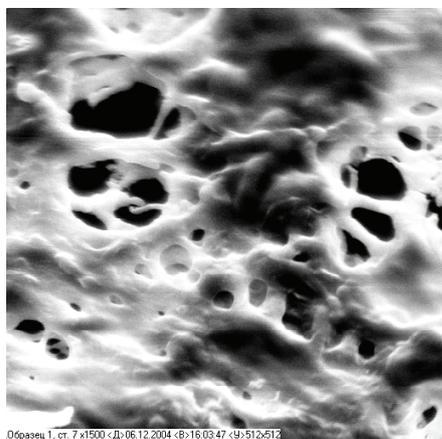


А

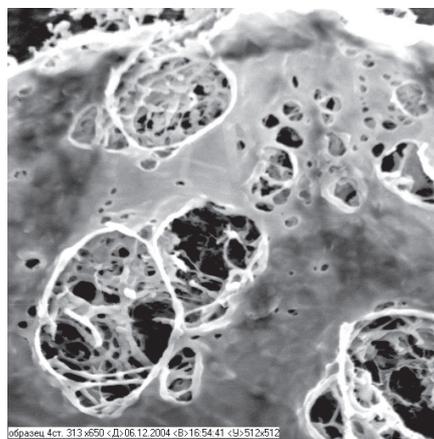


Б

Фото. 1. Структурная организация органо-минеральной части матрицы вермигуматов ВГн: А – на свежесколотой слюде размером 6х6 мм<sup>2</sup> (контроль), Б – на поверхности семян овса. Увел. 2,5 тыс.



А



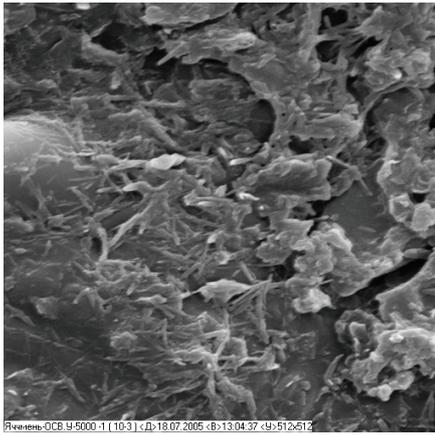
Б

Фото. 2. Структурно-морфологические особенности отдельных фрагментов макро- и микроструктур экологической организации ВГн: А - на поверхности семян ячменя, Б - на поверхности листьев ячменя. Увел. 3 тыс.

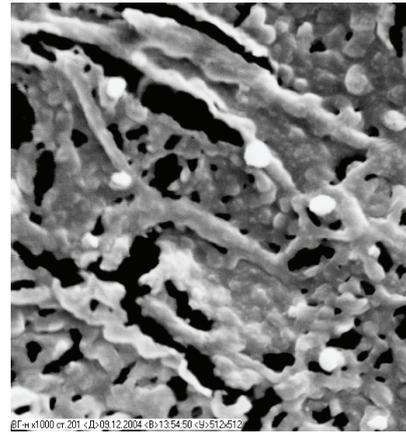
Образовавшаяся пленка ВГн. в основном прочно удерживается на поверхности семян и листьев растений, увеличивая одновременно длительность контакта с их поверхностью.

Просмотр образовавшихся пленок проводили на РЭМ BS-300 (ЧССР)

при увеличениях 3-10 тыс. (фото 3,4,5). Следует отметить, что с помощью РЭМ смогли наблюдать поровые пространства (микропористость) диаметром более 20 нм. Подобное увеличение находилось на уровне разрешающей возможности прибора.



А



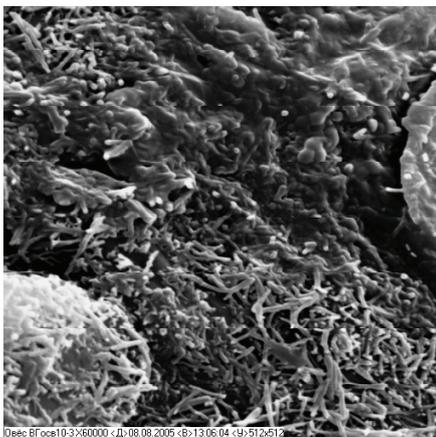
Б

Фото 3. Структурно-морфологические особенности отдельных фрагментов макро- и микроструктур экологического каркаса гумусовых веществ, выделенных из вермикомпоста на основе ОСВ (ВГосв): А - на поверхности семян ячменя, Б - на поверхности листьев. Увел. 1-5 тыс.

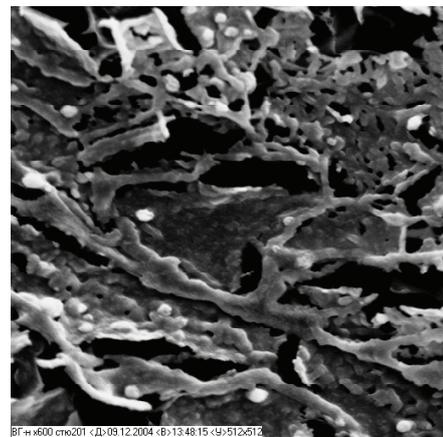
Поры составляют 80—90% общей поверхности. Большинство пор имеют сглаженные края («оплавленные» стенки), которые образовались, вероятно, в результате быстрого усыхания наносимых растворов. На микрофотографии отмечаются участки с порообразованием из сросшихся глобул с полидисперсным распределением по размерам (60-250 нм, фото 3).

При растекании растворов по поверхности листьев происходит вытягивание материала, что ведет к возникновению фибриллярной структуры с крупными порами. Следствием дальнейшего деформирования при высыхании является частичное разрушение различных участков пленки

с появлением «островковых» образований, дислоцирующихся, в основном, в макрозонах с сильно волнистой поверхностью семян и листовой пластинки (фото 3). В лабораторных опытах было установлено, что водные растворы данных соединений с концентрацией 0,001%—0,0005 % образуют пористые пленки толщиной 300—600 нм. На поверхности органо-минеральной части матрицы вермигуматов встречаются тонкие, мельчайшие, со слегка изогнутыми краями микроструктуры, различающиеся по форме и размерам (фото 4).



А



Б

Фото 4. Морфология отдельных фрагментов макро- и микроструктур экологического каркаса вермигуматов ВГн и ВГосв при обработке семян (А) и листьев овса (Б). Увел.3-5тыс.

На фотографиях отчетливо видны изолированные агрегаты, состоящие из листоподобных и чешуйчатых структур (фото 4). Таким образом полученные данные позволили установить структурно-морфологическую организацию ВГн и ВГосв. Влияние вермигуматов на агроэкологические свойства почвы, урожайность полевых культур, а также миграцию тяжелых металлов в системе почва-растение в мелкоделяночном и микрополевым опытах.

Действие вермигуматов на растения обусловлено их прямым и косвенным влиянием. Косвенное влияние связано с улучшением водно-физических свойств почвы, активизацией микрофлоры, влиянием на миграцию питательных элементов, повышением коэффициента использования минеральных удобрений, связыванием токсических веществ (пестицидов, тяжелых металлов и др.).

Полученные в ходе исследований результаты подтверждают положительное

влияние прямого и косвенного влияния вермигуматов на почву агроценоза. При обработке семян зерновых культур перед посевом это влияние выражено слабее, по сравнению с непосредственным внесением вермигуматов в почву. Но даже замачивание семян перед посевом способствует созданию условий для наилучшего развития их корневой системы, и более полного усвоения растениями питательных веществ (табл.4).

Почва на всех вариантах кроме контроля характеризуется более благоприятными для роста растений показателями обменной кислотности. Возрастает сумма поглощенных оснований, наблюдается более высокое содержание питательных элементов. В частности содержание фосфора возросло на 27-41 %, а калия - на 13-23 %. Это свидетельствует о том, что вермигуматы способствуют более полному переходу питательных веществ в усвояемые для растений формы.

Таблица 4

**Влияние обработки семян ячменя вермигуматами на агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы, слой 0-20 см.**

Вариант опыта	pH ксл.	Hг, мг-экв/кг	S, мг-экв/кг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г	K <sub>2</sub> O, мг/100 г
1. Контроль	5,04	1,34	4,24	9,5	5,2
2. ВГн (5·10 <sup>-4</sup> ), обработка семян	5,17	1,40	4,61	12,1	5,9
3. ВГосв(5·10 <sup>-4</sup> ), обработка семян	5,17	1,37	4,73	12,1	6,4
4. ВГн (5·10 <sup>-4</sup> ), обработка семян + обработка растений	5,28	1,39	6,06	12,1	6,4
5. ВГосв (5·10 <sup>-4</sup> ), обработка семян + обработка растений	5,27	1,35	5,82	12,5	6,0
6. Вермикомпост (10 т/га)	5,25	1,28	5,33	13,4	6,2
7. ВГн (1·10 <sup>-3</sup> ), обработка семян	5,33	1,48	5,69	12,8	6,2
8. ВГосв (1·10 <sup>-3</sup> ), обработка семян	5,37	1,29	5,58	12,9	6,2
НСР <sub>0,5</sub>	0,2	0,13	1,9	1,1	0,8

В то же время в результате сочетания обработки семян и растений в фазу колошения выявлено более интенсивное снижение обменной кислотности на фоне роста суммы поглощенных оснований, сравнимое с действием вермикомпоста в дозе 10 т/га. Аналогичная закономер-

ность проявляется также при увеличении концентрации вермигуматов. В то же время не выявлено достоверных различий в косвенном влиянии ВГосв и ВГн на агрохимические показатели рассматриваемой почвенной разности. Выявленные зависимости сохраняются и при обработке се-

мян и растений овса в звене севооборота ячмень-овес. В вариантах с обработкой семян вермигуматом и внесением вермикомпоста обменная кислотность снижается в сравнении с контролем. При этом максимальная величина Нг. достигается в вариантах с обработкой семян вермигуматом из навоза КРС. Близкая зависимость получена по влиянию вермигуматов на сумму поглощенных оснований, величина которой максимальна в вариантах с сочетанием обработки вермигуматами семян и растений. Содержание  $P_2O_5$  подв. и  $K_2O$  обм. в почве с культурой овса как и на ячмене в условиях косвенного влияния вермигуматов возрастает соответственно на 31-56 % и 2,2 – 13%, что подтверждает выше озвученный тезис о положительном косвенном влиянии вермигуматов на фосфорно-калийный режим почвы, сравнимый с действием исходного вермикомпоста. Данная зависимость на наш взгляд обусловлена активизацией действия кор-

невой системы растений под действием вермигуматов.

Выявленное косвенное влияние ВГосв и ВГн на агрохимические показатели почвы не связано с активизацией деятельности почвенных микроорганизмов. Проведенные микробиологические исследования подтверждают данное предположение. Только в варианте с внесением в почву вермикомпоста за счет действия его органического вещества выявлена активизация микробиологических процессов. В частности количество грибов (на среде Чапека) возросло на 38 %, число микроорганизмов, использующих органические формы азота, под действием вермикомпоста увеличилось в 3,2 раза, а общее число микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, увеличилось на 42 %, количество целлюлозоразлагающих микроорганизмов – на 57 %, а количество денитрифицирующих микроорганизмов – в 3 раза, по сравнению с контролем.

Таблица 5

**Действие вермигумата калия на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы, слой 0-20 см.**

Вариант опыта	pH <sub>KCL</sub>	Н <sub>гидр.</sub> <sup>г</sup> мг.-экв./100 г	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подв.	K <sub>2</sub> O обм.	Sn.о (Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup> )	T	v, %	C <sub>общ.</sub> <sup>г</sup> %
			мг/100 г	мг.-экв./100 г				
<b>Фон</b>								
ОСВ 330 т/га + дол. мука 3 т/га	6,4	0,39	94	5,2	5,40	5,79	93,3	1,168
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 3 т/га	6,4	0,60	242	10,8	6,00	6,60	90,9	1,995
ОСВ 330 т/га + дол. мука 6 т/га	6,6	0,38	103	5,0	5,98	6,36	94,0	1,138
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 6 т/га	6,5	0,41	224	9,1	6,48	6,39	94,0	2,062
<b>Фон + ВГ<sub>1</sub></b>								
ОСВ 330 т/га + дол. мука 3 т/га	6,5	0,37	105	5,6	6,08	6,45	94,3	1,278
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 3 т/га	6,4	0,66	300	11,0	6,11	6,77	90,2	2,285
ОСВ 330 т/га + дол. мука 6 т/га	6,6	0,33	118	5,4	5,91	6,24	94,7	1,236
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 6 т/га	6,5	0,46	288	12,4	6,31	6,77	93,2	2,190
<b>Фон + ВГ<sub>2</sub></b>								
ОСВ 330 т/га + дол. мука 3 т/га	6,4	0,39	124	6,6	5,48	5,87	93,3	1,312
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 3 т/га	6,5	0,46	259	12,7	6,07	6,53	93,0	2,148
ОСВ 330 т/га + дол. мука 6 т/га	6,6	0,36	115	8,0	6,48	6,84	94,7	1,239
ОСВ 1320 т/га + дол. мука 6 т/га	6,5	0,46	230	12,7	6,54	7,00	93,4	2,223

Отмечаемая некоторая активизация микробиологических процессов в вариантах с обработкой семян и растений вермигуматами обусловлена, как и при влиянии на агрохимические свойства почвы, лучшим развитием корневой системы в

результате косвенного влияния ВГосв и ВГн. Близкое действие вермигуматов на агрохимические и микробиологические процессы почвы проявляется при их прямом внесении в почву. Поскольку прямое внесение изучалось нами в агроценозах

с повышенным содержанием в почве тяжелых металлов, для исследований мы использовали вермигумат, экстрагируемый из навоза КРС. Внесение в почву по последдействию ОСВ различных доз ВГн, эквивалентных по углероду гуминовых кислот 5 и 10 т/га вермикомпоста оказало заметное действие на ее агроэкологические свойства. Применение вермигумата калия приводит к повышению в почве уровня  $K_2O_{обм.}$  на 7,6 – 36,2 % при

внесении однократной дозы вермигумата калия и 17,6 – 39,5% при внесении двукратной дозы вермигумата за счет действия калия в его составе и активизации обменных процессов в почвенном поглощающем комплексе, насыщенном органоминеральными соединениями из ОСВ. Близкая зависимость выявлена по влиянию вермигумата калия на концентрацию  $P_2O_5$  подв. и Сорг. в слое почвы 0 - 20 см (табл. 3).

Таблица 6

**Влияние суммарных доз ОСВ и гумата калия на валовое содержание и концентрацию подвижных форм ТМ в дерново-подзолистой супесчаной почве, слой 0-20 см, мг/кг сух. в-ва**

Вариант	Элементы						$Z_c$
	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	
Контроль	<u>1,10</u> 0,21	<u>26,4</u> 0,32	<u>38,3</u> 0,51	<u>11,6</u> 0,32	<u>9,5</u> 0,57	<u>46,4</u> 1,86	-
Фон							
ОСВ 320т/га+ дол. мука 6 т/га	<u>6,55</u> 1,12	<u>74,7</u> 0,69	<u>144,6</u> 1,63	<u>20,0</u> 0,56	<u>22,3</u> 0,86	<u>100,0</u> 2,57	<u>13,7</u> 10,31
ОСВ 1320т/га+ дол. мука 6 т/га	<u>12,4</u> 1,39	<u>155,1</u> 1,33	<u>285,4</u> 2,49	<u>36,7</u> 0,62	<u>31,4</u> 1,10	<u>110,9</u> 2,63	<u>28,4</u> 15,9
Фон + ВГ <sub>1</sub> к фону							
ОСВ 320т/га+ дол. мука 6 т/га	<u>7,35</u> 1,16	<u>73,1</u> 0,77	<u>147,2</u> 1,75	<u>19,83</u> 0,68	<u>21,8</u> 0,96	<u>96,6</u> 2,63	<u>1,14</u> 1,56
ОСВ 1320т/га+ дол. мука 6 т/га	<u>14,66</u> 1,53	<u>159,7</u> 1,48	<u>291,1</u> 3,0	<u>42,4</u> 1,08	<u>33,3</u> 1,17	<u>112,0</u> 3,02	<u>1,35</u> 2,36

Примечание: над чертой – валовое содержание элемента, под чертой - концентрация его подвижной формы, мг/кг.

Определенное влияние последствие осадка сточных вод отдельно и в сочетании с вермигуматом калия оказывает на микроэлементный состав почвы и растений (табл. 6,7). При этом выявлено сверхнормативное по отношению к «чистой почве» накопление в почве опыта Cd, Cu и Cr, обусловленное внесением ранее (1985-1998 гг.) ОСВ с повышенным содержанием данных элементов. Уровни показателя суммарного загрязнения ( $Z_c$ ) на фоновых вариантах пропорциональны суммарным дозам ОСВ: по валовому содержанию ТМ 13,7-28,4 ед., по подвижным формам - 10,31-15,9 ед.. Обработка почвы вермигуматом калия способство-

вала повышению уровня  $Z_c$  в сравнении с фоновыми вариантами (табл. 6).

Таким образом использование нетрадиционных источников питания растений в виде органических удобрений на основе осадка сточных вод оказывает заметное положительное влияние на состав и свойства органического вещества дерново-подзолистой почвы и ее основные физико-химические показатели. В то же время полученные положительные экспериментальные данные по влиянию вермигуматов отдельно и в сочетании с известкованием и последствием ОСВ на урожайность полевых культур, агроэкологические свойства почвы и растений

позволяют сделать вывод о их повышенной агрономической и агроэкологической

эффективности в том числе с точки зрения рекультивации загрязненных почв.

*Таблица 7*

**Влияние суммарных доз ОСВ и вермигумата калия на содержание ТМ в зерне и соломе овса, мг/кг сух. в-ва**

Вариант	Элементы						Z <sub>c</sub>
	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	
1. Контроль	<u>0,06</u> 0,08	<u>0,67</u> 0,12	<u>9,51</u> 10,18	<u>0,97</u> 0,56	<u>0,84</u> 0,69	<u>6,95</u> 0,98	-
Фон							
3. ОСВ 320 т/га + изв. 6 т/га	<u>0,12</u> 0,18	<u>1,06</u> 0,25	<u>11,14</u> 10,73	<u>2,16</u> 1,41	<u>0,98</u> 1,21	<u>9,31</u> 1,63	<u>4,47</u> 6,30
5. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т/га	<u>0,21</u> 0,26	<u>1,10</u> 0,28	<u>12,48</u> 11,23	<u>2,36</u> 1,53	<u>1,15</u> 1,35	<u>10,62</u> 1,78	<u>6,78</u> 8,17
Фон + ВГ <sub>1</sub> к фону							
7. ОСВ 320 т/га + изв. 6 т/га	<u>0,16</u> 0,17	<u>1,27</u> 0,72	<u>11,23</u> 13,72	<u>2,36</u> 1,54	<u>0,99</u> 1,61	<u>9,58</u> 2,20	<u>1,66</u> 3,93
9. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т/га	<u>0,20</u> 0,22	<u>1,37</u> 0,58	<u>12,64</u> 12,89	<u>2,96</u> 1,68	<u>1,05</u> 1,50	<u>11,76</u> 2,30	<u>1,61</u> 2,72

Примечание: над чертой – содержание элемента в зерне, под чертой - содержание элемента в соломе, мг/кг.

#### Библиографический список

1. Агроэкология / В.А.Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др.; Под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса.- М.: Колос, 2000.- 536 с.

2. Гуминовые вещества в биосфере. // Труды II Международной конференции.

Москва, 3-6 февраля, 2003 г. – Изд-во Московского ун-та, 2004, с. 29-32.

3. Христева Л.А. О природе действия физиологически активных форм гуминовых кислот и других стимуляторов роста растений. // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Киев, Урожай, 1968, с. 13-27.

## НАПРАВЛЕННОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ПОЧВЕ ПРИ РАЗНОМ ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

*Л.Г. Комаревцева, С.В. Шукин*  
*Ярославская ГСХА*

Рассматривается направленность подзолистого и дернового процессов почвообразования в почве под разной растительностью при разных способах её обработки и внесении удобрений. Отмечается необходимость использования высоких норм органических удобрений для сохранения плодородия дерново-подзолистой почвы в современных условиях.

Ключевые слова: гранулометрический состав, валовой состав, окислы  $\text{SiO}_2$  и  $\text{R}_2\text{O}_3$ , биота, микромицеты, бактерии, актиномицеты, гумус, гуминовые и фульвокислоты, оптическая плотность.

Известно, что направленность процессов почвообразования определяется, прежде всего, климатическими условиями, растительностью и почвообразующей породой. Исследованиям в этом направлении посвящены работы многих авторов [3,4,5,7,9].

Результатом подзолистого процесса является формирование горизонта  $A_2$  в профиле почвы, а дернового - горизонта  $A_1$ . Ряд авторов [1,8,10,11,12,13] отмечает, что конечным продуктом разложения опада является гумус, качество которого зависит от характера поступающих растительных остатков и условий их минерализации. Наиболее активно образование гумуса протекает под луговой растительностью. С другой стороны, это возможно лишь при непосредственном участии разнообразных биоценозов. Поэтому процессы почвообразования необходимо рассматривать в сочетании почвенных и микробиологических исследований.

В условиях интенсивного земледелия процесс минерализации гумуса в почвах заметно преобладает над его синтезом. В связи с этим наметилась четкая деградация гумуса во всех типах почв. По данным некоторых исследователей, даже в черноземах, за 12-15 лет содержание гумуса и

азота снижается на 15-20% по сравнению с целинными и залежными почвами. Вместе с тем изучение процессов почвообразования в современных условиях при разном использовании дерново-подзолистых почв крайне ограничено [2].

В связи с этим мы попытались изучить развитие подзолистого и дернового процессов почвообразования в дерново-подзолистой почве при разном использовании.

### Методика исследований

Для выполнения поставленной задачи были подобраны пять площадок:

1) лес (смешанный, редкий с преобладанием ели, берёзы, осины и разнотравья с папоротником и осокой); 2) луг (разнотравно-злаковая растительность); 3) пашня, проводилась ежегодно поверхностно-отвальная обработка почвы; 4) пашня, проводилась поверхностно-отвальная обработка почвы: вспашка раз в четыре года, дискование на 10-12 см в остальные 3 года; 5) пашня (ежегодная отвальная обработка). Удобрения вносились согласно схеме опытов. На 3 и 4 площадках: 1) контроль (без удобрений), 2) солома 3 т, 3) солома +  $\text{N}_{30}$ , 4) NPK (рекомендованная норма под высеваемую культуру), 5) Солома + NPK. На 5 площадке по схеме: 1) контроль (без удобрений); 2) солома 5т; 3) NPK, 4) солома 5т + NPK, 5) навоз 30 т + NPK, 6) солома 5 т + 30 т навоза + NPK. Нормы NPK рассчитывались из расчета урожайности 50-60 ц зерновых культур и 350 ц картофеля.

Для наших исследований на 3 и 4 площадках был выбран вариант «контроль без удобрений», а на 5 площадке – 6 вариант (5 т соломы + 30 т навоза + NPK). В годы исследований на пахотных почвах высевались различные сельскохозяйственные

культуры. В 2010 году на 3, 4 площадках произрастала озимая рожь сорта «Валдай», на 5 площадке картофель сорта «Невский». В таком виде почвы использовались в течение двадцати лет, более длительный срок находится почва под лесом. Площадки расположены на одном выровненном элементе рельефа, на расстоянии 50-150 м друг от друга. На подобранных площадках были выкопаны разрез (на пашне) на фоне отвальной обработки почвы и полуразрезы на остальных объектах.

### Результаты и их обсуждение

При описании морфологических признаков почв было установлено, что на всех изучаемых объектах в профиле почв отсутствует горизонт  $A_2$ , но под лесом чётко выделяется растянутый до 45 см горизонт  $A_2B$ .

В почвах, находящихся в сельскохозяйственном обороте, этот горизонт выражен слабее, в виде белёсых пятен или затёков на фоне красно-бурой морены.

В целом можно отметить, что профили изучаемых почв близки по морфологическим признакам и в них выделяются горизонты:  $A_0A_1$  – подстилка,  $A_1$  – гумусовый горизонт,  $A_2/B$  – переходный и  $B$  – иллювиальный.

Следовательно, выбранные почвы в начальном процессе почвообразования имели одно происхождение.

Изучение гранулометрического состава (табл.1) показало, что на всех объектах наблюдается перемещение илистой фракции в горизонт  $B$ . Однако в наибольшей степени это выражено в почве под лесом, так как этому способствует поступающий опад, с наличием в нём хвои ели, кислая почвообразующая порода и промывной тип водного режима.

Данные валового анализа (табл. 2) свидетельствуют о том, что максимальное содержание  $SiO_2$  (85%) в почве обнаружено в горизонте  $A_2B$  под лесом, причём отмечается довольно резкое снижение его количества вниз по профилю.

В остальных вариантах в профиле распределение окислов кремния более равномерное. С другой стороны наибольшее количество полуторных окислов отмечается в горизонте  $B$  во всех изучаемых объектах.

Это свидетельствует о том, что и в современных условиях под лесом с преобладанием в его составе хвойных деревьев протекает подзолистый процесс. В почве, постоянно находящейся под травянистой растительностью, а также под сельскохозяйственными культурами, процесс подзолообразования выражен слабее.

Наличие большого количества подвижного окисного и закисного железа в профиле почв свидетельствует и о развитии глеевого процесса, причём в максимальной степени это проявляется под лесной растительностью.

В целом можно отметить, что изучаемые почвы являются дерново-среднеподзолистыми среднесуглинистыми глееватыми, сформировавшимися на карбонатной морене. Вместе с тем, известно, что дерновый процесс почвообразования протекает под травянистой растительностью и определяется, прежде всего, количеством и качеством опада. В наших исследованиях под луговой растительностью поступление поверхностного и корневого опада достигает 15 т, на пашне 5,2 т, под лесом 2,7 т/га

При этом содержание азота в лесном опаде составляет 0,5% , в травянистой растительности 0,8%. Известно, что от качества опада зависит интенсивность развития и качественный состав биоты почвы. Сообщество микроорганизмов не только минерализует органическую массу, высвобождая элементы питания растений, но и само является существенным резервом питательных веществ. Изучение активности биоты в разных объектах показало (табл. 3), что общее количество всех групп микроорганизмов невелико. Причиной этому являются неблагоприятные климатические условия 2010 года. Высокая температура летом резко снизила содержание влаги в почве и как следствие – численность микроорганизмов.

Вместе с тем, наиболее высокое содержание сапрофитных микроорганизмов (МПА) отмечается в  $A_1$  горизонте под картофелем (183,5 т млн. КОЕ в 1 г абсолютно сухой почвы) и под луговой растительностью в горизонте  $A_1$  (45,0 млн. КОЕ в 1 г абсолютно сухой почвы). В остальных вариантах различий в численности сапрофитных бактерий не установлено. Бедным

оказался и качественный состав микроорганизмов этой группы. Во всех вариантах видовой состав представлен спорообразующими бактериями за исключением под-

стилки в лесу и горизонтов  $A_1$  и  $A_2B$  под залежью. При сельскохозяйственном использовании почвы в пахотном горизонте от 20 до 28% составляет род *Pseudomonas*.

Таблица 1

**Гранулометрический состав изучаемых почв, %**

Варианты и глубина, см	Потери при обработке	Крупный и средний песок	Мелкий песок	Крупная пыль	Средняя пыль	Мелкая пыль	Ил	Физическая глина
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	Менее 0,001	Менее 0,01
<b>Лес</b>								
$A_0A_{0-9д}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$A_1$ 9-25	1,46	21,97	26,60	16,99	8,10	10,04	15,24	33,38
$A_2B$ 25-45	0,94	20,94	28,06	14,86	7,16	11,22	16,82	35,20
$B$ 45-72	1,42	17,67	34,45	12,56	9,48	8,20	26,22	33,90
<b>Залежь</b>								
$A_{д}$ 0-5	-	-	-	-	-	-	-	-
$A_1$ 5-26	1,61	20,05	32,64	15,24	1,64	11,48	17,34	30,46
$A_2B$ 26-38	1,53	17,88	29,91	16,85	1,54	10,02	22,28	33,84
$B$ 38-80	1,38	17,17	34,51	12,13	2,90	8,26	23,65	34,81
<b>Отвальная обработка</b>								
$A_{п}$ 0-24	2,19	14,66	31,66	17,10	3,78	11,34	19,26	34,38
$A_2B$ 24-39	1,14	17,34	29,89	16,24	4,08	8,92	22,38	35,38
$B$ 39-78	2,14	18,71	31,47	11,76	3,60	8,30	24,02	35,92
$BC$	2,74	23,13	34,83	8,62	3,54	8,02	19,12	30,68
<b>Поверхностно-отвальная обработка</b>								
$A_{п}$ 0-24	2,22	14,67	34,23	15,76	2,96	11,02	19,14	33,12
$A_2B$ 24-42	1,06	18,62	27,81	15,80	3,80	10,26	22,66	36,72
$B$ 42-81	2,51	16,12	33,86	10,60	2,90	8,15	25,85	36,90
<b>Отвальная обработка + удобрения</b>								
$A_{п}$ 0-24	1,94	16,84	31,86	17,14	4,11	9,82	18,22	32,22
$A_2B$ 24-42	1,25	17,02	30,14	16,42	3,82	10,11	21,24	35,17
$B$ 42-85	1,40	18,11	32,03	12,16	3,14	9,14	24,06	36,34

Средний суглинок иловато-опесчаный

**Валовой состав изучаемых почв (% на прокалённую почву)  
и содержание окислов железа (мг/кг)**

Горизонты	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Подвижные, мг/кг	
								Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
<b>Лес</b>									
A <sub>0</sub> A <sub>л</sub>	0-9	-	-	-	-	-	-	-	-
A <sub>1</sub>	9-25	79,23	3,11	9,11	12,22	1,40	0,40	24,70	379,40
A <sub>2</sub> B	25-45	85,06	3,08	10,21	13,29	1,10	0,50	24,80	435,60
B	45-72	81,42	3,92	12,34	16,26	2,00	0,60	10,90	342,80
<b>Залежь</b>									
A <sub>л</sub>	0-5	-	-	-	-	-	-	-	-
A <sub>1</sub>	5-26	82,03	3,21	10,11	13,22	2,00	0,50	12,30	196,00
A <sub>2</sub> B	26-38	83,03	3,14	11,23	14,37	2,10	0,60	9,70	109,10
B	38-80	82,01	3,02	12,08	15,10	2,30	0,60	8,30	67,10
<b>Отвальная обработка</b>									
A <sub>п</sub>	0-24	82,24	3,36	11,01	14,37	1,90	0,50	7,40	123,70
A <sub>2</sub> B	24-39	83,82	3,61	11,16	14,77	2,00	0,60	8,10	92,30
B	39-78	81,39	3,02	12,04	15,06	2,40	0,70	12,80	86,20
<b>Поверхностно-отвальная обработка</b>									
A <sub>п</sub>	0-24	82,91	3,52	11,24	14,76	1,80	0,60	10,20	144,00
A <sub>2</sub> B	24-42	83,48	3,59	11,33	14,92	2,10	0,70	5,10	57,10
B	42-81	81,39	3,28	11,92	15,10	2,40	0,60	9,00	95,50
<b>Отвальная обработка + удобрения</b>									
A <sub>п</sub>	0-24	81,76	3,12	11,68	14,80	2,10	0,58	8,40	118,70
A <sub>2</sub> B	24-42	83,14	3,87	11,96	15,83	1,85	0,60	7,10	81,30
B	42-85	82,36	3,06	12,14	15,20	2,43	0,68	9,40	72,15

Численность бациллярных форм (МПА+СА) также невелика во всех вариантах. Видовой состав здесь более разнообразен и представлен родами: *Vac. cereus*, *Vac. megaterium*, *Vac. idosus*. В лесу абсолютное доминирование отдаётся представителям рода *Vac. cereus*, на лугу же в дернине присутствуют рода: *Vac. megaterium* (57%), а меньше всего *Vac. cereus* (14,3%).

При поверхностно-отвальной и отвальной обработках почвы и в варианте отвальной обработки почвы и внесении повышенных доз удобрений в пахотном горизонте присутствуют бактерии родов *Vac. cereus* и *Vac. megaterium*, в подпахотном горизонте преобладает род *Vac. cereus* (79,0%).

Известно, что для дерново-подзолистой почвы доминирующими группами

являются *Vac. mycoides* и *Vac. cereus*. Присутствие рода *Vac. megaterium* свидетельствует об окультуренности почв, находящихся в обработке и, особенно, при внесении повышенных доз удобрений.

Максимальное количество микромицетов обнаружено в полевом опыте под картофелем и под луговой растительностью, что свидетельствует об их участии в разложении богатого азотом свежего опада. Общая невысокая численность микромицетов объясняется очень низкой влажностью почвы в год исследований. В качественном отношении микромицеты представлены родами: *Mucor*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma*. На пашне в основном выявлены рода *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma*. Под луговой

растительностью обнаружены и микромицеты рода *Fusarium*, что свидетельствует о распространении данного рода в естественных условиях. Использование почвы под пашню способствует уменьше-

нию развития грибов данного рода, а, следовательно, происходит очищение почвы от патогенов, что вероятно объясняется, прежде всего, чередованием культур в севообороте.

Таблица 3

**Численность микроорганизмов, выявляемых на различных питательных средах**

Горизонты и глубина, см	Количество микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы			
	МПА (млн. КОЕ)	МПА+СА (тыс. КОЕ)	КАА (млн. КОЕ)	СА (тыс. КОЕ)
<b>Лес</b>				
A <sub>0</sub> A <sub>д</sub> – 0-9	42,2	4,0	53,0	1,9
A <sub>1</sub> – 9-25	4,0	4,0	15,4	1,4
A <sub>2</sub> B – 25-45	2,1	3,0	14,1	1,5
<b>Залежь</b>				
A <sub>д</sub> – 0-5	5,6	14,01,8	29,0	4,0
A <sub>1</sub> – 5-26	45,0	4,0	19,0	1,8
A <sub>2</sub> B – 26-38	3,6	4,0	7,0	2,1
<b>Поверхностно-отвальная обработка</b>				
A <sub>н</sub> – 0-24	3,0	6,0	71,0	1,2
A <sub>2</sub> B – 24-42	2,0	52,0	69,6	0,2
<b>Отвальная обработка</b>				
A <sub>н</sub> – 0-24	3,8	6,0	80,0	1,5
A <sub>2</sub> B – 24-39	1,6	38,0	74,0	0,2
<b>Отвальная обработка + удобрения</b>				
A <sub>н</sub> – 0-24	183,5	147,4	196,2	19,1
A <sub>2</sub> B – 24-42	103,2	84,6	98,7	11,3

Максимальная численность микроорганизмов, участвующих в разложении азотсодержащих соединений (КАА), обнаружена в пахотном горизонте при отвальной обработке почвы и внесении удобрений (196 млн. КОЕ в 1 г почвы). Несколько ниже она при отвальной и поверхностно-отвальной обработке почвы в вариантах без удобрений (80-71 млн. КОЕ в 1 г почвы).

Наибольшее содержание актиномицетов (86,0% от общей численности микроорганизмов, выявляемых на КАА) в гумусовом горизонте отмечается в почве под луговой растительностью. Вместе с тем, их количество несколько выше при отвальной обработке почвы в отличие от поверхностно-отвальной. А так как известно, что именно актиномицеты являются микроорганизмами, синтезирующими гумус, то вполне очевидно, что

глубокая обработка почвы наилучшим образом влияет на биоценоз почвы.

Наибольший же интерес представляет изучение фракционного состава гумуса исследуемых почв (табл. 4). Обнаружено, что фракционный состав гумуса во всех вариантах представлен фракцией свободных гуминовых и фульвокислот (9-18%), что объясняется недостаточным количеством кальция в самой породе. Значительный процент составляет и фракция гуминовых и фульвокислот, связанных с полуторными окислами R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (9-22 %). Это объясняется довольно высоким содержанием их в валовом составе почвы. Вместе с тем, максимальное общее количество гуминовых кислот в почве отмечается под луговой растительностью. Введение же залежи в пашню без внесения удобрений привело к значительному снижению общего содержания углерода и количества гуминовых

кислот. Наибольшее уменьшение количества перегнойных кислот обнаружено при поверхностно-отвальной обработке почвы, хотя в сравнении с отвальной обработкой оно незначительно. Внесение же высоких доз органических и минеральных удобрений в течение 20 лет способствовало не только сохранению баланса гумуса, но и улучшению его качества. Так в целом соотношение  $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$  колеблется от 0,6 до 1,1, что указывает на гуматно-фульватный тип гумуса. Однако, максимальных значений в горизонте  $A_1$  (1,0) это отношение достигает в почве под травянистой растительностью. Примерно такие же показатели отмечаются и для варианта «отвальная обработка + НРК». В этом варианте обнаружена и самая высокая оптическая плотность гуминовых кислот.

Вместе с тем, интересно было проследить за процессами минерализации растительных остатков, поступающих в севообороте данных опытов.

Для этого были отобраны следующие образцы: корни озимой ржи, солома озимой ржи, корни клевера, зеленая масса и корни викоовсяной смеси.

Растительные образцы разлагались в течение года в отмытом кварцевом песке

при температуре 26-28°C и 60% влажности от ППВ.

Известно, что разложение растительных остатков осуществляется сложным комплексом организмов, включая и представителей почвенной фауны. Характер разложения и его скорость определяются тремя главными факторами: составом растительного материала, водно-термическим режимом и комплексом организмов-разлагателей. В процессе разложения одна часть веществ полностью минерализуется, другая консервируется, третья включается в гумус. При этом синтезируется живая биомасса обитателей подстилки, живущих сапрофитно за счёт разлагаемого мёртвого органического субстрата

Первоисточниками гумусовых веществ выступают растительные субстраты. Исходные структурные единицы гумуса образуются в результате микробного разложения составных химических веществ растительных остатков – целлюлозы, лигнина, флавоноидов, танинов (полифенолов), а также азотсодержащих соединений – белков и их дериватов – с последующим ресинтезом новых продуктов при участии микроорганизмов и микробных ферментов.

Таблица 4

**Фракционный состав гумуса**

Горизонты, глубина, см	С общ, %	ГК, %				ФК, %					Остаток, %	Отношение $C_{гк}/C_{фк}$
		Свободные	Связанные с Са	Связанные с $R_2O_3$	Сумма ГК	Декальцинат	Свобод-ные	Связан-ные с СА	Связанные с $R_2O_3$	Сумма ФК		
<b>Залежь</b>												
$A_{II}$ 0-6	2,20	0,20	0,30	0,50	1,00	0,20	0,30	0,20	0,20	0,90	0,10	1,1
	100	9,09	13,64	22,73	45,45	9,09	13,64	9,09	9,09	40,91	4,55	
$A_1$ 6-24	1,60	0,19	0,21	0,34	0,74	0,15	0,23	0,19	0,16	0,73	0,03	1,0
	100	11,88	13,13	21,25	46,25	9,38	14,38	11,88	10,00	45,63	1,88	
$A_2B$ 24-33	0,83	0,12	0,09	0,09	0,30	0,07	0,12	0,09	0,09	0,37	0,07	0,8
	100	14,46	10,84	10,84	36,14	8,43	14,46	10,84	10,84	44,57	8,43	
<b>Поверхностно-отвальная обработка</b>												
$A_{II}$ 0-24	1,25	0,14	0,11	0,16	0,41	0,06	0,19	0,14	0,19	0,58	0,02	0,7
	100	11,20	8,80	12,80	32,80	4,80	15,20	11,20	15,20	46,40	1,60	
$A_2B$ 24-42	1,04	0,14	0,15	0,17	0,46	0,10	0,19	0,18	0,20	0,67	0,07	0,7
	100	9,98	10,48	12,10	32,26	6,45	13,71	12,00	14,52	47,58	2,42	

Лес												
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> 0-9 <sup>д</sup>	3,10	0,30	0,40	0,60	1,30	0,35	0,35	0,22	0,33	1,25	0,35	1,0
	100	9,68	12,90	19,35	41,94	11,29	11,29	7,10	10,65	40,32	11,29	
A <sub>1</sub> 9-25	1,70	0,18	0,19	0,32	0,69	0,16	0,25	0,21	0,21	0,83	0,02	0,8
	100	10,59	11,18	18,82	40,59	9,41	14,70	12,35	12,35	48,81	1,18	
A <sub>2</sub> B 25-42	0,50	0,05	0,05	0,06	0,20	0,05	0,09	0,06	0,09	0,29	0,01	0,6
	100	10,00	10,00	12,00	32,00	10,00	18,00	12,00	18,00	58,00	2,96	
Отвальная обработка												
A <sub>n</sub> 0-24	1,24	0,13	0,13	0,17	0,43	0,06	0,14	0,16	0,19	0,55	0,11	0,8
	100	10,48	10,48	13,71	34,68	4,84	11,29	12,90	15,32	44,35	10,81	
A <sub>2</sub> B 24-37	1,16	0,13	0,11	0,15	0,39	0,07	0,18	0,14	0,15	0,54	0,12	0,7
	100	11,21	9,48	12,93	33,62	6,03	15,52	12,07	12,93	46,55	9,86	
Отвальная обработка + удобрения												
A <sub>n</sub> 0-24	1,89	0,16	0,28	0,43	0,87	0,10	0,17	0,23	0,40	0,90	0,10	0,97
	100	8,46	14,81	22,75	46,03	5,29	8,99	12,17	21,16	47,62	5,29	
A <sub>2</sub> B 24-40	0,89	0,06	0,20	0,22	0,38	0,06	0,12	0,11	0,17	0,46	0,02	0,82
	100	6,74	11,23	24,72	42,69	6,74	13,48	12,35	19,10	51,68	2,24	

Далее в процессе формирования гумуса происходит усложнение, конденсация структурных единиц также с включением в реакции ферментов – полифенолоксидаз, главным образом грибного происхождения. И, наконец, на заключительном этапе наблюдается явление поликонденсации (полимеризации) образующихся конденсатов без участия микроорганизмов. Это – процесс чисто химический, механизм его остаётся невыясненным. Непрерывное поступление в почву органических остатков и их микробиологическая трансформация – необходимые условия гумусообразования [3].

С другой стороны, поступающий в почву органический материал по своему химическому составу крайне неоднороден и определяется видом растений и усло-

виями их произрастания. Он состоит из легкогидролизуемых углеводов и белков, трудноразлагаемых веществ: лигнина, липидов, восков, смол, фенольных соединений, содержит различные пигменты, витамины, ферменты, низкомолекулярные органические кислоты, а также зольные элементы. Вместе с тем накоплен огромный фактический материал, иллюстрирующий зависимость скорости превращения растительного опада от его химического состава [1,3,6,8].

В наших исследованиях (табл. 5) перед изучением процессов минерализации различных растительных остатков, поступающих в почву после уборки сельскохозяйственных культур проводилось определение количества их поступления в почву и соотношение в опаде C:N.

Таблица 5

**Количество поступающих в почву растительных остатков и соотношение в них углерода к азоту**

Варианты	Количество растительных остатков, поступающих в почву, т/га	Соотношение C:N
Озимая рожь (корни)	2,5	83:1
Озимая рожь (солома)	2,7	79:1
Клевер (корни)	4,5	40:1
Вико-овсяная смесь (зелёная масса)	30,0	34:1
Вико-овсяная смесь (корни)	3,5	41:1

Установлено, что зелёная масса вико-овсяной смеси обладает самым узким, из исследуемых вариантов, соотношением С:N (34:1), а самое широкое соотношение принадлежит корням озимой ржи (83:1). Вместе с тем, следует отметить, что максимальное количество опада поступает в почву при запахивании в качестве сидерата зелёной массы викоовсяной смеси (30 т), а минимальное – с корневым опадом озимой ржи (2,5 т).

Из данных таблицы 6. видно, что зелёная масса викоовсяной смеси минерализуется быстрее остальных образцов. Медленнее всего разлагаются корни озимой ржи. Это обусловлено различным составом органических соединений, входящих в структуру растительных остатков и соотношением С:N.

Данные по изучению изменения биохимического состава разлагающегося материала при компостировании указывают на то, что содержание клетчатки после месяца компостирования колеблется от 87,2 до 99,6% от исходной массы. Существенное снижение ее количества во всех образцах наблюдается лишь к 6 месяцам их минерализации. Содержание жира в растительных образцах уже к 6 месяцам минерализации опада падает до 1-5%. Количество лигнина в опаде при его минерализации также уменьшается, однако скорость снижения его содержания гораздо ниже, нежели других соединений. Это обусловлено сложным химическим составом и циклическим строением лигнина, что значительно затрудняет его разложение микроорганизмами.

Таблица 6

Скорость минерализации растительных остатков (%)

Варианты	Исходный материал	1 месяц	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев
Озимая рожь (корни)	100	87,5	81,5	69,8	31,7
Озимая рожь (солома)	100	76,0	58,5	47,1	20,8
Клевер (корни)	100	59,0	56,5	45,3	15,2
Вико-овсяная смесь (зелёная масса)	100	43,0	39,0	24,5	8,1
Вико-овсяная смесь (корни)	100	64,0	60,0	48,6	16,3

Исключение составляет белок, его количество к 12 месяцам минерализации растительных остатков остаётся практически на исходном уровне. Это объясняется тем, что его содержание в разлагающемся материале определяется уже плазмой микроорганизмов, участвующих в минерализации растительных остатков.

Как уже отмечалось, процессы минерализации тесным образом связаны с микробиологической деятельностью, поэтому параллельно проводилось определение численности и качественного состава микрофлоры, участвующей в разложении растительных остатков. Максимальное количество микроорганизмов, выявляемых на КАА, наблюдалось на варианте викоовсяная смесь корни – 1066,1 млн. КОЕ – к 12 месяцам минерализации, ми-

нимальное – на варианте корни клевера, где оно достигло 352,3 млн. КОЕ. Количество актиномицетов увеличивается к концу компостирования во всех вариантах. При разложении корней клевера и вико-овсяной смеси их численность достигает 98%, а корней озимой ржи – 48%.

Наибольшее количество сапрофитных микроорганизмов наблюдалось после 1 месяца компостирования при разложении зелёной массы викоовсяной смеси, где оно достигает 514 млн. КОЕ, а минимальное - при разложении корней озимой ржи и составляет 125 млн. КОЕ. На начальных этапах разложения в качественном составе преобладают представители рода *Mycobacterium*, с увеличением срока компостирования преобладающую позицию занимают спорообразующие микроорганизмы.

**Изменение биохимического состава растительных остатков в процессе их минерализации (% от исходного содержания)**  
Таблица 7

Варианты	клетчатка				жир				лигнин				белок			
	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.
Озимая рожь (корни)	87,2	82,4	69,8	32,1	75,7	2,6	1,0	0,02	90,2	80,9	68,3	51,4	117,8	151,2	168,0	181,3
Озимая рожь (солома)	99,6	79,6	65,3	33,4	54,3	5,9	2,3	0,1	94,1	80,4	68,9	52,3	119,0	112,6	131,3	144,9
Клевер (корни)	99,3	95,1	89,6	40,3	50,6	6,0	2,9	0,4	96,1	85,3	77,5	59,8	140,1	130,8	140,1	158,6
Викоовсяная смесь (зелёная масса)	96,8	87,6	78,4	38,6	54,6	9,3	5,4	0,8	90,9	79,6	72,6	58,9	140,0	116,7	123,1	131,4
Викоовсяная смесь (корни)	95,9	93,9	86,5	39,4	48,1	4,5	2,1	0,3	89,7	83,0	72,3	58,3	103,3	117,1	134,2	141,5

Максимальное количество сапрофитных микроорганизмов в состоянии спор наблюдается на варианте викоовсяная смесь зелёная масса и составляет 502 тыс. КОЕ к 3 месяцу минерализации. Затем происходит постепенное снижение численности данной группы микроорганизмов. В качественном составе на ранних этапах минерализации преобладает род *Bacillus idosus*, на более поздних сроках - *Bacillus megaterium*.

Наибольшее количество микромицетов обнаружено также на варианте викоовсяная смесь зелёная масса и составило 912 тыс. КОЕ к концу первого месяца минерализации растительных остатков, минимальное – на варианте озимая рожь корни, где численность микромицетов составила 70 тыс. КОЕ. В качественном отношении преобладал род *Mucor* в первый период разложения, а затем отмечалось наличие родов *Penicillium*, *Fusarium* и *Trichoderma*. Количество же микроорганизмов, выявляемых на КАА, возрастает к концу минерализации опада за счёт способности данной группы микроорганизмов (а именно актиномицетов) разлагать труднодоступные органические соединения.

С точки же зрения формирования гумусового горизонта наибольшее значение имеют продукты, которые образуются в процессе минерализации и гумификации растительных остатков.

В наших исследованиях установлено, что водой извлекалось до 190 мг/л углерода при разложении зелёной массы викоовсяной смеси уже через месяц, в других вариантах количество этой фракции значительно ниже.

Меньше всего углерода извлекалось водой при разложении корней озимой ржи – 55 мг/л через месяц минерализации. В дальнейшем количество извлекаемого водой органического вещества падает во всех вариантах опыта.

Известно, что пирофосфатной вытяжкой извлекается наиболее подвижная часть гумуса. Установлено, что максимальное количество гумусоподобных соединений извлекается 0,1 М раствором пирофосфата натрия в первые периоды минерализации растительных остатков. Однако содержание гуминовых кислот

несколько увеличивается лишь к 6 и 12 месяцам компостирования.

Количество органических соединений, извлекаемых 0,1 н. раствором щёлочи увеличивается в процессе компостирования растительных остатков, что свидетельствует о постепенной их минерализации. Содержание гуминовых кислот этой фракции также увеличивается в процессе разложения растительных остатков. Вероятно, это связано с развитием процессов конденсации и полимеризации при формировании ядра гуминовой кислоты. Это подтверждается данными по определению их оптической плотности.

В целом можно отметить, что наиболее активно основные компоненты растительных остатков минерализуются в первые 3 месяца их компостирования. В этот период отмечается и максимальное количество всех изучаемых групп микроорганизмов, кроме микроорганизмов, выявляемых на КАА.

В целом, можно отметить, что в современных условиях наиболее типично подзолистый процесс выражен под лесной растительностью и проявляется он в виде яркого белесого цвета затёков в горизонте  $A_2B$ . На почвах, занятых травянистой растительностью и используемых под пашню, этот процесс выражен слабее.

В профиле всех изучаемых почв наблюдается перераспределение окислов кремния, полуторных окислов и илистой фракции, максимальное количество которой (20-26%) обнаружено в горизонте В во всех вариантах что свидетельствует о продолжающемся процессе оподзоливания.

Введение дерново-подзолистой почвы, находящейся под травянистой растительностью в севооборот без внесения удобрений приводит к резкому снижению содержания гумуса, возрастанию количества фульвокислот.

Заделка же сравнительно высоких норм органических и минеральных удобрений на таких же почвах не только не снижает количество гумуса, но и улучшает его качество за счёт повышения содержания гуминовых кислот, увеличения их оптической плотности.

## Количество и качественный состав вновь образованных соединений

Варианты	С, извлекаемый $\text{H}_2\text{O}$ , мг/л,				С, извлекаемый $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , мг/л								С, извлекаемый $0,1\text{n NaOH}$ , мг/л							
	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	С <sub>Г.К.</sub>				С <sub>Ф.К.</sub>				С <sub>Г.К.</sub>			С <sub>Ф.К.</sub>				
					1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.
Озимая рожь (корни)	55	34	29	11	21	24	28	39	70	45	42	34	35	116	128	154	365	374	381	457
Озимая рожь (солома)	89	50	42	19	32	42	46	60	115	84	79	68	70	141	152	176	479	481	505	591
Клевер (корни)	131	78	65	31	35	42	50	71	101	59	51	40	93	153	168	198	539	435	490	568
Викообразная смесь (зелёная масса)	190	161	107	61	31	35	41	51	108	97	90	79	104	162	173	203	644	687	710	780
Викообразная смесь (корни)	188	157	106	59	40	45	48	65	108	73	67	53	93	160	180	209	418	543	580	650

## Библиографический список

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования [Текст]/Т.В. Аристовская/-л. Наука, 1980-187с.

2. Баздырев Г.И. Земледелие [Текст]// Г.И. Баздырев, В.Г. Лошаков, А.И. Пупонин, А.Я. Рассады – М. Колос, 2000 – 552с.

3. Ваксман С.А. Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе [Текст] / С.А. Ваксман // - М.: 1937. – 471с.

4. Воронаев В.Н. Баланс гумуса в серой лесной почве в зависимости от удобрений и севооборота [Текст]/В.Н. Воронаев//Плодородие – 2005 - №3 с 3-4.

5. Ефимов В.Н. Скрытая деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв России [Текст]/В.Н. Ефимов, А.И. Иванов // Агрехимия – 2001 - №6 – с 5-10.

6. Кауричев И.С., Комаревцева Л.Г. Качественный состав гумуса почв под разной растительностью [Текст]/ И.С. Кауричев, Л.Г. Комаревцева. – М. Известия ТСХА – 1971 - №2.

7. Комаревцева Л.Г, Майдебур Н.М. Методы почвенных и агрохимических исследований [Текст]/ Л.Г. Комаревцева, Н.М. Майдебур, Л.А. Балашова/Ярославль, 2011 – 233-241 с.

8. Кононова М.М. Формирование гумуса в почве [Текст] / М.М. Кононова. Успехи микробиологии 1976 - №11.

9. Кукишева А.А. Изменение микробиоценоза дерново-подзолистых почв при длительном применении удобрений [Текст]/А.А. Кукишева, Н.Н. Нанлекова. Достижения науки и техники, 2009.№4, с 14-15.

10. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование [Текст]/ В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова / Л.Наука, 1980-220с.

11. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования [Текст]/ Н.А. Туев – М. Агропромиздат, 1989 - 239с.

12. Хабибуллина Ф.М. Почвенная микобиота [Текст] / Ф.М. Хабибуллина. Сыктывкар – 2009 – 40с.

13. Tate R.L. Soil organic matter. Biological and ecological effects. N.Y., 1987.

## ВОСПОМИНАНИЯ О ВИЛЬЯМСЕ

*И.Н. Копейкина, В.С. Кащенко*

*Почвенно-агрономический музей имени В.Р. Вильямса*

О научно-педагогической и политической деятельности В.Р. Вильямса опубликовано большое количество материалов. Часто довольно противоречивого характера. О его жизни, кто он, каким он был и о чём мечтал сведений очень мало.

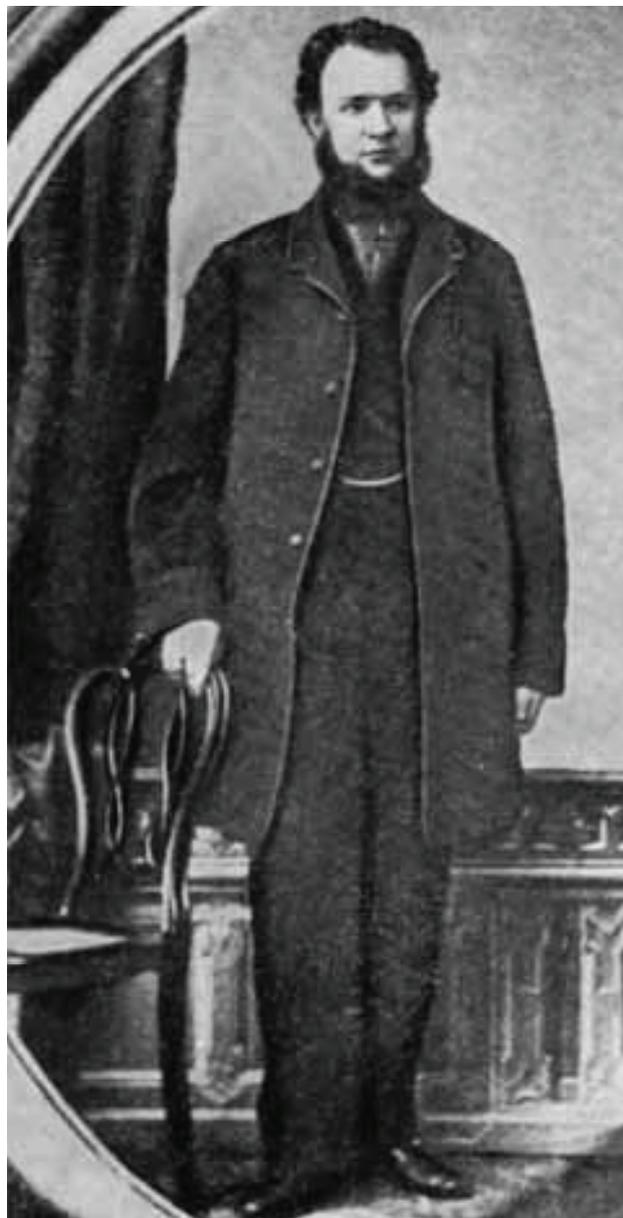
Сбором и систематизацией биографических данных сотрудники нашего музея начали заниматься в 2011 году. Мы изучали переписку и воспоминания современников имеющиеся в Почвенно-агрономическом музее имени В.Р. Вильямса, Интернет ресурсах и других источниках.

Отойдя от основной темы доклада, хочется немного рассказать о семье Василия Робертовича, поскольку эти люди не менее интересны и, как мне кажется, помогут лучше дать почувствовать жизнь тех времён.

### Отец

Robert Oscar Williams. Родился в 1819 году. Достоверных фактов мало, но по семейным преданиям его отец (дедушка Василия Робертовича) Oscar Fitzallen Williams переехал в Северные Американские штаты из Англии и женился на девушке из индейского племени аппачей.

[В 1840-е – 1850-е годы был инженером железных дорог США. Он приехал в Россию в 1852 году. Трудясь на Петербурго – Московской железной дороге, вероятно, достаточно хорошо зарекомендовал себя как разносторонний и грамотный специалист путейского дела. Поэтому в 1867 г. по поручению Главного Общества Российских Железных Дорог ему доверили провести экспертизу технического состояния. В своём заключении он, в частности, писал: «Спуски и подъемы дороги вообще правильны... Кривые безукоризненны... Считаю долгом упомянуть, что насыпи, каменная кладка мостов и строе-



*Роберт Оскар Вильямс*

ния на станциях имеют весьма прочный вид и хорошо содержимы...».]<sup>3</sup>

Позже его назначили руководителем ремонтно-механических мастерских при этой дороге.

Роберт Вильямс скончался в 1876 году в возрасте 57 лет от скоротечной чахотки. Эти данные указаны в страховом

полисе лично Василием Робертовичем. А в одном из номеров журнала «Почвоведение» как-то написали, что он умер от ножевых ранений, которые нанёс неизвестный. Вероятно, автор статьи решил, что отец академика не мог умереть столь не красивым образом.

### Мать



*Елена Фёдоровна с дочерьми*

Елена Фёдоровна родилась в 1832 в селе Троицком Кашинского уезда Тверской области. По одной версии она была вольноотпущенной крестьянкой Одинцовой, по второй, что она происходит от Князей Голицыных. В те годы именем Троицкое владел князь Фёдор Андреевич Голицын.

[В 1855 году Robert Oscar Williams женился на Елене Фёдоровне Голицыной. При жизни отца семья жила в собственном доме в начале Петровского парка, недалеко от Тверской заставы (где теперь находится Белорусский вокзал).]¹ В семье было 10 детей. К сожалению, в те времена детская смертность была очень высокая, и четверо умерли ещё в раннем возрасте.

[Самая старшая из детей была Софья. Окончила Московскую консерваторию.

Когда умер отец, ей исполнилось 18 лет. Она была хорошей пианисткой, но перешла на педагогическое отделение консерватории, чтобы помогать родным. Умерла в 1898 году в возрасте 40 лет.]¹

После смерти мужа, Елена Фёдоровна приложила большие усилия, чтобы дать детям отличное образование. Она продала дом и переехала вместе со всеми детьми на Смоленский бульвар, сняв там квартиру на втором этаже небольшого двухэтажного домика (на углу Смоленской площади и Ружейного переулка) и устроилась работать в дом князей Горчаковых, где занималась организацией вечеров и балов. Дети также были вхожи в этот дом. Вероятно от неё, Василий Робертович и унаследовал способности организатора.

Владимир, младший брат Василия Робертовича. Пошёл по стопам отца, он изучал механику. Один из основоположников Политехнического музея, инженер – технолог, окончил в 1892 г. МВТУ (сейчас МГТУ имени Баумана). После завершения вузовского образования он работал лаборантом



*Владимир Робертович Вильямс  
1872-1957*

в Коммерческом училище на Остоженке, а затем с 1897 г., – хранителем технического отдела в Политехническом музее.

Известно, что с 1905 г. он не только работал, но и проживал в здании Политехнического музея. Вся его семья жила с ним.

С 1923 г. вместе с Василием Робертовичем он входил в ученый Совет Музея. Они часто читали там открытые лекции. Кстати сам Василий Робертович с 1894 года был заведующим сельскохозяйственного отдела Политехнического музея

Владимир Робертович, совмещал научную работу в музее с – преподавательской. Он стал профессором, доктором технических наук, заслуженным деятелем науки и с 1931 г. был заведующим кафедрой «Технология топлива» в Московском институте механизации и электрификации сельского хозяйства.

Сегодня в фондах политехнического музея хранятся некоторые вещи ученого, переданные вдовой Марией Петровной Вильямс в 1960-е годы.

Говоря о Владимире Робертовиче, нельзя не упомянуть о его сыне и племяннике Василия Робертовича – Петре Владимировиче Вильямсе. Как о нём писал Николай Николаевич Вильямс (внук Василия Робертовича): «дядя Петя по известности мог бы потягаться и с моим дедом».

Пётр Владимирович родился 17(30) апреля 1902 года. С 1909 года посещал школу-студию В.Н. Мешкова. В 1918 г. он некоторое время был студентом медицинского факультета МГУ, но, приобретя достаточные познания в анатомии, что было ему нужно как художнику, эти занятия прекратил.

В 1922 г. принимал участие в создании экспериментального Музея живописной культуры. В 1922 – 1924 гг. входил в группу «конкретивистов», стоящую у истоков объединения художников-станковиков – «ОСТ».

Пётр Владимирович был главным художником Большого театра и рисовал декорации для многих других театров, и до сих пор многие спектакли идут с его декорациями.

Его работы хранятся в фондах Третьяковской галереи, а некоторые карти-



*Петр Владимирович Вильямс  
1902-1947*

ны представлены в постоянной экспозиции.

Ещё Николай Николаевич (внук Василия Робертовича) в своих мемуарах пишет: [«Вот что я могу припомнить из семейных рассказов о нашей родне в Америке. Там вроде бы никого не осталось из наших, носящих фамилию Вильямс» - «Назывались две семьи из Калифорнии – Хойт и Херберт (Херберт – это фамилия, а не имя, я специально переспрашивал). Эти семьи вроде имели какое-то отношение к известной оружейной фирме Кольт. Наиболее именитым из родственников был писатель Джек Лондон, сохранились его письма к деду.»]<sup>4</sup>.

К сожалению писем, нам пока так и не удалось найти.

### **Василий Робертович Вильямс**

Родился 27 сентября (9 октября по старому стилю) 1863 года и 14 ноября того же года его крестили в Англиканской церкви Св. Эндрю (действует и ныне) и дали



*Вильям Вильямс  
1866 год*



*Вильям Вильямс  
8 лет*

имя William Robert Williams, о чём имеется запись в «свидетельстве о крещении».

Кстати говоря, только в 1888 году, подав прошение в Московское Губернское правление, Василий Робертович сменил подданство, имя и получил титул «Личного почётного гражданина». Поскольку если Елена Фёдоровна и происходила из Голицыных, то выходя замуж за гражданина Североамериканских штатов теряла титул.

Семья Василия Робертовича была весьма состоятельной. В доме имелась богатая библиотека, в которой находились книги не только по художественной литературе, но и естественнонаучного содержания. С самого раннего детства он начал изучать иностранные языки – английский, немецкий, французский, итальянский.

Вильямс долго учился дома, для него был нанят репетитор гимназист-старшеклассник Болеслав Корнелиевич Молодзевский. Это был талантливый юноша, впоследствии видный математик, профессор Московского Университета и общественный деятель в области народного просвещения.

Осенью 1879 года Василий Робертович поступил в четвёртый класс реального училища Карла Карловича Мазинга. В то время это было самое обычное третьесортное училище, но очень быстро оно превращается в одно из самых лучших Москвы. Ныне это Московская школа № 57, которая и в наши дни считается самой лучшей школой Москвы.

В старших классах он сам начинает подрабатывать репетиторством и одним из его учеников становится Константин Сергеевич Станиславский.

Летом 1883 года Василий Робертович блестяще окончил училище и 3 сентября, вместе с другими поступающими он начал держать «состязательные испытания». Все экзамены выдержал блестяще и был зачислен студентом первого курса сельскохозяйственного отделения Петровской земледельческой академии. В этот период Академия ещё не входит в состав Москвы. Здесь ещё не ходил трамвай, нет машин. Тут свой мир, своя атмосфера. Сейчас это трудно представить.

Будучи студентом, Василий Робертович не бросает свои увлечения музы-

кой. Его старшая сестра Софья доставала контрамарки и ходила с братом на симфонические концерты. Особенно они оба любили Чайковского, Бетховена и Шопена. Василий Робертович сам говорил, что вся его юность прошла в мире звуков. Он имел хороший голос и даже колебался в выборе жизненного пути – агронома или певца. Всю жизнь он с увлечением посещал концерты и оперы и дома с большим удовольствием слушал выступления своих друзей, поющих или играющих на каком-нибудь инструменте.

Во время обучения в академии Василий Робертович подружился с Леонидом Карловичем Бекманом. Не будучи профессионалом-музыкантом, Леонид Карлович очень любил музыку, Он хотел стать музыкантом, но его отец считал, что это профессия не для мужчин, и позволил сыну начать серьезные занятия музыкой только после окончания Петровской земледельческой академии. Конечно, это было уже поздно. И, тем не менее, в историю Леонид Карлович вошёл как автор музыки к одной из самых известных детских песенок «В лесу родилась ёлочка».

Даже после окончания академии они не прекращали поддерживать отношения, часто ходили друг к другу в гости. Вот как вспоминает об этих встречах дочь Бекмана. – Вера (Вера Леонидовна Сухаревская): [«В детстве массу подарков мы получали от «дяди Васи» – Василия Робертовича Вильямса, будущего академика, а тогда профессора химии, почвовед, с которым наших родителей связывала большая дружба. Он вообще любил дарить широко. На мамино рождение, которое праздновалось 31 декабря по старому стилю, он всегда привозил громадный торт-калач, сделанный по заказу на одной из московских кондитерских фабрик. Нам, детям, он всегда дарил роскошные подарки, например, две коробки с животными из папье-маше, в одной были дикие животные, в другой домашние. Однажды он подарил нам совсем небольшую коробочку, но каково же было наше восхищение, когда там оказались крохотные, плетеные из соломы корзинки с различными продуктами сельского хозяйства – капустой,



*Вильям Вильямс  
22 года*

морковью, спаржей, яичками, помидорами, художественно выполненными из гипса. Они оказались прекрасным «товаром» для кукольной бакалейной лавочки, подаренной Оле на именины. Последними игрушками, подаренными Василием Робертовичем, были деревянный чайный посудный набор с самоваром для Оли и резной деревянный письменный прибор для Веры.

Теперь хочется вспомнить о некоторых летних событиях нашей жизни. Все первые годы нас вывозили в Петровское – Разумовское – в Сельскохозяйственную Академию. Там мы жили на даче у Заглухинского, затем в доме у профессоров Семена Ивановича Ростовцева и Василия Робертовича Вильямса. До сих пор помню (в частности, благодаря огромному количеству папиных снимков) чудесный, хотя и небольшой сад, принадлежавший ботанику Ростовцеву. В саду было множество цветов, а железная калитка вела прямо в дендрологический сад Акаде-



*Леонид Карлович Бекман  
с женой Еленой Александровной  
и дочерьми Верой и Олей*

мии. Помню также замечательный парк с бассейном и прудом, где мы гуляли, И, наконец, красивая, сломанная после революции церковь.

Иногда мы ездили всей семьей на трамвае и паровичке за город, не доезжая до Разумовского, в так называемую «Соломенную сторожку». Там в лесу, принадлежащем Академии, мы целой компанией, как видно на снимках, пили за столиком молоко, чай (заказав у тамошних жителей самовар) и угощались привезенными из дома вкусными вещами. С нами иногда бывали наши родственники, гувернантки и знакомые.»<sup>5</sup>

Ксения Ильинична Голенкина (вторая жена Василия Робертовича) рассказывала: [«В 1903 г. из молодых друзей Василия Робертовича собрался кружок талантливых людей (пианисты Бекман-Щербина, Демьянова, певец Шацкий — студент СХИ и др.), и у Василия Робертовича явилась идея перенести музыкальные выступле-

ния из домашней обстановки, сделать их доступными для масс.

Так организовались летом того года публичные концерты, которые происходили в большом зале главного здания (ныне здание Ректората) и на которые допускались решительно все желающие, от мала до велика. Концерты были каждую неделю, и всегда зал был переполнен, а в парке перед окнами собиралась толпа слушателей. Благодаря знакомству Бекман и Демьяновой и самого Василия Робертовича с артистическим миром мы слушали выдающихся музыкантов, певцов, драматических артистов... Десятилетие смерти Чайковского наш коллектив отметил первый большим концертом, посвященным его произведениям.

И во всем этом Василий Робертович принимал всегда самое живейшее участие. Он приглашал артистов, он взял на целый год на прокат рояль, который так и оставался всё время в главном здании. Концерты эти продолжались в течение двух лет.

Только что закончилась гражданская война. Страна начала великую стройку. Василий Робертович проводит много времени в созданном им Луговом институте (Институт кормов) в Качалкине... Курсисты в часы досуга поют, образуется хор. Среди персонала института и их семей находятся певцы, художники, танцующие, и вот является мысль поставить оперу для окрестного населения.

И здесь Василий Робертович принимает самое горячее участие, приходит на репетиции, дает советы, перед спектаклем сам осматривает и проверяет каждую мелочь и исправляет недочеты.

Первой оперой была «Русалка», поставленная 2 мая. Слушать ее собрались крестьяне из всех окрестных деревень в радиусе 10-15 км. На следующий год поставили «Снегурочку», затем отдельные сцены из «Князя Игоря», «Царской невесты», «Майской ночи».

Хор в Качалкине был преимущественно мужской, а у Василия Робертовича в Академии на контрольной станции работало семь сотрудниц и все поющие. Наши сотрудницы разучивали все в Петровке, а накануне спектакля приезжали



*Ксения Ильинична Голенкина*



*Василий Робертович Вильямс  
1914 год*

в Качалкино, и получался один смешанный хор.

Все мы находили самый радушный прием, самое теплое и любовное отношение к себе у Василия Робертовича, неизменно отдававшего нам в эти дни весь свой досуг.

И в то время, когда трудящимся искусство было мало или совсем недоступно, он сумел дать возможность рабочим Академии и крестьянам вокруг Качалкина ознакомиться с высокими образцами музыки.

Благодаря воспоминаниям Ксении Ильиничны нам открылся совсем другой Василий Робертович, который не только умел исключительно много и плодотворно работать в области науки, но, любя и понимая искусство во всех его областях, умел привить эту любовь и понимание другим.]<sup>2</sup>

Умер Владимир Робертович 11 ноября 1939 года. Его похоронили в дендрологическом саду Тимирязевской академии. Его могила находится рядом с огромным раскидистым дубом, под которым он любил сидеть.

## Список литературы:

1. Крупениковы И. и Л. Василий Робертович Вильямс 1863-1939. Серия: Жизнь замечательных людей (ЖЗЛ). М.. Молодая гвардия, 1951г., 576 с.

2. Голенкина К.И. Страничка воспоминаний // Почвоведение. 1935. № 5/6. год, С. 741-742.

3. Коренев Л.И. Американский железнодорожник – родоначальник выдающихся деятелей России // Зелёная лягушка [сайт]. URL: <http://korenev.org/index.php/ru/2011-04-07-13-55-37/2011-04-07-14-09-17/134-amerikanskij-zheleznodorozhnik-rodonachalnik-vydayushchikhsya-deyatelej-rossii> (дата обращения 20.09.2013)

4. Вильямс Н.Н. Воспоминания // Николай Николаевич Вильямс [сайт]. URL: <http://nikolaywilliams.narod.ru/memo1.html> (дата обращения 01.10.2013)

5. Сердобольская О.Ю. // Оля СЕРДОБОЛЬСКАЯ (Сухаревская) [сайт]. URL: <http://olia-serd.narod.ru/> (дата обращения 04.05.2013)

## РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ЛУГОВОДСТВУ В РГАУ–МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА – ОТ В.Р. ВИЛЬЯМСА ДО НАШИХ ДНЕЙ

*Н.Н. Лазарев*

*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Исстари луговое хозяйство в России являлось важнейшей отраслью сельского хозяйства, обеспечивавшего животноводство кормами. Даже в настоящее время, когда их значение в производстве кормов резко снизилось, велика роль луговых угодий как крупнейшей экосистемы в мире, занимающей 52,5 млн. км<sup>2</sup> суши [1]. Следует отметить, что в данном значении к лугам относятся все травяные сообщества, включая степи, аридные пастбища, саванны и др. Луговое хозяйство как наука также изучает все травяные сообщества. Геоботаники при изучении теории лугового хозяйства (луговедения) характеризуют только растительные сообщества с преобладанием многолетних травянистых мезофитов.

Придавая большое значение луговым угодьям, ежегодно проводятся собрания Европейской Федерации луговодолюбителей и раз в четыре года – Международные конгрессы по луговедению.

Первым в России ученым, посвятившем вопросам изучения луговых трав и травосеяния, был А.В. Советов, который в своей работе «О разведении кормовых трав на полях», вышедшей в 1859 г., рассматривал травосеяние не только как дополнительный источник кормов, но и как важнейший фактор повышения плодородия почв. Обосновывая необходимость полевого травосеяния. А.В. Советов считал, что на 1 га пашни необходимо иметь 2 га луговых угодий. В Европейской России площадь пахотных земель тогда составляла 85,2 млн. га, а лугов – 29,6 млн. га [2]. Он указывает на плохое состояние естественных лугов, на необходимость их удобрения и увеличения их площадей за счет посевов многолетних трав на полевых землях.

В.Р. Вильямс был одним из первых русских ученых, глубоко заинтересовавшимся природными лугами, методами их

улучшения и разработкой способов создания искусственных лугов.

Интерес к луговой флоре возник у В.Р. Вильямса еще в школьные годы, когда собирал растения для своего первого гербария. В Петровской академии у студента В.Р. Вильямса этот интерес делается более целеустремленным. Впервые курс луговодства в Петровской академии начал преподавать И.А. Стебут, в лекциях которого В.Р. Вильямс впервые услышал краткое изложение основ луговодства.

Сам В.Р. Вильямс начал преподавать курс луговодства в Петровской академии в 1895 году. Первые лекции проф. В.Р. Вильямс читает на основе изучения западноевропейской практики и литературы, но уже тогда он критически оценивал некоторые способы ухода за лугами.

Для изучения всего многообразия растений сенокосов и пастбищ в 1904 г. им был создан уникальный питомник, насчитывающий более 3000 видов, форм, рас злаковых и бобовых растений. Образцы семян трав со всей страны ему присылали его ученики.

Первый учебник «Луговое хозяйство» был напечатан в 1898 г. по записям студентов Н. П. Ерлыкова и Н. З. Маркелова, слушавших лекции В.Р. Вильямса. В нем уже дается первая классификация лугов. Он делит луга на заливные, суходольные, болотистые, лесные и степные. В.Р. Вильямс большое внимание уделил в своем первом курсе улучшению лугов поверхностными способами (снятие дернины, разрыхление почвы и известкование ее, настиление дернины на прежние или на новые места), описывает разные луговые плуги, скарификаторы.

Уже во время своих первых путешествий по России В.Р. Вильямс широко ознакомился с нашими лугами в поймах Волги, Днепра, Оки, Сызрани, Красивой

Мечи и многих других рек. Наблюдая плохое состояние лугов, В.Р. Вильямс пришел к выводу, что необходимо срочно готовить специалистов по луговодству. В 1911 году он получил из Петербурга разрешение организовать при лаборатории почвоведения краткосрочные курсы переподготовки агрономов по луговодству. Затем в 1914 г. под его руководством открываются высшие курсы по луговодству в Качалкине.

В.Р. Вильямс сам увлеченно продолжает пополнять знания о луговой растительности на своей коллекции трав, во время обследования лугов в различных губерниях России. В начале 1914 г. он был командирован в Австрию и Германию для изучения работ по луговодству и болотоведению в высших школах этих стран.

В 1922 г. выходит из печати капитальный труд В.Р. Вильямса «Естественнаучные основы луговодства или луговедение». В этом труде он выделил луговедение как отдельную науку и учебную дисциплину. Эта работа – органическая часть всего его учения о почвах и почвообразовательном процессе – связывает в единое стройное целое почву и растительность луга. Центральным звеном его учения о луге является разработка теории дерновообразовательного процесса.

В последующих своих трудах, в частности «Луговодство и кормовая площадь» (1930-1933 гг.), он уже дает практические рекомендации по использованию и уходу за лугами. Василий Робертович считал, что поверхностные способы улучшения (рыхление дернины, подсев трав) на природных лугах дают невысокий и краткосрочный эффект. Он пришел к заключению, что наиболее целесообразно улучшать луга коренным способом.

Основной причиной падения урожайности лугов В.Р. Вильямс считает изменение условий роста трав, обусловленное их же собственным развитием на данной почве. По мнению ученого, луговые злаки оказывают положительное влияние на структуру почвы и отрицательное – переполнение верхнего слоя почвы органическим веществом, что приводит к плохой проницаемости почвы для воды и воздуха, заболачиванию, появления осок и мхов. Из этого В.Р. Вильямс делает вы-

вод о необходимости чередования лугов с полями. Так он пришел травопольной системе земледелия, основные производительные секторы, которой лес, луг и поле. В луговом севообороте чередуется полевой и луговой период. В луговой период воссоздается прочная структура почв. В полевой период питательные вещества, накопившиеся в дернине, расходуются ценными продовольственными и техническими культурами.

В 1911 г. В. Р. Вильямс привлекает А. М. Дмитриева для чтения лекций на высших курсах по луговодству. К этому времени А.М. Дмитриев был уже сложившимся луководом, опубликовавшим свыше 80 работ по вопросам лугопастбищного хозяйства. Он имел большой практический опыт по обследованию лугов Ярославской губернии и организации опытно-показательных пунктов по культуре кормовых растений.

Для практического обучения слушателей курсов и студентов А.М. Дмитриев совместно с В.Р. Вильямсом организует Качалкинское учебное хозяйство, которое в 1922 г. было преобразовано в Государственный луговой институт. Этот институт под руководством А. М. Дмитриева провел большую работу по организации научных исследований по луговодству в масштабе всей страны. С 1922 по 1930 гг. А.М. Дмитриев одновременно является директором Государственного лугового института и занимается преподавательской деятельностью. Под его руководством в академии было создано культуртехническое отделение и уже в 1925 г. проведен первый выпуск культуртехников.

В 1914 г. вышел его первый учебник «Луговодство». Впоследствии по мере накопления новых знаний о лугах, в 1941 г. выходит учебник «Луговодство с основами луговедения». Второе издание этого учебника опубликовано после смерти автора и было удостоено в 1949 г. Государственной премии. Всего А.М. Дмитриевым опубликовано 190 научных работ по вопросам лугопастбищного хозяйства. Всеобщее признание получила, разработанная им классификация лугов лесолуговой зоны.

В 1922 г. А. М. Дмитриев был утвержден профессором академии, в 1930 г.

возглавил кафедру кормодобывания, а с 1936 г. – кафедру луговодства.

А.М. Дмитриев придавал большое значение практической помощи хозяйствам. В восьми хозяйствах кафедрой были организованы опорные пункты по изысканию и совершенствованию способов улучшения лугов. По изучению опыта этих хозяйств было проведено первое в стране областное совещание по луговодству.

В опытном хозяйстве "Щапово" в 1931-1932 гг. был проведен крупный эксперимент по сравнению пастбищного и стойлового содержания скота, в результате которого выявлено экономическое преимущество выпаса животных на культурных пастбищах. Интересная работа была выполнена в с-зе "Коммунарка", где изучали приемы создания лесопарковых пастбищ.

Многоплановые и глубокие исследования были развернуты на кафедре луговодства с 1956 г., когда заведующим был избран Н.Г. Андреев. Под его руководством на основе хозяйственных договоров были развернуты научные и внедренческие работы по созданию и использованию высокопродуктивных сеяных пастбищ. Были разработаны приемы первичной обработки почвы при коренном улучшении кормовых угодий, определены оптимальные дозы минеральных удобрений, режимы орошения, подобраны высокоурожайные травосмеси и обоснованы рациональные режимы использования травостоев. Орошаемые культурные пастбища, созданные сотрудниками кафедры луговодства, в ГПЗ "Заря Подмосковья", к-зе "Борец", к-зе "Ленинский луч", с-зе "Сергиевский" Московской области стали показательными объектами, где проводились республиканские и областные семинары по кормопроизводству. В 1976 г. Н.Г. Андреев был удостоен Государственной премии за разработку и внедрение в производство технологии создания и использования высокопродуктивных культурных пастбищ. Он был избран почетным президентом Европейской Федерации луговодов.

При кафедре луговодства в те годы под руководством доц. З.И. Метельского, а затем проф. И.В. Кобозева были разработаны и серийно выпускались промыш-

ленностью дождевальные шлейфы для орошения кормовых культур. Проф. И.В. Кобозевым получено свыше 200 авторских свидетельств на изобретения.

В.Р. Вильямс в течение 15 лет был заведующим сельскохозяйственным отделом Люблинских полей орошения и получил богатейшие научные данные по влиянию сточных вод на пойменные почвы и растительность лугов. В 60-е годы эти работы по использованию промышленно-бытовых сточных вод для удобрительного орошения культурных пастбищ были продолжены ст. научн. сотр. Г.Е. Мерзлой. По результатам этих исследований она защитила докторскую диссертацию.

Проблемой формирования пастбищных травостоев в условиях орошения в конце 60-х годов начал заниматься В.А. Тюльдюков. Им разработаны нормы полива культурных пастбищ, подобраны травосмеси и нормы внесения минеральных удобрений. Важными явились исследования по созданию орошаемых культурных пастбищ, используемых для выпаса скота в год посева.

В последние годы при сокращении поголовья скота и увеличении площадей кормовых угодий за счет необрабатываемой пашни не отмечается роста производства кормов и продуктивности животных. Это обусловлено тем, что из-за недостатка финансовых средств не проводятся работы по улучшению и текущему уходу за кормовыми угодьями. Исследования кафедры луговодства показывают, что сеяные злаковые луга могут сохранять устойчивую продуктивность на уровне 5,-6,0 т/га сухой массы в течение 25-30 лет. Условием этого является внесение минеральных удобрений и рациональный режим использования. На супесчаных почвах при двукосном скашивании и внесении не менее 120 кг/га азота формируются злаковые травостои с доминированием костреца безостого. При пастбищном использовании длительное время (до 18 лет и более) в составе травостоев удерживается ежа сборная, составляя в урожае до 40% массы. Чередование режимов использования (пастбищного, укосного и обсеменения) позволило поддерживать высокую долю ежи сборной в травостое в течение 25 лет.

В.Р. Вильямс также указывал на возможность длительного долголетия злаковых трав. Он писал, что поздно развивающиеся луговые злаки могут образовывать новые побеги в течение десяти, пятнадцати и даже двадцати и тридцати лет, но каждое новое поколение побегов несет все увеличивающееся в своей яркости признаки вырождения.

Наблюдения за ботаническим составом ранее интенсивно удобрявшихся травостоев показывает, что за 7-летний период без применения удобрений при регулируемом пастбищном использовании не отмечается резкого ухудшения ботанического состава травостоев. Хотя несколько и возрастает количество менее требовательных к плодородию почвы низовых трав. В.Р. Вильямс указывал, что луговые травы являются тем барьером, который задерживает питательные вещества в дернине, предотвращая их вымывание. Накопленные в благоприятные периоды питательные вещества могут затем экономно расходоваться, поддерживая урожайность на стабильно приемлемом уровне.

В.Р. Вильямс описал возрастные стадии луга и установил причины последовательной смены корневищных злаков рыхлокустовыми. Исследования на сеяных лугах показывают, что за счет внесения азотных удобрений и рациональных режимов использования можно значительно продлить стадию корневищных верховых злаков.

На пойменных лугах в условиях достатка влаги и минерального питания формируются растительные сообщества с преобладанием корневищных видов злаковых трав, устойчивых к затоплению полыми водами. Нередко такие травостой сильно засоряются грубостебельными видами разнотравья. Исследования в пойме р. Москвы показали, что уничтожение сорной растительности на таких лугах с помощью гербицидов позволяет в течение двух лет переформировать разнотравно-злаковые травостой в злаковые с доминирование двукисточника тростникового или костреца безостого. Урожайность двукисточниковых лугов при двухукосном скашивании и внесении под каждый укос по 60 кг/га азота возрастает до 8,5 т сухой

массы с 1 га. При очаговом засорении наиболее эффективным является локальный способ внесения химических препаратов.

Улучшение ботанического состава травостоев пастбищ и сенокосов пока не получило в практике широкого применения, так как эффективность этого мероприятия не всегда бывает высокой. Даже применение специальных сеялок с фрезерными рабочими органами не гарантирует высокой приживаемости подсеянных трав. Изучение на различных типах травостоев способов подсева трав показывает, что полосной способ подсева превосходит по приживаемости разбросной способ в 3–5 раз. Урожайность при подсеве многолетних бобовых трав возрастает в 1,5 раза, значительно увеличивается питательность и поедаемость получаемых кормов.

Ресурсосбережения можно достичь за счет сокращения количества технологических операций или их совмещения при проведении работ по улучшению кормовых угодий. Так при коренном улучшении суходольных лугов на бедных дерново-подзолистых почвах по фрезерной обработке почвы формировались более продуктивные луга, чем по пахотной. При улучшении запыреенных кормовых угодий возможно проведение залужения путем прямого посева трав после уничтожения старого травостоя раундапом. При применении такой технологии необходимо предусмотреть меры борьбы с сорной растительностью, которая появляется из семян, имеющихся в верхнем слое почвы.

Важнейшая роль в современных условиях принадлежит многолетним бобовым травам, которые не требуют внесения азотных удобрений. В условиях Нечерноземья должны быть расширены посевы люцерны изменчивой. Она является той культурой, которая в условиях потепления климата может успешно возделываться в северных регионах страны, благодаря своей высокой засухоустойчивости и морозостойкости. Исследования, проведенные в 1996–2013 гг., показывают, что новый сорт люцерны Пастбищная 88 способен формировать урожаи 9–11 т сухой массы с 1 га в течение 6 лет. В одновидовых посевах доля люцерны в урожае на 6-й год пользования составляла

84 – 94 %, а в травосмесях 65 – 69 %. На почвах достаточно обеспеченных фосфором и калием и с реакцией среды близкой к нейтральной высокой устойчивостью характеризовались как одновидовые посе́вы люцерны, так и ее смеси с кострцом безостым и тимофеевкой луговой. Из всех возделываемых в Нечерноземье трав люцерна является самой засухоустойчивой. В засушливых условиях 1999, 2002 и 2010 гг. люцерна изменчивая снизила урожай по сравнению с предыдущими годами только в 1,4- 2 раза, в то время как клевер ползучий – в 3,4 – 4,6 раза.

Исследования показали, что новые кислотоустойчивые сорта люцерны изменчивой Селена и Агния дают устойчивые урожаи на дерново-подзолистых почвах с  $pH_{\text{сол}} 5,0-5,6$ .

Агроэнергетическая оценка выращивания люцерно-злаковых травостоев показывает, что затраты совокупной энергии окупаются выходом обменной энергии в 5,5 – 8,3 раза. Внесение 90 кг/га азота под злаковую травосмесь снижает агроэнергетический коэффициент до 2,3 – 2,9. Таким образом, в современных условиях можно успешно вести лугопастбищное хозяйство только на основе применения ресурсосберегающих способов поверхностного улучшения (подсев трав, борьба с сорной растительностью, внесение умеренных доз удобрений) и создания сеяных бобово-злаковых травостоев с участием новых сортов люцерны изменчивой и клевера лугового

Значительные научные исследования проводятся в настоящее время доцентами В.Н. Мельниковым и Н.Г. Тазиной по разработке технологии возделывания новой культуры – козлятника восточного, способного давать устойчивые урожаи в течение 15-20 лет. На кафедре Р.А. Сагировой успешно защищена докторская диссертация по технологии возделывания

козлятника в условиях мерзлотных почв Иркутской области.

Многолетние злаковые травы являются прекрасными дернообразователями. На это важное свойство злаковых трав указывал В.Р. Вильямс, разработавший теорию дернообразовательного процесса, а А.М. Дмитриев был первым, кто выделил в особую группу растения с корневищно-рыхлокустовым типом кущения (мятлик луговой, лисохвост луговой, овсяница красная), формирующими наиболее плотную и ровную дернину. В последние годы развернуты большие работы по озеленению городских территорий и, в частности, по созданию газонов. С 2003 г. на кафедре развернуты большие научные исследования по подбору травосмесей для газонов, их удобрению и режимам эксплуатации. Установлено, что мятлик луговой и овсяница красная способны формировать долговечные газоны, сохраняющие высокое качество дернового покрытия на 10-й год жизни. Установлена целесообразность применения осадка городских сточных вод при создании обыкновенных газонов, сохраняющих высокие декоративные качества в течение десятилетнего периода их эксплуатации.

Таким образом, созданный В.Р. Вильямсом и А.М. Дмитриевым крепкий фундамент луговодческой науки является основой дальнейшего успешного развития научного луговодства в Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева.

## Литература

1. Suttie J.M., Reynolds S.G., Batello C. Grassland of the world. Rome: FAO, 2005. 538 с.
2. Советов А.В. Избранные сочинения. М.: Изд-во с.-х. литературы, 1950. 446 с.

## ДЛИТЕЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ОПЫТ И ОПЫТ ЦТЗ РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА: ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*М.А.Мазиров, О.А.Савоськина, А.И. Беленков  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Полевой опыт является наиболее репрезентативным методом исследования теоретических и практических основ воспроизводства плодородия почв, повышения урожая сельскохозяйственных культур и

улучшения его качества. Во всем мире известно около 300 стационарных длительных полевых опытов. Наиболее известные полевые опыты с продолжительностью более и около 100 лет представлены в таблице 1.

### 1. Наиболее известные длительные полевые стационары мира

Место проведения опыта	Страна	Год закладки
Ротамстед (Rothamsted)	Англия	1843
Гриньон (Grignon)	Франция	1875
Иллинойс (Illinois)	США	1876
Галле (Halle)	Германия	1878
Коламбия (Columbia)	США	1888
Дакота (Dakota)	—”—	1892
Асков (Ascov)	Дания	1894
Обурн (Auburn)	США	1896
Вад Лаухштедт (Bad Lauchstadt)	Германия	1902
Дикопсхоф (Dikopshof)	—”—	1904
Саскачеван (Saskatchewan)	Канада	1911
Москва (МСХА)	Россия	1912
Скирниевице (Skierniewice)	Польша	1923
Далем (Dalem)	Германия	1923
Тироу (Thyrow)	—”—	1937

В 2012 г. в их число вошел Длительный полевой опыт Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Он был заложен в 1912 г. по инициативе академика Д.Н. Прянишникова профессором, заведующим кафедрой земледелия Алексеем Григорьевичем. Дояренко, который оставался его научным руководителем до 1930 г.

Ценность результатов научного исследования пропорциональна длительности стационара. Она возрастает по мере приближения опытного участка к устой-

чивому экофитоценоотическому равновесию. В длительном полевом опыте происходит компенсация части отклонений в действии и взаимодействии изучаемых и не изучаемых, но контролируемых факторов.

Многие из проблем, изучаемых в длительных опытах со дня их закладки, не потеряли своей актуальности. Вместе с тем во всех классических опытах появляются со временем ограничения, учет и возможная корректировка которых позволит повысить эффективность исследований и достоверность результатов. Сре-

ди недостатков длительных стационаров выделяют примитивность исходной статистической модели, а также – низкую репрезентативность земельного участка и агротехнического фона, что затрудняет математическую обработку данных и возможности рекомендаций для производства.

Типичным недостатком Длительных опытов считается отсутствие полноценной территориальной повторности, т.е. полная схема опыта не повторяется. Роль “нормальной” повторности при дисперсионном анализе данных выполняет повторяемость вариантов по годам (повторность во времени). В отличие от повторности другое ограничение, типичное для всех классических опытов: отсутствие рендомизаций при закладке вариантов уже невосполнимо. Все опыты XIX – и первой трети XX века заложены на основе систематического метода размещения вариантов, рендомизированные методы стали внедряться широко лишь в 50-тые годы

Однако временной фактор (длительность эксперимента) позволяет не только выявить роль погоды, но и установить тренды гумуса, урожайности и т.д., а также провести компонентное моделирование и другие сложные статистические обработки [1].

Земельный участок опыта составляет 1,5 га с уклоном на запад и северо-запад в 1,5-1,8° расположен на южной окраине Клинско-Дмитровской возвышенности, представленной моренной равниной. Превышение над водным зеркалом реки Москвы составляет 60 м, а уровнем моря (Балтийского) – 162 м. Среднегодовое количество осадков составляет около 600 мм/год, из них около 300 мм за май – август, а среднегодовая температура – 4,1°С выше нуля. Грунтовые воды (верховодка) поднимаются до 2,0-2,5 м от поверхности почвы.

Территория Полевой опытной станции, на территории которой расположен Длительный полевой опыт, представлена четвертичными отложениями супесчанной и суглинистой бурой морены с прослойками (10–22 см) юрских глин. Международное название почвообразующей породы или субстрата – суглинистая красно-бурая плейстоценовая морена. О наличии, хотя и редком, карбонатов свидетельствует вскипание от HCl на 3-ем метре. По всему профилю встречаются валунчики. Строевание профиля, на основе механических частиц – двухчленное: верхний слой (40–50 см) – песчаный крупно-пылеватый суглинок, а нижний – до глубины 3 м – легкий и реже средний суглинок с прослойками и линзочками (5–20 см) песка (таблица 2)

## 2. Доля (%) фракций (частиц) гранулометрического состава почвы 0-20 см, в среднем по основным вариантам, %

Исследователь, Год	Число вариантов, (n)	Размеры фракций, мм					
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
Ильменев С.И., 1934	9	19,8	41,2	14,6	14,1	4,9	6,4
Гречин И.П., 1953	1	17,4	24,5	30,8	7,8	9,3	9,2
Шаймухаметова А.А., 1960	6	27,7	18,8	32,4	6,6	6,5	8,0
Шаймухаметов М.Ш., 1963	10	19,0	12,1	44,6	7,5	7,6	9,2
Прудникова А.Г., 1973	8	26,4	21,3	31,4	6,5	6,9	7,5
Хохлов Н.Ф., 1994	1	22,3	29,2	33,0	5,9	7,4	2,3
Средневзвешенная	35	22,4	23,6	31,0	8,8	6,4	6,8

На агрономическом уровне почвенную разность опыта можно охарактеризовать как дерново-слабоподзолистая,

старопахотная (более 200 лет под пашней), от природы кислая и заплывающая.[2]

Между отечественной и международными классификациями существуют большие различия. Это касается не только почв, но даже размеров и названий механических частиц.

Можно допустить следующее соответствие двух классификаций: международной и отечественной по Качинскому (таблица 3).

### 3. Примерное соответствие размеров и названий частиц гранулометрического состава международной и отечественной классификаций

Размер механических частиц, мм	Название частиц	
	ФАО	Россия
1–0,25 0,25–0,05	Песок крупный средний и мелкий	Песок крупный средний и мелкий
0,05–0,01 0,01–0,005 0,005–0,001	Ил крупный (грубый) средний (тонкий) мелкий	Пыль крупная средняя мелкая
< 0,001	Глина	Ил

Во всех зарубежных классификациях глинистую фракцию составляют частицы менее 0,002 мм, тогда как в классификации Качинского самой мелкой механической частицей считается тонкий ил размером до

0,0001 мм. Частицы меньше 0,0001 мм в диаметре составляют фракцию коллоидов.

Подробная характеристика почвы участка длительного полевого опыта представлена в таблице 4.

### 4. Почвенные свойства опытного участка в слое 0-20 см через 60 лет после закладки опыта [ Кирюшин Б.Д, ]

Показатели	Среднее по опыту n=20-240
Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup>	2,65
Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>	1,53
Мак. гигроскопичность (мг), %	1,25
Полевая влагоемкость (влажность), %	19,2
pH, ед. pH-метра	5,2
Углерод (С) гумуса, %	1,03
Азот (N-общий), %	0,079
C/N	13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (подвижный), мг/100 г	23,5
K <sub>2</sub> O (обменный), мг/100 г	16,0
Сумма обменных оснований, мг - экв./100г	9,7

Земельный участок до закладки опыта входил в кормовой (прифермский) севооборот, где за 10 предшествующих лет лишь в 1909 году внесли 35 т/га навоза. С 1906 по 1911 годы возделывали следующие культуры: клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п.

– овес – пар черный – озимая рожь с подсевом клевера – клевер 1 г.п. В 1912 году перед посевом яровых культур участок разделили на 2 части. Поперек 6-ти полей бессменных культур наложили 11 вариантов удобрений: 1 – N; 2 – P; 3 – K; 4 – O

(без удобрений); 5 – NP; 6 – NK; 7 – PK; 8 – NPK (N-NO<sub>3</sub>, в 1938...1948 – навоз, а с 1949 – NPK + навоз); 9 – NPK (N-NH<sub>4</sub>, с 1939 – NPK); 10 – навоз и 11 – O (без удобрений). Аналогичные варианты, за ис-

ключением 10-ого и 11-ого, наложили поперек полей севооборота, который явился “зеркальным” отражением первых девяти вариантов монокультур (рис. 1). Учетная площадь делянок составила 100 м<sup>2</sup>.

### Схематический план длительного опыта ТСХА

состояние на 2012 год

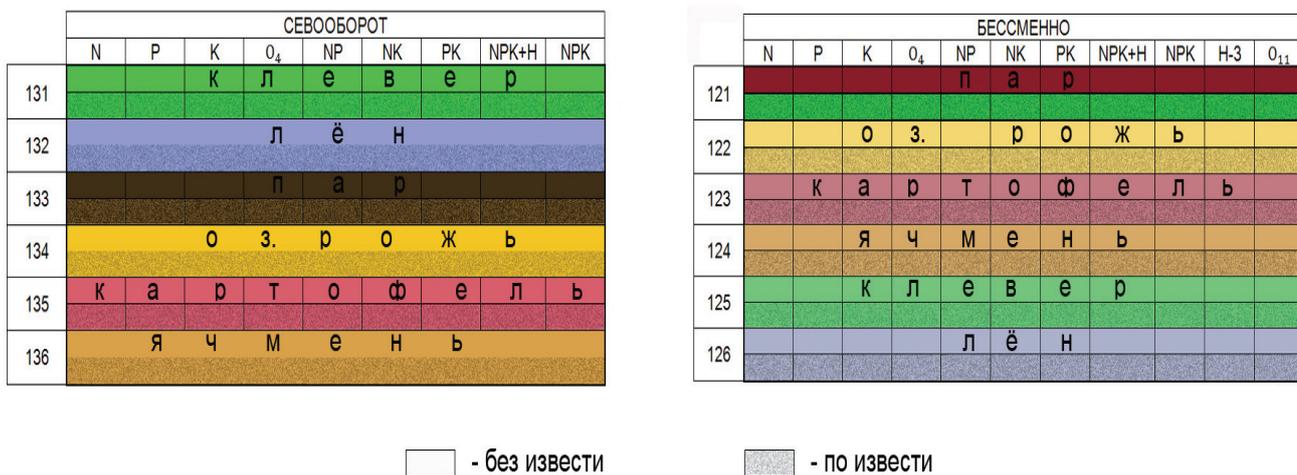


Рис. 1. Схема размещения культур в Длительном опыте ТСХА в 2012 г.

Эта схема изучения эффективности удобрений была предложена французским ученым Жоржем Виллем в 1874 г. Она включает полный набор возможных комбинаций азотных, фосфорных, калийных удобрений и достаточно информативна.

Итак, первым исходно изучаемым фактором в опыте была монокультура черного пара и 5 бессменных культур, при этом контролем служил шестипольный севооборот. Название “монокультура” поменялось в 70-е годы на “бессменные посевы (культуры)”. Более того, в отечественных стандартах по земледелию дают оба термина: монокультура – единственная культура в хозяйстве, а бессменной считается культура, длительное время возделываемая на одном поле. В научной литературе содержатся оба термина, но «бессменный» преобладает в англо- и русскоязычных изданиях, а «монокультура» - общепринятое международное понятие.

В опыте менялись виды и дозы удобрений, а также соотношение питательных веществ.

С осени 1949 года регулярно, один раз в ротацию (6 лет) на продольной половине каждого поля проводится известкование почвы. Этот агроприем стал третьим после монокультуры и удобрений изучаемым фактором.

Площадь учетной делянки сократилась до 50 м<sup>2</sup>. Первая доза известки составила 4,57 т/га доломитизированного известняка (83% Ca, MgCO<sub>3</sub>). Последующие дозы рассчитывались на основе гидролитической кислотности почвы и составили (год – доза): 1954 – 4,5; 1960 – 1; 1966 – 2; 1973 – 3; 1978 – 2; 1984 – 3; 1990 – 2; 1996 – 3; 2002 -3, 2009 - 2 т/га. Следует привести и дополнительно внесенные количества известки: 2,5 т/га в 1938 году на всех делянках 8-ого варианта и 4,5 т/га в 1978 году сплошь на четных полях севооборота.

В 1949 году было введено чередование культур во времени на известкованной половине бессменного черного пара (севооборот во времени).

Таким образом, с 1949 года опыт стал включать 3 территориально разно вели-

кие единицы: шестипольный севооборот, поля бессменных культур и севооборот во времени. В 1973 году добавился новый, четвертый, а вернее 4-ый и 5-ый самостоятельные участки. Речь идет о втором после 1949 года принципиальном и существенном изменении схемы опыта, осуществленном Б.А. Доспеховым. На четных полях основного севооборота (132, 134, 136) вместо 9 вариантов удобрений стали вносить сплошь единую дозу NPK, кг/га: 100 – 150 – 120 (N–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–K<sub>2</sub>O). На нечетных полях (131, 133, 135) продолжается схема 9 вариантов. В том же году овес, сильно повреждаемый птицами, заменили на ячмень. Из-за отрицательной реакцией клевера и льна-долгунца на бессменные посева, вплоть до полного их выпадения, удовлетворительный урожай этих культур получали как редкое исключение, лишь в первые 2-4 года после посева или пересева, затем поле клевера перепахивали, оставляли под черным паром, засеивали другими культурами или вновь клевером. С 1984 года бессменный клевер периодически, раз в 2-3 года возобновляют путем пересева.

Более длительными были периоды отсутствия бессменного льна. С 1927 по 1938 год это поле находилось под черным паром. Остановимся поподробнее на изменениях методики опыта и агротехнических мероприятий в нем. В течение первых 60 лет существования опыта, как отмечали В.Е. Егоров и Б.А. Доспехов, принципиальная сторона схемы опыта не изменялась. Однако по мере получения ответов на те или иные вопросы предпринимались различные улучшения схемы. Поскольку понятие «схема опыта» подразумевает, конкретные варианты, то стоит выделить 3 трансформации исходной схемы:

1. До 1937 года на варианте 8 – NPK-NO<sub>3</sub> изучалась нитратная форма азота (чилийская селитра до 1921 года, затем норвежская, а с 1924 года заводская натровая селитра). На варианте 9 - (NPK с 1912 года) изучалась аммиачная форма азота (сульфат аммония). В 1938 году деланки 8-ого варианта произвестковали (разовая доза 2,5 т/га), внесли навоз в дозе 20 т/га и вплоть до 1948 года продолжили изучение

этой дозы навоза, а в 1949 году вариант 8 принял окончательный вид NPK+навоз.

2. Первое, наиболее важное дополнение схемы было осуществлено В.Е. Егоровым в 1949 году. Оно связано с введением извести в качестве 3-его изучаемого фактора. Доза извести, рассчитанная по гидролитической кислотности, составила 4,57 т/га доломитизированного известняка (83% Ca+Mg при соотношении 2:1). Новые варианты были получены путем расщепления исходных деланок пополам. Урожай стал учитываться отдельно с известкованной и не известкованной частей деланки. Одновременно бессменный пар оставили лишь на неизвесткованной половине поля, а по фону извести развернули севооборот во времени. Начиная со 2-ой ротации, чередование культур стало соответствовать основному плодосмену.

3. Принципиальное изменение схемы опыта осуществил Б.А. Доспехов в 1973 году. На всех деланках четных полей севооборотного участка стали вносить единое удобрение (NPK), а в 1978 году внесли известь в дозе 4,5 т/га. На нечетных полях продолжили изучение 9 вариантов дифференцированного удобрения исходной схемы по фону извести и без извести. После введения новых вариантов многократно возросла не только информативность опыта, но и его тематика исследований. В качестве дополнительных изменений временного характера стоит упомянуть замену черного пара в севообороте занятым (картофель ранний) в 1967-1977 гг., парное сравнение сортов (1971-1981).

Детальная схема изменений (нововведений и возвратов к исходным позициям) представлена таблицей 5.

Последнее нововведение осуществлялось на всех полях путем их продольного расщепления. Ввиду существенного повреждения овса птицами в 1973 году произведена его замена ячменем. Все остальные замены культур касаются бессменного участка. Возделывание бессменного льна стало прерываться черным паром с конца 2-ой ротации, а в 1927-1957 гг. это поле оставалось под паром. Сходные проблемы характеризовали бессменный клевер.

## 5. Схема нововведений и их продолжительности в севообороте и на участке бесменных культур Длительного опыта ТСХА

Годы	Нововведения	Прежняя позиция	Поля, делянки
1918-1927	Пар-лен I	Лен	Поле 126
1927-1957	Пар	Пар-лен	То же
1938-1948	Навоз	НРК-NO <sub>3</sub>	Делянки НРК NO <sub>3</sub>
1938 г.	Известь, разовая доза	То же	То же
с 1949 г. по н.в.	Навоз+НРК	Навоз	То же
с 1949 г.	Известь, раз в 6 лет	Без извести	½ каждого поля
то же	Севооборот во времени	Пар	½ поля 121 по извести
с 1958 г. по н.в.	Лен	То же	Поле 126
1967-1977	Картофель ранний	То же	Поля сев-та: 132, 134, 136
1971-1981	Два сорта	Один сорт	Все поля
с 1973 г. по н.в.	Ячмень	Овес	Поля овса (2)
1973-1983	Озимая пшеница	Клевер	Поле 125
с 1973 г. по н.в.	НРК (сплошь)	О, N, ..., НРК, навоз+НРК	Поля сев-та: 132, 134, 136
1978 г.	Известь, разовая доза	½ б/изв. + ½ по извести	То же
с 1984 г. по н.в.	Клевер	Озимая пшеница	Поле 125

Наиболее значимые усовершенствования агротехники в опыте связаны с дозами вносимых удобрений и соотношением в них питательных веществ. Именно по этому фактору выделяют 4 периода столетнего опыта (таблица 6).

В первый период опыта (1912-1938) ежегодно вносили 7,5 кг азота (N),

15 кг фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 22,5 кг/га калия (K<sub>2</sub>O) и 18 т/га навоза. Эти дозы удобрений составляли 10-20% общепринятых для европейских опытов. Низкая степень химизации явилась объективной причиной замедленного окультуривания почвы и улучшения ее пищевого режима.

## 6. Система удобрений в опыте (минеральные удобрения – кг/га, навоз и известь – т/га)

Периоды	Дозы удобрений				Количество внесенных удобрений				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	навоз	известь
I (1912-1938 гг.)	7,5	15	22,5	18	195	390	585	486	0
II (1939-1954 гг.)	75	60	90	20	1200	960	1440	320	9
III (1955-1972 гг.)	50	75	60	10	900	1350	1080	180	3
в среднем за 1912-1972 гг.	-	-	-	-	36	44	51	16	0,5
IV (1973-2012 гг.)	100	150	120	20	3800	5700	4560	760	18

Во второй период опыта (1939-1954) дозы минеральных удобрений были увеличены до европейского уровня и составили 75, 60 и 90 кг/га по действующему веществу, соответственно: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O

(N<sub>75</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>). Это количество питательных веществ, приблизительно, соответствовало 20 т/га навоза. Доза навоза (20 т/га) практически не изменилась по сравнению с первым периодом. Учтено его положи-

тельное воздействие на содержание гумуса и длительное последствие.

В третий период (1955-1972) дозы удобрений скорректированы на уровне, необходимом для среднего темпа окультуривания подзолистой почвы. Это соответствовало следующей формуле:  $N_{50} P_{75} K_{60}$  кг/га и 10 т/га навоза (Н).

Четвертый период опыта, с 1973 года, ознаменовался удвоением доз вносимых удобрений по отношению к предшествующему периоду –  $N_{100} P_{150} K_{120}$  и  $N_{20}$ . С учетом содержания питательных веществ в навозе ежегодно вносилось порядка 200 кг/га каждого из 3 элементов: N, P и K. Подобная система удобрений должна была обеспечить урожайность зерновых, порядка 50 ц/га, что, как известно, требует около 1 т минеральных туков. Полевые культуры имеют низкий и сильно варьирующий коэффициент использования питательных веществ из минеральных удобрений. В среднем его величина редко превышает 50, 25 и 60% по азоту, фосфору и калию.

Если раньше удобрения вносили весной, то с 1944 года фосфорно-калийные удобрения стали вносить осенью под вспашку плугом с предплужниками, а азотные – дробно: две трети под предпосевную подготовку почвы, а одну треть в виде подкормки в ранние фазы развития растений.

Математическая обработка урожайных данных за 100-летний период проведения опыта выявила наличие корреляционных связей продуктивности полевых культур с количеством осадков по месяцам вегетационного периода. Теснота этой связи по культурам различна. Это свидетельствует о неодинаковой эффективности факторов интенсификации земледелия в один и тот же год при возделывании сельскохозяйственных культур. Наличие длительного прогноза погоды позволит корректировать технологии производства различной растениеводческой продукции.

В 2007 году в рамках инновационного общеобразовательного проекта в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева впервые в стране был создан научный Центр точного земледелия в составе Полевой опытной станции. Основу Центра составляет полевой опыт по сравнительному изучению точного и традиционного земледелия, который

образно выражаясь, является «правнуком» Длительного полевого опыта. В рамках четырехпольного плодосменного севооборота викоовсяная смесь на корм – озимая пшеница с пожнивным посевом горчицы на сидерат – картофель – ячмень изучаются два фактора – технологии возделывания полевых культур (фактор А) и приемы основной обработки почвы (фактор В). Традиционная технология возделывания культур основана на использовании современной техники с соблюдением рекомендуемых параметров и нормативных показателей их выполнения. Технология точного земледелия основана на использовании спутниковой системы GPS, с ее помощью корректируется выполнение агроприемов [3].

Приемы основной обработки почвы включают отвальную, минимальную и нулевую. Первая обработка проводилась оборотным плугом Eur Oral на 20 – 22 см под все культуры, вторая производилась культиватором Pegasus на 12-14 см под вику с овсом, картофель и ячмень. Вариант «нулевой» обработки предусматривался только под озимую пшеницу.

К числу определяющих элементов технологии точного земледелия относится посев (посадка) с.-х. культур с использованием навигационного оборудования, т.е., автопилота.

Результаты пятилетнего испытания различных сеялок, используемых в опыте, и способов посева с.-х. культур приведены в таблице 7.

В наших исследованиях посев зерновых культур (озимой пшеницы и ячменя) проводился, в одном случае, по автопилоту, в другом, по маркеру. При этом посев озимой пшеницы и ячменя на отвальном фоне осуществлялся сеялкой точного высева Д-9-30 с применением системы GPS и маркера. По варианту нулевой (без обработки) и минимальной обработок почвы проводился посев пневматической сеялкой прямого посева ДМС только с использованием автопилота. Маркер при работе этой сеялки использовать не удается в силу конструктивных и технических недоработок. Посев викоовсяной смеси проводится двумя сеялками: Д-9-30 на вспашке, ДМС на нулевом варианте только с применением автопилота.

**7. Ширина стыковых междурядий и величина отклонений от стандартной величины междурядий сеялки за 2009-2013 гг.**

Культура	Сеялка Д-9-30 (отвальный фон)				DMS (минимальный)	
	По маркеру		Автопилот		Автопилот	
	Ширина стыкового междурядья, см	Отклонение, см	Ширина стыкового междурядья, см	Отклонение, см	Ширина стыкового междурядья, см	Отклонение, см
вика+овес	-	-	13.3	+1.3	19,1	+0,3
оз. пшеница	16.8	+4.8	13.8	+1,8	19,2	+0,4
ячмень	15.2	+3.2	13.4	+1,4	18,7	-0,1

Примечание: ширина междурядий сеялок Д-9-30 -12 см, DMS-18,8 см.

В отдельные годы и в целом за период исследований наблюдается неодинаковая ширина стыковых междурядий между смежными проходами сеялок при посеве зерновых культур и викоовсяной смеси по маркеру и автопилоту. Так, расстояния между смежными проходами сеялки Д9-30 на отвальном фоне при использовании маркера составили на озимой пшенице 16,8 см, ячмене 15,2 см, т.е. отклонения соответственно равнялись +4,8 и 3,2 см. Постепенно несоответствия в прямолинейности нарастали и через 100-150 м гона на отвальном фоне при применении маркера образовался клин в форме равнобедренного треугольника с основанием 1-1,5 м, что существенно снижает качественные харак-

теристики сева, повышает количество огрехов, увеличивая расход семян на 10-15%. Это особенно проявится с увеличением площади посева при переходе от опытных делянок к производственным площадям.

При посеве зерновых культур и викоовсяной смеси по автопилоту с использованием навигационной спутниковой системы GPS средняя величина стыковых междурядий находилась в пределах 1,3-1,8 см, выходя за агротехнические требования к работе данного прибора к параметрам междурядий  $\pm 2,5$  см. Качество сева при этом улучшается и оптимизируется.

Посадка картофеля осуществляется картофелесажалкой GL-34T со стандартным междурядьем 75 см по автопилоту и маркеру. (Таблица 8).

**8. Ширина смежных междурядий и расположение растений картофеля на гребне при различных технологиях возделывания**

Год	Ширина междурядий при посадке, см		Расположение растений на гребне, см	
	маркер	автопилот	маркер	автопилот
2009	от 65-до 81	75 $\pm$ 2,8	от центра $\pm$ 6-10	от центра $\pm$ 2,8
2010	от 60-до 80	75 $\pm$ 3,3	от центра $\pm$ 5-15	от центра $\pm$ 3.3
2011	от 70 до 90	75 $\pm$ 2,5	от центра $\pm$ 5-15	от центра $\pm$ 1.5
2012	от 73 до 88	75 $\pm$ 2,5	от центра $\pm$ 2-13	от центра $\pm$ 1,8
2013	от 70 до 85	75 $\pm$ 3,1	от центра $\pm$ 5-10	от центра $\pm$ 2.3
среднее	от 67-до 85	75 $\pm$ 2,8	от центра $\pm$ 5-13	от центра $\pm$ 2,8

Примечание: величина междурядья посадок картофеля 75 см.

Заданная траектория движения агрегата, с использованием системы GPS, по-

вторяется на варианте точного земледелия в ходе проведения гребнеобразования по

всходам картофеля. По традиционной технологии возделывания картофеля этот прием проводится при визуальном контроле, т.е. движением агрегата управляет оператор. Ширина междурядий между проходами картофелесажалки при использовании маркера разнилась по отдельным годам, составляя по традиционной технологии в среднем от 65-70 до 85-88 см, т.е. отклонение от междурядья сажалки (75 см) от -10 до +13 см. Применение системы GPS при выполнении технологии точного земледелия обеспечивало отклонение в прямолинейности смежных рядков от 2,5 до 3,3 см.

Важным условием развития полноценного растения картофеля является его расположение по отношению к центральной части гребня, формируемое в ходе проведения гребнеобразования после появления всходов. Проведение гребнеобразования в посадках, которые возделывались по традиционной технологии, обеспечивало отклонение растений от центра от 5 до 15 см по отдельным годам. Это обуславливало односторонние изменения нарастания вегетативной части, неравномерность в образовании и развитии подземных клубней. При выполнении технологии точного земледелия растения картофе-

ля располагались по центру рядка с допустимым отклонением порядка 1,5-3,3 см.

Слагаемым элементом точного земледелия является - оценка содержания элементов питания почвы каждого конкретного участка поля. Один из способов такой оценки – отбор огромного количества почвенных проб, после чего каждый образец анализируется, определяется содержание в нём азота, фосфора, калия, микроэлементов, в результате чего формируется карта плодородия. Эта карта загружается в специальную программу SMS Advanced, формирующую задания для бортового компьютера машины для внесения удобрений. В результате на каждый квадратный метр поля будет внесено именно то количество удобрений и микроэлементов, которые необходимы именно этому участку [4].

Есть другой способ получения того же результата, который нам представляется предпочтительнее. Можно идти от обратного и анализировать не состояние почвы, а во время уборки оценивать урожайность не в среднем, а на каждом конкретном участке. Исходя из этих данных, составляется карта урожайности того или иного поля (Рисунок 2).

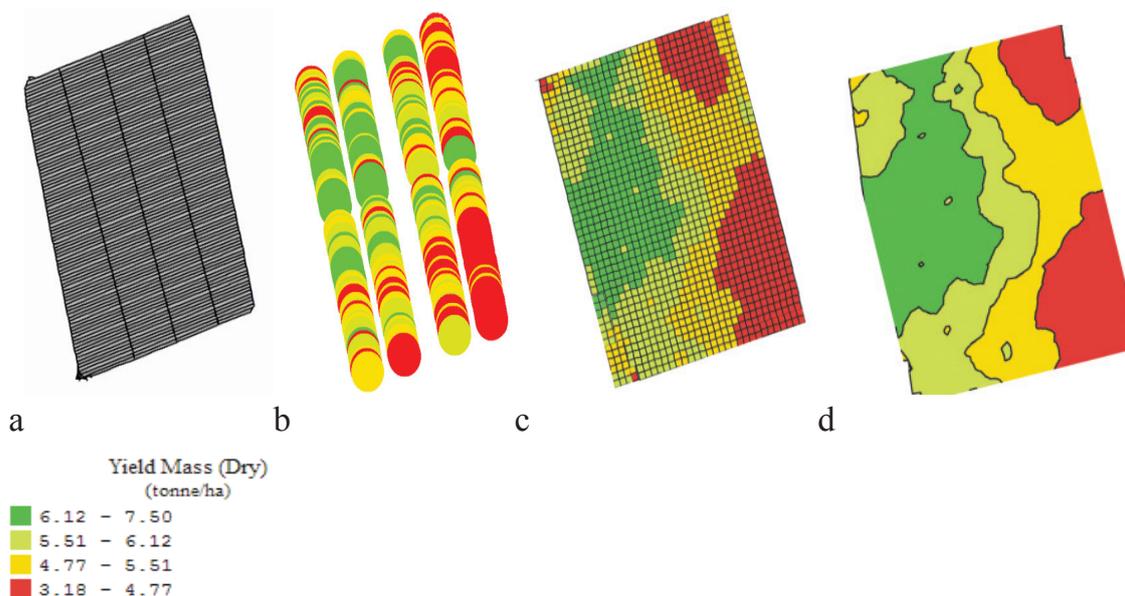


Рис. 2. Различное представление данных об урожайности с.-х. культур

- a) сетка сплошного учета урожайности;
- b) точки по центру каждой ячейки сетки сплошного учета, размер точки 10м;
- c) сетка 3×3 м
- d) контур.

Данные карты содержат информацию об уровне урожайности культур, что позволяет выявить проблемные участки поля, требующие внесения удобрений, особенно там, где урожайность низкая и подлежит обязательной корректировке [5].

Обобщающим показателем служит величина урожайности опытных культур за годы исследований (таблица 9).

В среднем за пятилетний период исследований установлено, что прослеживается некоторое превышение продуктивности вики с овсом на корм по нулевой обработке в сравнении со вспашкой. На

озимой пшеницы существенных различий в урожайности между технологиями возделывания и обработками почвы не обнаружено. Она находилась в пределах 4,90-5,00 т/га. На картофеле следует выделить только влияние приема обработки почвы, когда вспашка опережала минимальную в среднем на 2,0-2,5 т/га. При оценке технологии, речь может идти только о тенденции в пользу точной. Ячмень, как и озимая пшеница, формировал практически одинаковую урожайность за период исследований, независимо от технологии и обработки почвы.

### 9. Урожайность с.-х. культур по вариантам полевого опыта ЦТЗ, т/га

Культура	Технология	Обработка почвы	Урожайность по годам, т/га					средняя
			2009	2010	2011	2012	2013	
Вика + овес	точная	отвальная	21,3	20,5	10,8	20,6	12,1	17,1
		нулевая	25,0	19,4	9,4	27,3	14,3	19,1
Оз. пшеница	точная	отвальная	4,23	4,63	3,70	6,31	6,12	5,00
		нулевая	5,09	4,11	3,55	6,15	5,87	4,95
	традицион.	отвальная	4,28	4,50	3,65	6,52	5,80	4,95
		нулевая	5,18	3,85	3,53	6,35	5,62	4,91
Картофель	точная	отвальная	41,5	21,7	24,4	19,9	28,6	27,2
		минимал	37,5	20,7	23,2	18,3	25,9	25,1
	традицион.	отвальная	38,9	24,2	24,0	19,1	27,6	26,8
		минимал	36,3	19,2	22,9	17,5	26,2	24,4
Ячмень	точная	отвальная	5,40	3,35	2,64	4,33	5,18	4,18
		минимал	5,78	2,99	2,83	4,20	5,00	4,16
	традицион.	отвальная	5,09	3,47	2,76	4,26	5,20	4,16
		минимал	5,39	3,06	3,08	4,18	4,95	4,13

### Список использованной литературы

1. Мазиров М.А., Кирюшин Б.Д., Сафонов А.Ф. Длительный полевой опыт РГАУ-МСХА: основные этапы развития методики и агротехники / Длительному полевому стационарному опыту ТСХА 100 лет: итоги научных исследований. –М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. –С. 7-25.

2. Матюк Н.С., Мазиров М.А., Кашеева Д.М. Трансформация верхней части почвенного профиля дерново-подзолистых почв при длительном окультуривании // Известия ТСХА. 2012. –Вып. 3. –С. 13-26.

3. Балабанов В.И. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: Учебное пособие / В.И. Балабанов, С.В. Железова, Е.В. Бере-

зовский, А.И. Беленков, В.В. Егоров. –М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013. –148 с.

4. Беленков А.И., Железова С.В., Березовский Е.В., Мазиров М.А. Элементы технологии точного земледелия в полевом опыте РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева // Известие ТСХА. – 2011.- Вып. 6. – С. 90-100.

5. Мазиров М.А., Беленков А.И., Тюмаков А.Ю. результаты полевого опыта ЦТЗ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева за период ротации зернопропашного севооборота / Актуальные тенденции развития фундаментальных и прикладных наук на рубеже XXI века: Монография [Текст] / Коллектив авторов. -М.: РГАЗУ, 2013. –С. 74.

## АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛАБИЛЬНЫХ ФОРМ ГУМУСА ЧЕРНОЗЕМОВ (СОДЕРЖАНИЕ, СОСТАВ, ХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, СВОЙСТВА)

*В.Г.Мамонтов<sup>1</sup>, Б.М. Козут<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.*

*<sup>2</sup>Почвенный институт имени В.В. Докучаева*

Органическое вещество почвы можно условно разделить на две основные части: лабильную и стабильную. Однако экспериментальное отнесение некоторых компонентов органического вещества к “легко- (быстро) метаболизируемому” или устойчивому пулу представляет сложную научную проблему (Кононова, 1963; Тейт, 1991).

Существуют физические (гранулометрическое, денсиметрическое, гранулоденсиметрическое фракционирование), химические (экстракция органических и гумусовых веществ водой, растворами кислот, щелочей и солей) и биологические (инкубация почвенных образцов с учетом выделившегося диоксида углерода, определение углерода микробной биомассы и др.) способы оценки лабильной и стабильной части гумуса.

Результаты исследований указывают на отсутствие единого и универсального метода фракционирования, отвечающего всем требованиям и ситуациям и позволяющего строго дифференцировать эти части гумуса. Физическое фракционирование не раскрывает химические механизмы стабилизации органического вещества, а химическое – физическую защищенность органического вещества и его распределение между минеральными частицами. Биологическое фракционирование дает интегральное представление о доступности микроорганизмам органического вещества почв, но не объясняет природу и конфигурацию взаимодействий органических и минеральных веществ (Козут, 2003; Семенов с соавт., 2013).

В работе рассмотрены подходы к оценке лабильных форм гумуса черноземов с позиций химического фракционирования, приведены экспериментальные данные по изменению содержания, со-

става и природы лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) черноземов при их сельскохозяйственном использовании, обсуждены механизмы трансформации лабильных гумусовых веществ в агроценозах.

Как установили И.В. Тюрин (1965) и М.М. Кононова (1963) в черноземах гумусовые вещества связаны в основном с кальцием. По-видимому, процессы новообразования-распада гумусовых веществ в этом типе почв наиболее интенсивно протекают в той части гумуса, которая не закреплена кальцием. Следовательно, в черноземах легкоизменяющейся, лабильной частью гумуса будет фракция относительно свободных гумусовых веществ, извлекаемых из почвы 0,1 н. раствором NaOH, которые представляют собой более молодые вещества по сравнению с гуминовыми кислотами, извлекаемыми после декальцирования. Данные радиоуглеродного датирования гуминовых кислот чернозема подтвердили это положение (Чичагова, 1985). Кроме новообразованных, в данную фракцию могут включаться и вещества, образовавшиеся в результате деструкции устойчивых гумусовых кислот (Тюрин, Найденова, 1951).

Следует отметить, что для определения содержания и состава лабильных (подвижных по Тюрину) гумусовых веществ почв наиболее широко согласно рекомендациям В.В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой (1980) используется 0,1 н. раствор NaOH при соотношении почва:раствор=1:20 и времени настаивания вытяжек – 16-18 часов. При этом для выделения и очистки вытяжек рекомендовано использовать центрифугирование (Козут, Булкина, 1987). Однако, к сожалению, для этих целей применяется и метод Егорова (1938), в соответствии с которым для вы-

деления подвижных гумусовых веществ используют 0,2 н. раствор NaOH, соотношение почва: раствор=1:5, время настаивания вытяжек – 3 мин.

Сравнительная метрологическая оценка двух методов определения содержания и состава лабильных гумусовых веществ черноземов (Когут, Булкина, 1987; Мамонтов с соавт., 1990) показала существенные преимущества метода Тюрина, выполняемые по методике, описанной в (Когут, Булкина, 1987). Так, величина выборочного внутрилабораторного относительного среднего квадратического отклонения для  $S_{\text{ЛГВ}}$  и  $S_{\text{ЛГК}}$  по методу Тюрина составила соответственно 10 и 12%, а по методу Егорова была существенно выше и соответственно 25 и 27%.

Лабильные гумусовые вещества состоят из разнообразных органических соединений, являющихся продуктами биохимических процессов, протекающих в почве. К ним относятся: неспецифические органические вещества, образующиеся при разложении органических, прежде всего растительных остатков, корневые выделения, продукты автолиза и метаболизма почвенной микрофлоры и микрофауны, прогуминовые вещества, новообразованные гумусовые соединения, гумусовые кислоты непрочные связанные с минеральной частью почвы.

Количественная оценка каждой из этих групп органических соединений довольно проблематична. Однако существует четкая связь между количеством поступающих в почву растительных остатков, новообразованием гумуса и содержанием лабильных гумусовых веществ. Об участии фрагментов “старых” консервативных гумусовых веществ в пополнении фонда лабильных гумусовых веществ черноземов свидетельствует следующий пример из наших экспериментальных данных (Когут, 1996). В отдельные годы содержание лабильных гумусовых веществ на варианте “бессменный чистый пар” достоверно не отличалось от такового на варианте “бессменная монокультура картофеля без удобрений” - соответственно  $1582 \pm 134$  мг/кг почвы и  $1504 \pm 197$  мг/кг почвы или даже несколько превосходило его – соответственно  $2921 \pm 263$  и  $2690 \pm 203$  мг/кг почвы. Ввиду отсутствия поступления растительных остатков в почву под бессменным чистым паром, одним из основных источников пополнения лабильных гумусовых веществ могут быть фрагменты стабильного гумуса. За счет них, наиболее вероятно, достигается относительно высокое содержание лабильных гумусовых веществ на варианте “бессменный чистый пар”.

Таблица 1

**Статистические характеристики элементного состава гуминовых кислот и фульвокислот черноземов (атомные % и соотношения, степень окисленности)**

Гумусовые кислоты	Показатель	Статистические параметры					
		n	M	V, %	s	m	tm
Серые гуминовые кислоты*	C	75	42,5	5,1	2,2	0,25	0,5
	H	71	35,2				
	N	75	2,4				
	O		19,9				
	H/C		0,83				
	C/N		17,7				
	$\omega$		+0,13				
Лабильные гуминовые кислоты**	C	43	35,9	6,7	2,4	0,4	0,7
	H	42	41,0	4,1	1,7	0,3	0,5
	N	42	3,4	10,1	0,3	0,05	0,1
	O	42	19,8	7,5	1,5	0,2	0,5
	H/C	42	1,2				
	C/N	42	10,9				
	$\omega$	42	-0,04				

Фульвокислоты 2*	C	25	30,9	9,2	2,9	0,6	1,2
	H		40,6				
	N		2,2				
	O		26,3				
	H/C		1,3				
	C/N		14,3				
	$\omega$			+0,34			
Лабильные фульвокислоты**	C	8	27,6	7,0	1,9	0,7	1,6
	H	8	45,8	7,6	3,5	1,2	2,9
	N	8	2,7	25,3	0,7	0,2	0,6
	O	8	23,8	5,6	1,3	0,5	1,1
	H/C	8	1,7				
	C/N	8	11,1				
	$\omega$	8		+0,07			

\*Литературные данные, обобщенные Орловым Д.С.

\*\*Экспериментальные результаты и литературные данные, обобщенные Когутом Б.М.

К. В. Дьяконова (1984; 1990) в качестве основных критериев отнесения части гумусовых веществ к лабильным предложила следующие: 1) обогащенность азотом с высокой степенью его гидролизуемости; 2) относительно упрощенное строение с большей долей участия алифатических фрагментов; 3) отзывчивость на внесение удобрений и другие агротехнические мероприятия.

В связи с этим, нами комплексом физико-химических методов анализа (элементный анализ, ИК-спектроскопия, дериватографический анализ, потенциометрическое титрование) детально изучены состав и свойства гуминовых кислот, извлекаемых непосредственно из почвы 0,1 н. раствором NaOH, а также последовательно 0,1 М раствором нейтрального пирофосфата натрия, 0,1 М раствора  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  pH10 и смесью 0,1 М раствора  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  + 0,1 н. раствор NaOH из чернозема типичного. Проанализированы и обобщены данные литературы по элементному составу различных фракций гуминовых кислот и фульвокислот черноземов (табл.1).

Было показано, что лабильные гуминовые кислоты черноземов, извлекаемые непосредственно из почвы 0,1 н. раствором NaOH, в отличие от черных (серых) гуминовых кислот обогащены водородом, что обуславливает их относительную низкую степень окисленности и низкое

атомное отношение C/N и указывает на упрощенное строение молекул. В то же время лабильные ГК черноземов максимально обогащены азотом и имеют наиболее узкое атомное отношение C/N. Для лабильных гуминовых кислот типичного чернозема характерна наиболее высокая по сравнению с ГК пирофосфатных вытяжек (pH 7 и 10) гидролизуемость азота 2% HCl, составляющая 70%. В ИК-спектрах этих гуминовых кислот четко проявляются полосы поглощения Амида I и Амида II. Анализ дериватографических кривых свидетельствует о наименее сложном строении центральной части лабильных гуминовых кислот (Когут, 1996).

В результате обобщения данных литературы по 14 длительным полевым опытам на черноземах России, Украины, Молдавии и Германии, а также анализа собственных экспериментальных данных установлено достоверное увеличение содержания лабильных гумусовых веществ и лабильных гуминовых кислот под влиянием вносимых удобрений (табл. 2).

Однако влияние гидротермических условий на содержание гумусовых веществ 1-ой фракции оказалось больше, чем удобрений (Когут, Яковченко, 1987). Вклад погодных условий в общее варьирование содержания лабильных гумусовых веществ составляет 71%, в то время как влияние внесения удобрений значи-

тельно ниже – 19% (обе величины значимы при P=0,95).

Установленный факт увеличения содержания лабильных гумусовых веществ типичного чернозема под влиянием мине-

ральных удобрений нашел подтверждение и при исследовании содержания гумусовых веществ, извлекаемых непосредственно 0, 1 н. раствором NaOH из различных гранулометрических фракций (табл.3).

Таблица 2

**Влияние длительного применения удобрений на содержание и состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного (Когут, 1996)**

Вариант	Показатель	Статистические параметры			
		M	s	m	V, %
Без удобрений	С почвы, %	3,72			
	С вытяжки, мг/100 г	1590	330	70	21
	Сгк, мг/100 г	470	170	40	36
	Сгк/фк	0,42	0,10	0,02	25
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> ежегодно	С почвы, %	3,73			
	С вытяжки, мг/100 г	2100	570	130	27
	Сгк, мг/100 г	790	320	70	40
	Сгк/фк	0,60	0,18	0,04	31
Навоз 20 т/га ежегодно	С почвы, %	3,98			
	С вытяжки, мг/100 г	2390	430	100	18
	Сгк, мг/100 г	890	240	50	27
	Сгк/фк	0,59	0,12	0,03	20
Тамбовская опытная станция, девятипольный севооборот, 24 года (n=8)					
Без удобрений	С почвы, %	4,24			
	С вытяжки мг/100 г	2320	280	100	12
	Сгк, мг/100 г	810	150	50	19
	Сгк/фк	0,55	0,12	0,04	23
N <sub>48</sub> P <sub>55</sub> K <sub>52</sub> в среднем ежегодно	С почвы, %	4,25			
	С вытяжки, мг/100 г	3890	480	170	12
	Сгк, мг/100 г	2000	320	110	16
	Сгк/фк	1,06	0,15	0,05	14
N <sub>73</sub> P <sub>98</sub> K <sub>74</sub> + 5 т/га навоза в среднем ежегодно	С почвы, %	4,68			
	С вытяжки, мг/100 г	3660	250	90	7
	Сгк	1920	150	50	8
	Сгк/фк	1,11	0,10	0,04	9

Таблица 3

**Содержание лабильных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1 н. раствором NaOH из гранулометрических фракций типичного чернозема (Курская область)**

Варианты опыта	Гранулометрические фракции	Смг/100 г фракции
Бессменный картофель без удобрений	< 1 мкм	404
	1-5 мкм	588
	> 5 мкм	168
Бессменный картофель NPK	< 1 мкм	318
	1-5 мкм	1074
	> 5 мкм	216

Наиболее существенные отличия по содержанию лабильных гумусовых веществ отмечаются во фракции мелкой пыли. Под влиянием НРК их содержание почти в 2 раза превосходит таковое на контроле (Когут, 1983).

Наши данные (табл. 4) свидетельствуют о том, что содержание ЛГВ в обыкновенных черноземах Каменной степи подвержено отчетливо выраженной динамике, при которой количество их уменьшается от весны к лету.

*Таблица 4*

**Содержание лабильных гумусовых веществ в обыкновенных черноземах Каменной степи, мг/кг почвы**

Вариант	18.05	10.06	2.07
Залежь	9107	8121	6613
Неорошаемая почва	3361	2614	1934
Орошение, севооборот с многолетними травами	5634	4452	3644
Орошение, монокультура кукурузы + N <sub>200</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	4015	3084	3129
Орошение, монокультура кукурузы без удобрений	3664	2536	1906

Самое высокое содержание ЛГВ отмечается в черноземе под естественной травянистой растительностью. Распашка и интенсивное использование черноземов вызывает существенное снижение содержания ЛГВ. Наиболее ярко это проявляется в неорошаемом черноземе и при экстенсивном использовании пашни в орошаемых условиях. Оптимизация гумусообразования с помощью кормового севооборота и орошения способствует увеличению содержания ЛГВ, однако все равно оно не достигает уровня ЛГВ в залежной почве. Это в значительной мере обусловлено более интенсивно протекающими в пахотном черноземе окислительными процессами, вызываемыми ежегодными механическими обработками.

Имеющиеся данные однозначно свидетельствуют о том, что минимизация обработки почвы является эффективным приемом сокращения минерализационных потерь гумуса и пополнения фонда лабильных гумусовых веществ (Володин, 1986; Нестерова 1986; Когут, Масютенко, 1990; Михновская и др., 1992).

Влияние различных систем сельскохозяйственного использования черноземов сказывается не только на содержании и составе лабильных гумусовых веществ, но и на их химической природе.

В элементном составе ЛГВ залежного чернозема преобладает водород, на долю которого приходится 48,0 ат.%, вторым по значимости элементом является углерод, содержание которого составило 30,6 ат.% (табл.5).

*Таблица 5*

**Элементный состав лабильных гумусовых веществ обыкновенных черноземов Каменной степи (атомные проценты)**

Вариант	C	H	N	O	H:C	O:C	C:N	ω
Залежь	30,6	48,0	3,1	18,3	1,57	0,60	9,8	-0,37
Неорошаемая почва	26,6	42,8	2,3	28,3	1,61	1,06	11,6	+0,52
Орошение, севооборот с многолетними травами	31,0	44,8	2,9	21,3	1,45	0,69	10,7	-0,07

В заметно меньших количествах содержатся кислород – 18,3 ат.% и особенно азот – 3,1 ат.%. Судя по величине отношения Н : С равной 1,57 доминирующую роль в формировании ЛГВ залежного чернозема играют алифатические компоненты, обогащенные азотсодержащими группировками, на что указывает довольно низкое значение отношения С : N находящееся на уровне 9,8. ЛГВ чернозема залежи следует отнести к восстановленным соединениям, поскольку степень окисленности их равна – 0,37.

В результате длительного использования чернозема в неорошаемом зерно-пропашном севообороте в составе лабильных гумусовых веществ существенно возросла роль соединений обогащенных алифатическими кислородсодержащими группировками. Об этом свидетельствует увеличение количества кислорода с 18,3 ат.% до 28,3 ат.%, величины отношения О : С с 0,60 до 1,06, степени окисленности с -0,37 до +0,52 и мало изменившаяся величина отношения Н : С. Судя по изменению отношения С/N с 9,8 до 11,6, произошло обеднение ЛГВ азотсодержащими компонентами.

При вовлечении старопахотного чернозема в орошаемое земледелие и использование его в кормовом севообороте трансформация ЛГВ обусловлена включением в их состав циклических структур и компонентов восстановленной природы, обогащенных азотсодержащими группировками. В результате этого элементный состав ЛГВ пахотной почвы сближается с элементным составом ЛГВ чернозема залежи.

Наряду с этим установлено, что под влиянием удобрений существенно снижается содержание азота в составе лабильных гуминовых кислот (Когут, 1996). Последнее обстоятельство подтверждает ранее высказанное положение (Смирнов, 1968; Турчин с соавт., 1960), что на фоне удобрений происходит усиленная мобилизация азота из почвенного гумуса и в первую очередь, по нашему мнению, из лабильных его форм.

Результаты элементного анализа ЛГВ подтверждаются данными ИК-спектроскопии (Рис. 1).

Судя по характеру ИК-спектра ЛГВ залежного чернозема, сформированы пре-

имущественно слабоокисленными алифатическими структурами, обогащенными азотсодержащими группировками. За исключением полосы поглощения при 3400 см<sup>-1</sup>, обычно относимой на счет гигроскопической воды, наиболее интенсивное поглощение ( $J_0 = 1,40$ ) отмечается при 1030 см<sup>-1</sup>. Обусловлено оно соединениями типа полисахаридов. Метильные и метиленовые группировки алифатических структур дают серию слабовыраженных полос поглощения в интервале 1430-1490, при 2860 и 2920 см<sup>-1</sup>. О присутствии азотсодержащих группировок в составе ЛГВ свидетельствует интенсивное поглощение при 1640 см<sup>-1</sup> (Амид I) и слабовыраженные полосы поглощения ( $J_0 = 2,59-2,78$ ) при 1530-1550 см<sup>-1</sup> (Амид II).

Довольно интенсивная полоса поглощения при 1400 см<sup>-1</sup> с  $J_0 = 2,42$ , скорее всего, вызывается группами ОН спиртов и фенолов, хотя здесь же возможно и поглощение водорода карбоксильных групп. О присутствии этих группировок в молекулах ЛГВ залежного чернозема свидетельствуют полосы поглощения при 1230 см<sup>-1</sup> с  $J_0 = 2,68$  и 1700 см<sup>-1</sup> с  $J_0 = 2,50$ , причем основная полоса поглощения при 1700 см<sup>-1</sup> не разрешается в виде отдельного пика, а выражена в виде уступа на спектрофотометрической кривой. Это свидетельствует о не высоком содержании групп СООН в молекулах ЛГВ залежного чернозема.

На ИК-спектре ЛГВ неорошаемого чернозема в области 1000-1700 см<sup>-1</sup> самые интенсивные полосы поглощения также обусловлены полисахаридами и различными спиртами, представленные двухвершинным пиком с максимумами при 1045 см<sup>-1</sup> с  $J_0 = 1,43$  и при 1110 см<sup>-1</sup> с  $J_0 = 1,42$ . Следующими по интенсивности являются полосы поглощения карбоксильных групп в виде четко разрешившихся пиков при 1210 см<sup>-1</sup> с  $J_0 = 1,74$  и особенно при 1725 см<sup>-1</sup> с  $J_0 = 1,67$ . Группы СООН дают и слабое поглощение при 1265 см<sup>-1</sup>. Наряду с этим заметно уменьшилась интенсивность и степень выраженности полос поглощения ароматических структур при 1610 см<sup>-1</sup> ( $J_0 = 2,58$ ) и Амид I при 1640 см<sup>-1</sup> ( $J_0 = 2,05$ ), причем основная полоса поглощения в этой области сдвинулась к 1660 см<sup>-1</sup> ( $J_0 = 1,95$ ) и может быть отне-

сена на счет карбонильного поглощения. Уменьшилась и интенсивность поглощения Амид II ( $J_0 = 3,08$ ) при  $1540 \text{ см}^{-1}$ , хотя степень выраженности полосы поглощения заметно усилилась. Возросла интенсивность полос поглощения метильных и метиленовых группировок алифатиче-

ских структур при  $290$  и  $2930 \text{ см}^{-1}$ . В целом, судя по характеру ИК-спектра, ЛГВ старопашотного неорошаемого чернозема по сравнению с ЛГВ чернозема залежи содержат меньше азотсодержащих и циклических группировок и обогащены кислородсодержащими группами.

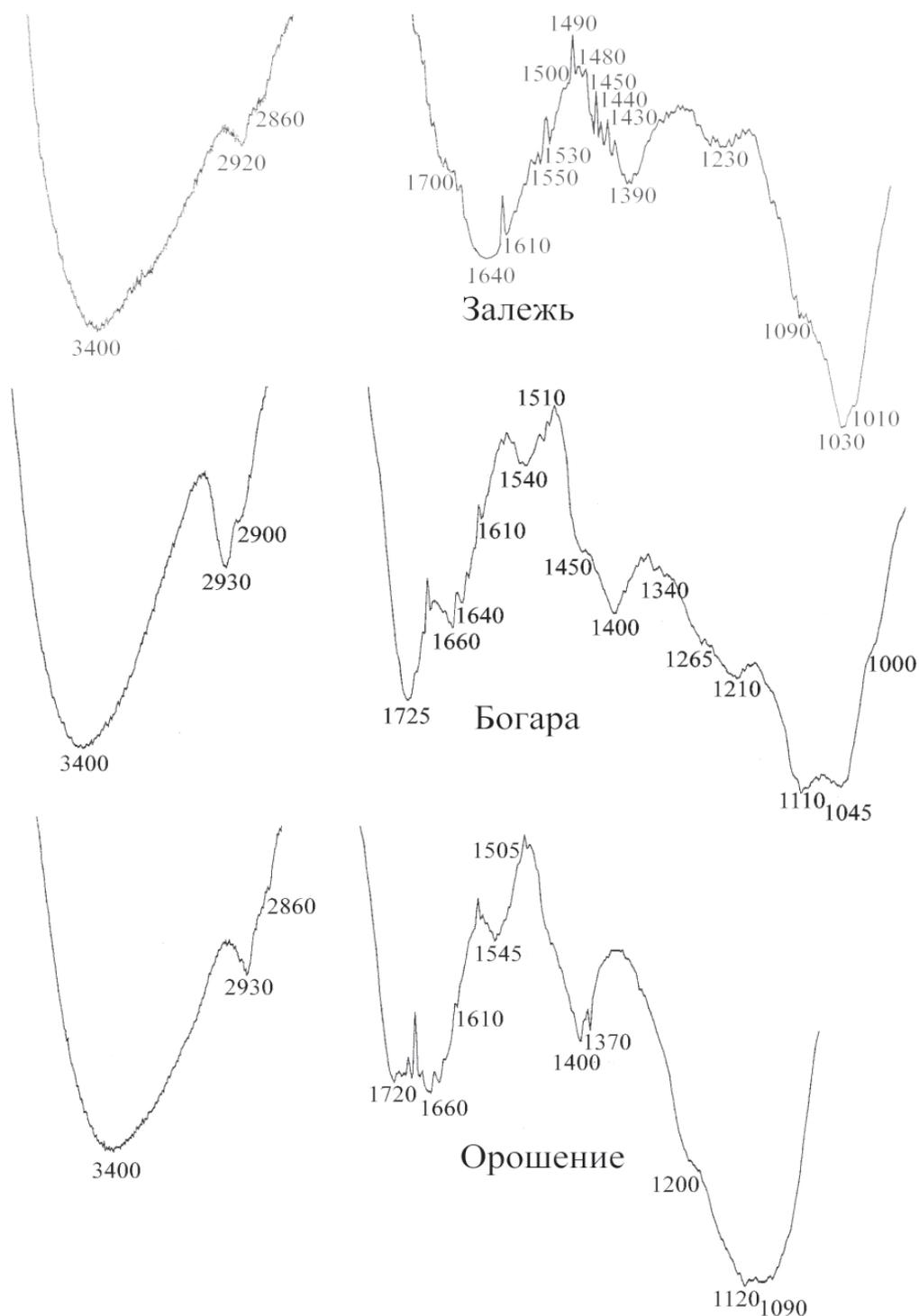


Рис. 1. ИК-спектры лабильных гумусовых веществ

По сравнению с ИК-спектром ЛГВ неорошаемого чернозема на ИК-спектре ЛГВ орошаемой почвы индивидуальный пик, отражающий поглощение карбоксильных групп при  $1200\text{ см}^{-1}$ , трансформировался в перегиб на спектрофотометрической кривой. Уменьшились степень выраженности и интенсивность основной полосы поглощения карбоксильных групп при  $1700\text{ см}^{-1}$ , и исчезла их полоса поглощения при  $1265\text{ см}^{-1}$ . В тоже время возросли полосы поглощения, относимые на счет Амид I и Амид II, а так же интен-

сивность полосы поглощения групп  $\text{C}=\text{C}$  ароматических структур при  $1610\text{ см}^{-1}$ . Характер ИК-спектра ЛГВ орошаемого чернозема свидетельствует о том, что в их состав включаются соединения циклического типа и структуры, обогащенные азотом, но обедненные кислородсодержащими группировками.

Судя по данным гель-хроматографии (табл. 6) в формировании лабильных гумусовых веществ обыкновенных черноземов главную роль играют высокомолекулярные соединения.

Таблица 6

**Молекулярно-массовый состав лабильных гумусовых веществ обыкновенных черноземов Каменной Степи**

Вариант	Номер фракции	Молекулярная масса	Относительное содержание, %	Примерная среднечисловая молекулярная масса, а.е.м.
Залежь	I	$\geq 75000$	64	51500
	II	17200	20	
	III	2700	16	
Неорошаемая почва	I	$\geq 75000$	74	59400
	II	17200	26	
Орошение	I	$\geq 75000$	73	58600
	II	17200	22	
	III	4000	5	

Лабильные гумусовые вещества залежного чернозема состоят из трех фракций, среди которых абсолютно преобладает первая фракция с молекулярной массой  $\geq 75000$  а.е.м. и относительным содержанием 64%. Можно предположить, что эта фракция преимущественно сформирована новообразованными гумусовыми и прогуминовыми веществами, для которых характерны высокие молекулярные массы. Не исключено, что в ассоциации с ними находятся как более зрелые и поэтому более низкомолекулярные гумусовые вещества, так и различные неспецифические органические соединения с невысокими молекулярными массами.

Наряду с высокомолекулярной фракцией в составе ЛГВ залежного чернозема примерно в равных, но в заметно меньших количествах присутствуют и фракции с более низкими молекулярными массами. В частности, молекулярная масса второй

фракции, на долю которой приходится 20%, находится на уровне 17200 а.е.м. Эта фракция, по-видимому, преимущественно сформирована веществами типа фульвокислот, в той или иной мере трансформированными новообразованными и «зрелыми» непрочносвязанными гуминовыми кислотами или их фрагментами. Самую низкую молекулярную массу – 2700 а.е.м. имеет третья фракция ЛГВ, относительное содержание ее равно 16%. Состоит она, вероятнее всего, из веществ типа фульвокислот, неспецифических органических соединений и фрагментов молекул гуминовых кислот.

Таким образом, средне- и низкомолекулярные соединения, формирующие соответствующие фракции и содержащиеся примерно в равных количествах, занимают в составе лабильных гумусовых веществ залежного чернозема подчиненное положение. Отражает домини-

нирование в составе ЛГВ компонентов высокомолекулярной природы величина среднечисловой молекулярной массы, равная 51500 а.е.м.

Длительное сельскохозяйственное использование обыкновенного чернозема в неорошаемых условиях сопровождается уменьшением степени дисперсности лабильных гумусовых веществ, по-видимому, преимущественно за счет утилизации микрофлорой низкомолекулярной фракции органических соединений. Это ведет к возрастанию роли высокомолекулярных компонентов в формировании ЛГВ и увеличении их среднечисловой молекулярной массы до 59400 а.е.м.

Под влиянием орошения в условиях кормового севооборота возрастает активность микрофлоры и удлиняется период ее жизнедеятельности. По сравнению с неорошаемой почвой это способствует интенсификации гумификации и сопровождается обогащением ЛГВ не только высоко-, но- и низкомолекулярными соединениями и увеличению степени дисперсности лабильных гумусовых веществ.

### **Заключение**

Лабильные гумусовые вещества весьма динамичный компонент органической части почвы. Внесение удобрений, различные виды обработок почв, орошение в той или иной степени оказывают влияние на содержание, состав и природу лабильных гумусовых веществ черноземов. Каковы же механизмы трансформации лабильных гумусовых веществ черноземов в агроценозах?

Один из них может быть следующим. Как нами было показано выше (табл.2), под воздействием минеральных удобрений в черноземах происходит довольно значительное увеличение содержания лабильных гумусовых и гуминовых кислот. С одной стороны, минеральные удобрения приводят к росту биомассы растительных остатков, вызывая, в конечном счете, увеличение содержания лабильных форм гумуса за счет процессов их новообразования. С другой стороны, в результате длительного применения минераль-

ных удобрений в черноземных почвах перераспределяется фракционный состав гумуса – увеличивается содержание гумусовых веществ I фракции и снижается количество гумусовых веществ II фракции, связанной с кальцием. По мнению Л.К. Шевцовой, И.В. Володарской (1991) это результат подкисляющего действия минеральных удобрений на черноземах, снижения рН почв и уменьшения степени насыщенности их основаниями.

Наряду с традиционной точкой зрения, что увеличение лабильности гумуса черноземов, способствующее мобилизации углекислоты и азота для растений, рассматривается как положительное явление, благоприятствующее росту урожайности сельскохозяйственных культур и повышению эффективности плодородия почв, высказано предположение и о негативном характере этого явления (Дьяконова, Когут, 1990; Чесняк, 1980; Шевцова, Володарская, 1991). Последнее выражается в снижении урожайности растений, разрушении устойчивых форм гумуса. Предпосылкой к этому могут служить результаты исследований Чесняка (1980): увеличение содержания лабильных гумусовых веществ выше 0,3% (к массе почвы) не приводило к повышению урожая сахарной свеклы. В таком случае следует говорить о допустимом диапазоне по содержанию лабильных гумусовых веществ, в пределах которого их увеличение носит положительный характер, а за этими рамками эффект роста лабильности гумуса приобретает негативное направление. Можно предположить, что в зависимости от содержания гумуса рамки этого диапазона будут варьировать. В то же время оценка направленности этого процесса должна касаться и сохранности состава гумуса, отвечающего зональному типу черноземообразования. В случае роста содержания лабильных гумусовых веществ под влиянием удобрений за счет органического вещества растительных остатков такая опасность исключается. Когда же такое явление происходит за счет подкисляющего действия NPK, то усиленное разложение гумусовых кислот II фракции указывает на разрушение гумуса черноземов. Последнее может иметь особенно

серьезные негативные последствия для северных черноземов, ненасыщенных основаниями.

### Литература

1. Володин В.М., Масютенко Н.П. Юринская В.Ф. Влияние различных способов обработки на содержание и состав гумусовых веществ в эродированных типичных черноземах. // Проблема гумуса в земледелии. Новосибирск. 1986. С. 51-53.

2. Дьяконова К.В. (составитель) Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. – М.:Изд-во ВАСХНИЛ. 1984. – 96 с.

3. Дьяконова К.В. (составитель) Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия (рекомендации). – М.: ВО Агропромиздат. 1990. – 28 с.

4. Дьяконова К.В., Когут Б.М. Система показателей гумусового состояния для моделей плодородия черноземов // Плодородие черноземов в связи с интенсификацией их использования / Тр. Почвенного института им. В.В.Докучаева. – М.: 1990. – С.211-217.

5. Егоров М.А. Подвижное органическое вещество почвы как один из показателей степени окультуренности ее. // Записки Харьковского СХИ. – Харьков. 1938. – Т.1, вып.2. – С.3-38.

6. Кирюшин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С., Орлов Д.С., Титлянова А.А., Фокин А.Д. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. – М.: МСХА. – 1993. – 98 с.

8. Когут Б.М. Изменение содержания, состава и природы гумусовых веществ при сельскохозяйственном использовании типичного мощного чернозема // Диссертация на соискание уч.ст. к.с.-х.н. – М.: 1983. – 182 с.

9. Когут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании // Диссертация на соискание уч.ст. д.с.-х.н. – М.: 1996. – 363 с.

10. Когут Б.М. Принципы и методы оценки трансформируемого органического

вещества в пахотных почвах // Почвоведение. 2003. №3. С.308-316.

11. Когут Б.М., Булкина Л.Ю. Сравнительная оценка воспроизводимости методов определения лабильных форм гумуса черноземов // Почвоведение. – 1987. – №7. – С.38-45.

12. Когут Б.М., Яковченко В.П. Влияние гидротермических условий и удобрений на содержание лабильных и водорастворимых гумусовых веществ типичного чернозема. – М.:1987. – 6 с. - Деп. В ВИНИТИ 09.02.87. №952-В87.

13. Кононова М.М. Органическое вещество почвы М.: Изд-во АН СССР, 1963.314 с.

14. Мамонтов В.Г., Донюшкина Е.В., Кончиц В.А., Сюняев Х.К. Сравнительная характеристика методов выделения подвижного гумуса почвы // Известия ТСХА. – 1990. – Вып.4. – С.62 – 65.

15. Михновская А.Д., Кириченко Т.П., Панченко В.Ф. Микробиологические процессы трансформации органического вещества при разных системах обработки чернозема типичного. // Почвоведение. 1992. № 8. С.58-66

16. Нестеров Г.И. Изменение состава гумуса чернозема типичного в условиях минимальной обработки. // Проблема гумуса в земледелии. Новосибирск. 1986. С. 76-77.

17. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во МГУ. – 1974. – 333 с.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. – М.: Наука. -1980. – 224 с.

18. Семенов В.М., Тулина А.С., Семенова Н.А., Иванникова Л.А. Гумификационные и негумификационные пути стабилизации органического вещества в почве (обзор) // Почвоведение. 2013. №4. С.393-407.

19. Смирнов П.М. Использование растениями, потери и превращение в почве азота разных форм азотных удобрений // Изв.ТСХА. 1968. Вып.6. –С.98-116.

20. Тейт Р III Органическое вещество почвы. М.: Изд-во Мир, 1991. 400 с.

21. Турчин Ф.В., Береснева В.Н., Корицкая И.А., Жидких Г.Г., Лобовикова Г.А. Превращение азота в почве по данным исследований с применением <sup>15</sup>N // Докл. сов. почвоведов к 7 Междунар. конгрессу в США. М.:Изд-во АН СССР.1960. С.197-201.

22. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. – М.: Изд-во Наука. 1965. – 320 с.
23. Тюрин И.В., Найденова О.А. К характеристике состава и свойств гуминовых кислот, растворимых в разведенных щелочах непосредственно и после декальцирования // Тр. Почвенного института им. В.В. Докучаева АН СССР. – 1951. – Т.38. – С.59-64.
24. Чесняк Г.Я. Определение параметров свойств черноземов типичных мощных разного уровня плодородия // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв: Науч. тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. – М., 1980. – С.42-50.
25. Чичагова О.А., Радиоуглеродное датирование гумуса почв. – М.: Наука. 1985. – 158 с.
26. Шевцова Л.К., Володарская И.В. Влияние длительного применения удобрений на баланс и качество гумуса // Химизация сельского хозяйства. – 1991. - №11. – С.97-101.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗВЕСТИ И ГИПСА С ПОГЛОЩАЮЩИМ КОМПЛЕКСОМ КИСЛЫХ ПОЧВ

**В.В. Окорков**

*Владимирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

Кислая реакция почвенной среды – одна из главных причин недобора урожая сельскохозяйственных культур, низкой эффективности удобрений и экологического неблагополучия территорий. Особенно негативно сказывается на плодородии кислых почв повышенная концентрация обменного алюминия (выше 4-5 мг/100 г почвы) как в пахотных, так и в подпахотных горизонтах [1-4]. Она токсична для корневых систем многих культурных растений. В засушливые периоды, когда верхний слой пересыхает, низкие значения рН и высокая концентрация обменного алюминия мешают проникновению корневых систем растений в более глубокие слои почвы и использованию из них влаги и элементов питания, что резко снижает урожайность и окупаемость удобрений. Поэтому дозы извести, рассчитываемые на мелиорацию только пахотного слоя по полной гидролитической кислотности, могут оказаться недостаточно эффективными.

В настоящее время накоплены и факты несоответствия механизма взаимодействия извести с почвенным поглощающим комплексом (ППК) кислых почв классическим представлениям. В их основе лежит вытеснение ионов водорода ППК ионами кальция мелиоранта [5, 6]. Для ионов водорода обменной кислотности это не вызывает сомнения. Однако эта форма кислотности составляет невысокую долю гидролитической кислотности, на устранение которой рассчитывают дозы мелиоранта.

**Целью** настоящей работы было изучение механизма взаимодействия известково- и гипсосодержащих мелиорантов, их сочетания с поглощающим комплексом кислых почв, нахождение коэффициентов использования мелиоранта в зависимости от величины гидролитической кислотности,

разработка приемов увеличения мощности корнеобитаемого слоя кислых почв.

**Методика.** Модельные исследования проведены в колонках, в два верхних разделяемых слоя которых (по 10 см) были внесены различные дозы доломитовой муки, гипс и его сочетание с известью, в два последующих слоя мелиорант не вносили. Через колонки порциями по 50 мл через два дня пропускали по 500 мл дистиллированной воды, что соответствовало выпадению половинной нормы годовых осадков (600 мм). Фильтрат собирали по порциям количественно. В них определяли рН и состав анионов и катионов. По окончании опыта колонки разбирали по почвенным слоям, которые высушивали при 50 °С и растирали в фарфоровой ступке, анализировали по общепринятым методам агрохимического анализа.

Пахотный слой дерново-подзолистой почвы, выбранной для исследований в первой серии колонок, обладает относительно благоприятными физико-химическими свойствами: слабокислой реакцией среды ( $pH_{KCl}$  5,23), степенью насыщенности основаниями около 83 % (табл. 1). По величине  $pH_{KCl}$  потребность в известковании слабая, а по степени насыщенности основаниями – отсутствует.

На глубине 44-66 см кислотность почвы резко возрастает:  $pH_{KCl}$  снижается до 3,66-3,80, а обменная и гидролитическая кислотности возрастают соответственно до 4,16-4,60 и 9,10-9,80 мг-экв/100 г почвы. Содержание подвижного алюминия увеличивается до 34-35 мг/100 г почвы. Очевидно, в засушливые периоды вегетации на корневые системы возделываемых культур эта концентрация будет влиять отрицательно и препятствовать использованию влаги из подпахотных горизонтов, что негативно отразится на продуктивности.

## 1. Агрехимическая характеристика дерново-подзолистой почвы Камешковского района (п. Печуга)

Горизонт, глубина слоя, см	pH <sub>КС1</sub>	S	H <sub>Г</sub>	H <sub>ОБМ</sub>	Al <sub>ОБМ</sub> , мг/100 г почвы
		мг-экв/100 г почвы			
Апах	5,23	8,40	1,75	0,02	-
В1, 44-66	3,80	6,10	9,80	4,60	34,2
В2, 66-88	3,59	3,60	11,7	6,04	31,0
Образец для модельных исследований					
№ 1, 44-57	3,66	6,51	9,10	4,16	35,4
Примечание. S – сумма поглощенных оснований.					

По сравнению с контрольной колонкой (без мелиоранта) применение половинной дозы доломитовой муки снизило показатели кислотности лишь в слоях внесения (0-10 и 10-20 см): H<sub>Г</sub> в 2 раза (с 8,5-8,7 до 4,3-4,4 мг-экв/100 г почвы), величину обменной кислотности и обменного алюминия в 4-6 раз (табл. 2). Эта доза мелиоранта не обеспечивала понижения обменного алюминия до нетоксичной для растений величины (менее 3-5 мг/100 г почвы) и повышения степени насыщенности основаниями выше 80 %. Мелиорант на снижение H<sub>Г</sub> почвы был использован на 93,2 %. В силу этого не установлено влияния половинной дозы доломитовой муки на улучшение физико-химических свойств почвы ниже расположенных слоев колонки.

Полная доза мелиоранта в условиях опыта также растворилась полностью. Ее применение обеспечило улучшение всех физико-химических показателей в слое внесения до безвредных для корней значений. Коэффициент использования мелиоранта на снижение H<sub>Г</sub> в слое почвы 0-20 см составил 75 %, 5,8 % мелиоранта затрачено на снижение H<sub>Г</sub> в слое почвы 20-24 см. При применении полной дозы доломитовой муки наблюдали небольшое снижение разных форм кислотности глубже слоя внесения мелиоранта.

Двойная доза доломитовой муки по сравнению с одинарной не способствовала дальнейшему улучшению физико-химических свойств изучаемой почвы, так как около 40 % внесенного мелиоранта осталось нерастворенным.

## 2. Влияние доломитовой муки на физико-химические свойства В1-горизонта дерново-подзолистой почвы

Вариант	Слой колонки	S	H <sub>Г</sub>	H <sub>ОБМ</sub>	pH <sub>водн</sub> , почва:вода 1:0,5	Al <sub>ОБМ</sub> , мг/100 г почвы
		мг-экв/100 г почвы				
Контроль	0-10	6,77	<b>8,66</b>	<b>4,01</b>	4,70	<b>34,8</b>
	10-20	7,05	<b>8,49</b>	<b>4,00</b>	4,68	<b>33,8</b>
	20-30	6,30	<b>8,40</b>	<b>4,20</b>	4,58	<b>36,0</b>
	30-40	5,92	<b>8,22</b>	<b>3,80</b>	4,46	<b>30,7</b>
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 0,46 H <sub>Г</sub>	0-10	11,3	<b>4,29</b>	<b>1,01</b>	5,20	<b>8,75</b>
	10-20	11,4	<b>4,37</b>	<b>0,71</b>	5,38	<b>5,29</b>
	20-30	7,24	<b>8,84</b>	<b>4,42</b>	4,78	<b>36,0</b>
	30-40	6,86	<b>9,10</b>	<b>4,20</b>	4,62	<b>36,0</b>
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 0,93 H <sub>Г</sub>	0-10	13,6	<b>1,84</b>	<b>0,04</b>	6,11	<b>0,18</b>
	10-20	13,8	<b>1,66</b>	<b>0,04</b>	6,21	<b>0,18</b>
	20-24	9,37	<b>5,77</b>	<b>2,40</b>	Не опр.	<b>20,9</b>
	24-30	7,33	<b>8,57</b>	<b>5,00</b>	Не опр.	<b>44,1</b>
	30-40	6,58	<b>8,57</b>	<b>5,21</b>	4,56	<b>45,0</b>

Доломитовая мука в слой 0-20 см по 1,86 Н <sub>Г</sub>	0-10	14,2	<b>1,22</b>	<b>0,04</b>	6,53	<b>Нет</b>
	10-20	14,3	<b>1,22</b>	<b>0,04</b>	6,48	<b>Нет</b>
	20-30	7,14	<b>8,49</b>	<b>4,80</b>	4,68	<b>42,5</b>
	30-40	6,58	<b>8,40</b>	<b>5,48</b>	4,58	<b>45,7</b>

В то же время, несмотря на более высокую растворимость в воде гипса (примерно на 2 порядка) против карбоната кальция и тем более против доломитовой муки, влияние применения полной дозы гипса на снижение гидролитической кислотности было в 5-5,8 раз ниже полной дозы доломитовой муки, в 3,3 раза ниже половинной дозы (табл. 3). По сравнению с доломито-

вой мукой гипс весьма слабо снижал и обменную кислотность (на 11,0-6,5 % в слоях колонки 0-10 и 10-20 см). Совместное применение половинных доз доломитовой муки и гипса способствовало некоторому улучшению физико-химических свойств почвы в слое внесения мелиорантов по сравнению с использованием одной доломитовой муки (табл. 2).

### 3. Влияние доломитовой муки и гипса на физико-химические свойства В1-горизонта дерново-подзолистой почвы

Вариант	Слой колонки	мг-экв/100 г почвы				рН <sub>ВОДН</sub> <sup>р</sup> почва:вода 1:0,5	А1 <sub>ОБМ</sub> <sup>р</sup> мг/100 г почвы
		S	Н <sub>Г</sub>	Н <sub>ОБМ</sub>	ЕКО		
Контроль	0-10	6,77	8,66	4,01	15,43	4,70	34,8
	10-20	7,05	8,49	4,00	15,54	4,68	33,8
	20-30	6,30	8,40	4,20	14,70	4,58	36,0
	30-40	5,92	8,22	3,80	14,14	4,46	30,7
Гипс в слой 0-20 см по 0,93 Н <sub>Г</sub>	0-10	7,50	7,17	3,56	14,67	4,72	26,64
	10-20	6,50	7,70	3,74	14,20	4,34	23,76
	20-30	6,20	8,05	3,84	14,25	4,33	32,76
	30-40	6,47	8,22	3,80	14,70	4,37	31,70
Доломитовая мука + гипс в слой 0-20 см по 0,46 Н <sub>Г</sub>	0-10	10,0	3,50	0,36	13,50	5,51	2,88
	10-20	10,6	3,67	0,40	14,27	5,07	3,24
	20-30	7,15	8,38	3,66	15,53	4,41	32,04
	30-40	7,27	7,70	3,90	14,97	4,17	33,30

Высокий мелиоративный эффект карбонатов кальция и магния в отношении снижения различных форм кислотности связан в основном с действием аниона CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Карбонаты кальция и магния представляют собой гидролитически щелочные соли. При их растворении в воде образуются ионы Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Анионы CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> гидролизуются сначала по 1-й ступени (до рН около 8,0), а затем – и по 2-й (при рН ниже 8,0):

$CO_3^{2-} + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + OH^-$ , (1-я ступень)

$HCO_3^- + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 + OH^-$ . (2-я ступень)

Появившиеся ионы гидроксидов (ОН<sup>-</sup>) взаимодействуют с обменным алюминием ( $Al^{3+} + 3 OH^- \rightarrow Al(OH)_3 \downarrow$ ), образуя осадок, и нейтрализуют ионы водорода как обменные, так и слабых функциональных групп гидролитической кислотности ( $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ ) с образованием малодиссоциированного соединения. Места осаждаемых ионов алюминия и связанных ионов водорода в ППК в качестве противоионов (обменных ионов) занимают ионы кальция и магния растворенного мелиоранта. Связывание ионов гидроксидов в процессе указанных реакций смещает равновесие в сторону растворения и гидролиза новых

порций извести. Это ведет к достаточно высокой скорости протекания процессов взаимодействия извести с ППК кислых почв. В нашем опыте прохождение через колонку количества воды, соответствующего половине годовых осадков, обеспечило 100 % растворение половинной и полной доз извести и 60 % растворение двойной ее дозы. Коэффициент использования ( $K_{исп}$ ) растворенного мелиоранта на снижение гидролитической кислотности с увеличением доз от половинной до полной и двойной доз соответственно уменьшался с 93,2 до 80,8 и 67,6 %. Сочетание половинной дозы карбоната кальция и магния с гипсом слабо изменило  $K_{исп}$  доломитовой муки. В этом варианте для последней он варьировал в пределах 94,7-95,4 %, для гипса – 14,2-16,1 %. При использовании полной дозы гипса  $K_{исп}$  его составил 18,3 %.

Объяснение снижения коэффициента использования растворенного карбоната кальция на снижение  $H_T$  с увеличени-

ем дозы мелиоранта связано с ростом рН равновесных растворов. В этом случае гидролиз растворившихся карбонат-ионов по 2-й ступени снижается (по 1-й ступени протекает полностью), то есть в растворе увеличивается доля ионов  $HCO_3^-$  от суммы  $HCO_3^-$  и  $H_2CO_3$ .

Для доказательства описанного выше механизма взаимодействия извести с ППК кислых почв провели сравнение  $K_{исп}$  растворенного мелиоранта на снижение гидролитической кислотности со степенью гидролиза ионов  $CO_3^{2-}$ , рассчитываемой по измененному уравнению Гандерсона-Гассельбаха с использованием значений  $pH_{H_2O}$  образцов почвы колонок после взаимодействия с мелиорантом при соотношении почва : вода 1:0,5 (табл. 2 и 3). Оно показало хорошее совпадение этих параметров для каждой колонки, что подтвердило решающую роль гидролиза карбонат-ионов на полноту взаимодействия известьсодержащих мелиорантов с ППК кислых почв (табл. 4).

#### 4. Степень гидролиза карбонат-ионов доломитовой муки в слое внесения при ее взаимодействии в колонках с ППК В1-горизонта дерново-подзолистой почвы

Вариант	Слой колонки, см	Степень гидролиза $CO_3^{2-}$ растворенного мелиоранта				$K_{исп}$
		по 1-й ступени	по 2-й ступени	среднее по двум ступеням	среднее по двум слоям	
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 0,46 $H_T$	0-10	100	93,0	96,5	95,6	93,2
	10-20	100	89,7	94,8		
Доломитовая мука + гипс в слой 0-20 см по 0,46 $H_T$	0-10	100	86,6	93,3	95,4	95,4
	10-20	100	94,7	97,4		
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 0,93 $H_T$	0-10	100	61,8	80,9	79,6	80,8
	10-20	100	56,3	78,2		
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 1,86 $H_T$	0-10	100	38,2	69,1	69,8	67,6

В серии колонок изучалось взаимодействие доз доломитовой муки, гипса и сочетания этих мелиорантов с ППК иллювиальных горизонтов дерново-подзолистых почв с различными величинами  $H_T$ ,  $H_{обм}$ , суммой поглощенных оснований ( $S$ ), илистых частиц и физической глины. В результате исследований выявлено следующее (табл. 5).

1. При одной и той же величине  $H_T$  с увеличением доз доломитовой муки величина  $pH_{водн}$  в слое почвы 0-20 см (1:0,5) после взаимодействия с мелиорантом закономерно повышается, то есть степень гидролиза карбонат-ионов по второй ступени снижается, уменьшая общую степень гидролиза. Таким образом, в нижние слои колонок больше перемещалось карбонатов в форме бикарбоната от суммы  $H_2CO_3$  и  $HCO_3^-$ .

**5. Сравнение коэффициентов использования (КИСП) растворенных карбонатов доломитовой муки на снижение НГ иллювиальных горизонтов дерново-подзолистых почв со степенью гидролиза карбонат-ионов**

Исходное содержание (мг-экв/100 г почвы)			Доза д.м. в долях Н <sub>Г</sub>	К <sub>исп</sub> в долях	Степень гидролиза, %	рН <sub>водн</sub> почвы (1:0,5)
Н <sub>Г</sub>	S	Н <sub>обм</sub>				
9,10	6,51	4,16	0,46	0,93	95,6	5,29
9,10	6,51	4,16	<b>0,93</b>	<b>0,81</b>	<b>79,6</b>	<b>6,16</b>
9,10	6,51	4,16	1,86	0,68	69,8	6,50
8,35	4,20	4,48	0,58	0,93	92,1	5,60
8,35	4,20	4,48	<b>1,17</b>	<b>0,72</b>	<b>77,0</b>	<b>6,25</b>
6,45	9,32	3,02	0,32	0,98	96,9	5,12
6,45	9,32	3,02	0,64	0,95	95,4	5,30
6,45	9,32	3,02	<b>1,00</b>	<b>0,92</b>	<b>91,2</b>	<b>5,65</b>
6,45	9,32	3,02	2,00	0,68	64,8	6,70
3,14	6,90	1,10	0,66	0,56	<b>55,7</b>	<b>7,21*</b>
3,14	6,90	1,10	1,31	0,49	54,0	7,23*

Примечание. \* – рН в двух последних порциях фильтрата.

2. При высоких величинах Н<sub>Г</sub> (6,5-9,1 мг-экв/100 г почвы) коэффициенты использования половинных доз доломитовой муки варьировали от 0,93 до 0,95, полных доз – от 0,72 до 0,92. Самая высокая величина К<sub>исп</sub> (0,92) при этом получена при более низкой величине рН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> (5,65 против 6,16 и 6,25). При двойной дозе доломитовой муки К<sub>исп</sub> растворенного мелиоранта составил 0,68, величина рН почвы – 6,50-6,70.

3. Коэффициенты использования растворенного мелиоранта и степень гидролиза карбонат-ионов были близкими.

4. При низкой величине Н<sub>Г</sub> (3-4 мг-экв/100 г почвы) коэффициенты использования половинной и полной доз доломитовой муки колебались в узких пределах (0,56 и 0,49). В этом случае гидролиз карбонат-ионов протекал в основном по 1-й ступени, наблюдались наиболее высокие значения рН 2-х последних порций фильтрата.

Применение одного гипса и в сочетаниях с доломитовой мукой (табл. 6) по сравнению с вариантами контроля и той же дозы д.м. снижало рН<sub>водн</sub> в слое почвы 0-20 см. В почвах с высокой Н<sub>Г</sub> это несколько повышало степень гидролиза

карбонат-ионов растворенной доломитовой муки. В целом это слабо повышало К<sub>исп</sub> извести в смеси с гипсом по сравнению с одной доломитовой мукой (см. табл. 5).

В дерново-подзолистой почве с небольшой Н<sub>Г</sub> сочетание доломитовой муки с гипсом из-за понижения рН равновесных растворов приводило к заметному повышению степени гидролиза карбонат-ионов извести и росту коэффициента ее использования на снижение Н<sub>Г</sub>. Эффект возрастал с ростом дозы гипса в смеси.

Ранее в табл. 2 приводилось слабое влияние полной дозы д.м. на снижение Н<sub>Г</sub> в слоях колонки глубже 20 см (около 6 %) в почве с Н<sub>Г</sub> 9,1 мг-экв/100 г почвы. Из данных табл. 7 видно, что на почве с исходной Н<sub>Г</sub> 6,45 мг-экв/100 г почвы в слое 20-30 см произошло ее снижение на 15 % (с 6,56 до 5,60 мг-экв/100 г почвы), с учетом дорастворения мелиоранта (26,9 %) – повысится до 19 %.

При Н<sub>Г</sub> 3,14 мг-экв/100 г почвы в слое почвы 20-30 см произошло снижение Н<sub>Г</sub> с 2,97 до 1,92 мг-экв/100 г почвы (на 35 %), с учетом дорастворения д.м. (30,8 %) – достигнет 45 %.

**6. Сравнение коэффициентов использования (КИСП) растворенных карбонатов доломитовой муки (в смеси с гипсом) на снижение НГ иллювиальных горизонтов дерново-подзолистых почв со степенью гидролиза карбонат-ионов**

Исходное содержание (мг-экв/100 г почвы)			Доза мел. в долях Н <sub>Г</sub>	К <sub>исп</sub> в долях	Степень гидролиза, %	рН <sub>водн</sub> (1:0,5)
Н <sub>Г</sub>	S	Н <sub>ОБМ</sub>				
8,35	4,20	4,48	0,58 д.м. + 0,58 Г	0,94	96,8	5,16
8,35	4,20	4,48	0,58 д.м. + 0,29 Г	0,93	96,7	5,16
6,45	9,32	3,02	0,32 д.м. + 0,32 Г	0,95	97,4	5,06
6,45	9,32	3,02	0,64 д.м. + 0,32 Г	0,99	95,8	5,27
6,45	9,32	3,02	0,64 Г	-	-	4,60
6,45	9,32	3,02	2,00 д.м. + 0,50 Г	0,74	73,6	6,37
3,14	6,90	1,10	<b>0,66 д.м. + 0,33 Г</b>	0,65	<b>74,2</b>	<b>6,42*</b>
3,14	6,90	1,10	<b>0,66 д.м. + 0,66 Г</b>	0,83	<b>82,8</b>	<b>6,04*</b>
3,14	6,90	1,10	1,31 Г	-	-	5,04*

Примечание. \* – рН в 2-х последних порциях фильтрата.

Таким образом, при низких величинах гидролитической кислотности (3-4 мг-экв/100 г) применение полной нормы извести будет улучшать физико-химические свойства и подпахотных горизонтов кислых почв. На почвах же с высокой гидролитической кислотностью существенные изменения ее будут наблюдаться преимущественно в слое внесе-

ния мелиоранта. На таких почвах известь рекомендуется применять в 2 приема: вначале она вносится под вспашку в половинной дозе, через 1-3 года – в той же дозе под такую же обработку. Возможно и внесение половинной нормы мелиоранта под вспашку, а другой половины – специальными рыхлящими орудиями на глубину 25-30 см.

**7. Влияние полной дозы доломитовой муки на физико-химические свойства нижних слоев колонок дерново-подзолистых почв различной кислотности**

Вариант	Слой колонки	S	Н <sub>Г</sub>	Н <sub>ОБМ</sub>	рН <sub>водн</sub> почва:вода 1:0,5	А1 <sub>ОБМ</sub> мг/100 г почвы
		мг-экв/100 г почвы				
<b>В<sub>2</sub>-горизонт дерново-подзолистой почвы, Н<sub>Г</sub> = 6,45 мг-экв/100 г почвы</b>						
Контроль	0-10	9,80	<b>6,18</b>	<b>2,64</b>	4,80	<b>4,05</b>
	10-20	9,40	<b>6,40</b>	<b>3,13</b>	4,78	<b>3,92</b>
	20-30	9,10	<b>6,56</b>	<b>3,12</b>	4,80	<b>4,32</b>
	30-40	9,00	<b>6,52</b>	<b>3,18</b>	4,84	<b>3,78</b>
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 0,96 Н <sub>Г</sub>	0-10	13,4	<b>2,62</b>	<b>0,03</b>	5,70	<b>0,09</b>
	10-20	13,2	<b>2,62</b>	<b>0,06</b>	5,59	<b>0,36</b>
	20-30	9,80	<b>5,60</b>	<b>2,76</b>	5,06	<b>5,76</b>
	30-40	9,40	<b>6,12</b>	<b>2,74</b>	4,88	<b>5,40</b>
<b>В<sub>1</sub>-горизонт дерново-подзолистой почвы, Н<sub>Г</sub> = 3,14 мг-экв/100 г почвы</b>						
Контроль	0-10	6,40	<b>2,82</b>	<b>0,66</b>	5,60	<b>2,25</b>
	10-20	5,80	<b>3,50</b>	<b>0,82</b>	5,09	<b>3,00</b>
	20-30	6,60	<b>2,97</b>	<b>0,62</b>	5,46	<b>2,50</b>
	30-40	6,40	<b>2,80</b>	<b>0,60</b>	5,47	<b>2,52</b>
Доломитовая мука в слой 0-20 см по 1,31 Н <sub>Г</sub>	0-10	7,63	<b>1,75</b>	<b>0,04</b>	6,36	<b>0,18</b>
	10-20	7,63	<b>1,57</b>	<b>0,02</b>	6,55	<b>Нет</b>
	20-30	7,50	<b>1,92</b>	<b>0,20</b>	6,07	<b>0,63</b>
	30-40	6,40	<b>2,80</b>	<b>0,57</b>	5,51	<b>2,16</b>

Примечание. После взаимодействия размеры нерастворенной извести составили для В<sub>2</sub>-горизонта 26,9 %, для В<sub>1</sub>-горизонта 30,8 %.

Исследования показали (табл. 8), что средняя концентрация суммы катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в порциях фильтрата слабо зависела от доз доломитовой муки, составляя несколько мг-экв/л. В то же время при применении гипса и его смесей с д.м. возрастала на порядок. В по-

следнем случае она обладала высоким коагулирующим действием на отрицательно заряженные почвенные коллоиды, улучшая инфильтрацию почвенной влаги. Последнее свойство весьма важно для склоновых почв тяжелого механического состава.

#### 8. Концентрация суммы кальция и магния в порциях фильтрата, мг-экв/л (В1-горизонт с НГ 8,35 мг-экв/л)

Вариант	Порции фильтрата					Средняя по колонке
	1	2	3	4	5	
Контроль	3,21	3,55	3,00	2,92	2,04	2,90
Д.м. 0,58 Н <sub>Г</sub>	6,89	4,96	1,83	3,18	2,64	3,23
<b>Д.м. 0,58Н<sub>Г</sub> +Г 0,58 Н<sub>Г</sub></b>	<b>17,5</b>	<b>43,4</b>	<b>44,8</b>	<b>43,0</b>	<b>41,4</b>	<b>34,9</b>
Д.м. 0,58Н <sub>Г</sub> +Г 0,29 Н <sub>Г</sub>	<b>20,3</b>	<b>40,7</b>	<b>39,5</b>	<b>46,1</b>	<b>35,3</b>	<b>33,0</b>
Д.м. 1,17 Н <sub>Г</sub>	3,42	2,92	3,16	2,39	4,12	3,21
<b>Гипс 1,17 Н<sub>Г</sub></b>	<b>27,8</b>	<b>52,5</b>	<b>56,6</b>	<b>67,4</b>	<b>52,4</b>	<b>48,4</b>

Были обобщены результаты выноса двухвалентных катионов кальция и магния в пересчете на карбонат кальция глубже 40 см по колонкам с иллювиальными горизонтами различного гранулометрического состава (табл. 9). Выявлено, что с увеличением в почве содержания ила ( $x_{\text{ил}}$ , %) или глины ( $x_{\text{глина}}$ , %) размеры перемещения двухвалентных катионов в пересчете на карбонат кальция ( $y$ , кг/га) глубже 40 см заметно снижаются (уравнения 1 и 2):

$$Y = 376 - 12,25 x_{\text{ил}}, n = 12, r = 0,971, r^2 = 0,942, \text{ дов. интервал } 29; (1)$$

$$Y = 402 - 8,76 x_{\text{глина}}, n = 12, r = 0,877, r^2 = 0,769, \text{ дов. интервал } 59. (2)$$

По А.В. Лебедеву (цит. по [7]) годовые нормы инфильтрационного питания грунтовых вод за счет осадков в подзонах средней и южной тайги варьируют от 50 до 75 мм (в среднем около 60 мм). В этих условиях выпадение осадков изменяется от 550 до 650 мм и выше. Следовательно, процент инфильтрационного питания грунтовых вод за счет осадков составляет 10-12 %.

#### 9. Размеры выноса двухвалентных ионов кальция и магния глубже 40 см в пересчете на $\text{CaCO}_3$ в зависимости от гранулометрического состава мелиорируемого иллювиального горизонта

Содержание (%)		Вынос $\text{CaCO}_3$ , кг/га				
Ил (<0,001 мм)	<0,01 мм	контроль	1/3 Н <sub>Г</sub> д. м.	S Н <sub>Г</sub> д.м. – 2/3 Н <sub>Г</sub> д. м.	1 Н <sub>Г</sub> д. м	2 Н <sub>Г</sub> д. м.
25,4	38,4	<b>72</b>	-	<b>69</b>	<b>58</b>	134
18,9	31,3	<b>156</b>	-	<b>167</b>	<b>162</b>	-
13,3	22,7	<b>195</b>	-	<b>208</b>	<b>222</b>	-
21,6	30,3	<b>93</b>	116	117	<b>94</b>	<b>108</b>

*Полужирным шрифтом выделены параметры, вошедшие в выборку по расчету корреляционно-регрессионных взаимосвязей.*

В наших опытах в колонках глубже 40 см проходило от 11 до 25 % годовых осадков. Следовательно, определенные выше

размеры перемещения двухвалентных катионов глубже 40 см (табл. 9) не должны превышать реальных ежегодных размеров

их передвижения. Поэтому опасности высокого выноса карбоната кальция при химической мелиорации известьсодержащими мелиорантами в дозах, эквивалентных даже двойной дозе  $N_{Г}$ , не наблюдается.

В колонках при применении гипса и его смесей с доломитовой мукой по сравнению с одним последним мелиорантом размеры перемещения глубже 40 см двухвалентных катионов кальция и магния в пересчете на гипс возрастают на порядок и более (табл. 10).

Определяющее влияние на их величину оказывают дозы применения гипса. Весьма высокие размеры перемещения гипса в глубокие слои почвы ставят под сомнение широкое использование этого материала в больших дозах. Его можно применять на кислых почвах в основном в смеси с известковыми материалами в дозах, эквивалентных 1/4-1/3 гидролитической кислотности. При этом будет происходить и улучшение питания возделываемых культур серой.

**10. Размеры выноса двухвалентных ионов кальция и магния глубже 40 см в пересчете на гипс в зависимости от гранулометрического состава мелиорируемого иллювиального горизонта**

Содержание (%)		Вынос гипса, т/га				
ил	<0,01 мм	1 $N_{Г}$ гипса	0,5-0,64 $N_{Г}$ гипса	1/2 $N_{Г}$ д.м. + 1/2 $N_{Г}$ гипса	2 $N_{Г}$ д.м. + 1/2 $N_{Г}$ гипса	1/3 -1/2 $N_{Г}$ д.м. + 1/4-1/3 $N_{Г}$ гипса
25,4	38,4	3,54	-	2,58	-	-
18,9	31,3	2,80	-	2,90	-	2,07
13,3	22,7	4,06	-	2,95	-	1,76
21,6	30,3	-	2,55	-	2,75	1,71

На основании исследований по взаимодействию известковых и гипсосодержащих материалов с поглощающим комплексом кислых дерново-подзолистых почв для снижения кислотности и их подпахотных горизонтов предлагаются следующие приемы применения мелиорантов:

- при величине гидролитической кислотности пахотного слоя 3-4 мг-экв/100 г почвы следует применять дозу известкового материала, эквивалентную полной гидролитической кислотности;

- при высоких величинах  $N_{Г}$  (6-9 мг-экв/100 г почвы) мелиорацию выполняют в 2 приема: вначале вносится половинная доза известкового материала, через 1-3 года – доза его, эквивалентная оставшейся  $N_{Г}$ . Мелиорант можно применять и по схеме: половинная доза вносится под вспашку на 20-22 см, другая половина – при рыхлении на глубину 25-30 см. В районах с наличием дешевых источников гипса (фосфогипса) известковый материал можно дополнять гипсом в дозе, эквивалентной 1/4-1/3 первоначальной  $N_{Г}$ .

## Литература

1. Известкование кислых почв. Под ред. Н.С. Авдониной, А.В. Петербургского, С.Г. Шедерова. М.: Колос, 1976. – 304 с.
2. Окорков В.В. Поглощающий комплекс и механизм известкования кислых почв: монография/ Владимир. Изд-во ВООО ВОИ. 2004. 181 с.
3. Пухальская Н.В. Проблемные вопросы алюминиевой токсичности //Агрохимия, 2005, № 8. – С. 70-82.
4. Окорков В.В., Коннов Н.П. Основы химической мелиорации кислых почв. Владимир: ГНУ Владимирский НИИСХ Россельхозакадемии, 2008. – 248 с.
5. Гедройц К.К. Учение о поглотительной способности почв. – М.: Сельхозгиз, 1932. – 203 с.
6. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия/Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Мир, 2003. – 548 с.
7. Кац Д.М. Основы геологии и гидрогеология. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1981. – 351 с.

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГУМУСОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ИХ ОРГАНИЗАЦИИ

*В.А. Раскатов*

*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Гумусовое состояние почв можно характеризовать как результат почвообразовательного процесса. Диагностические показатели гумусового состояния тесно связаны с факторами почвообразования. В.В. Докучаев четко связал уровни и характер накопления гумуса с условиями формирования почвенного типа. Он отмечал, что накопление гумуса в почвах и его состав зависят от скорости и условий минерализации органического вещества, от закрепления гумусовых веществ минеральными компонентами почвы, связывая это с гидротермическими условиями, механическим составом и характером поступления в почвы разнокачественных растительных остатков. Кроме того, он подчеркивал, что необходимо различать условия минерализации и условия перегнивания, которые ведут к разным уровням накопления гумуса и его качественного состава (Докучаев, 1949).

В.Р.Вильямс считал, что прочность, или водопрочность, комков почвы зависит от пропитывания их ульминовой кислотой, выделяемой анаэробными бактериями при разрушении ими корневых остатков многолетних травянистых растений. Чем лучше почва обеспечена активными перегнойными кислотами, тем лучше условия для образования водопрочной структуры почв. Она образуется тогда, когда перегнойные кислоты, пропитывая почву, денатурируются, то есть переходят из растворимого состояния в нерастворимое. При этом важную роль играет кальций, который придает комочкам свойства водопрочности. В структурной почве, как это доказано В. Р. Вильямсом, создаются наилучшие условия для обеспечения растений влагой, воздухом и элементами минерального питания растений.

Согласно В.Р. Вильямсу, почвообразование определяется синтезом и распа-

дом органических соединений почв. Солнечная энергия аккумулируется зелеными растениями, попадает вместе с опадом на поверхность почвы и в почву. Часть образующихся соединений минерализуется, и освободившаяся энергия расходуется на образование более сложных органических и минеральных соединений почв. Таким образом, остатки растений и органическое вещество почв являются в системе «почва-растение» аккумулятором энергии, негэнтропии. За счет привноса этих соединений в систему происходит развитие почв (Вильямс, 1950).

Направление, которое можно назвать условно эколого-генетическим, (эколого-геохимическим) разработанное нашими учеными, опирается на идеи докучаевского генетического почвоведения, в первую очередь на работы В.Р.Вильямса, И.В. Тюрина, М.М. Кононовой, Л.Н. Александровой, В.В. Понаморевой, Д.С. Орлова, И.С. Кауричева, А.Д. Фокина, В.И., Савича, В.А. Черникова, И.М.Яшина и др. В работах этих учёных раскрыто закономерное единство почвы и биоты, экологические аспекты которого еще предстоит развивать и конкретизировать, поскольку только в общности организма и его среды лежит принцип эколого-геохимической концепции функционирования биосферы и её структурных единиц.

В составе гумуса аккумулируются огромные запасы питательных элементов, которые при постепенной минерализации (микроорганизмами) переходят в почвенный раствор и используются растениями. Особенно большую роль гумус играет в азотном питании растений, т.к. в его составе сосредоточивается от 80 до 90% всех почвенных запасов этого элемента. При минерализации гумуса (микроорганизмами) в почвенный раствор в течение вегетационного периода поступают наи-

более энергетически выгодные для растений восстановленные формы азота.

Гумусовые вещества, благодаря комплексообразующей и поглотительной способности, удерживают в почве многие элементы питания растений, способствуя не только значительному снижению непроизводительных потерь этих элементов, но и предотвращению загрязнения окружающей среды. Большую роль гумусовые соединения почвы играют в образовании углекислоты почвы и в обеспечении ею растений. Большая часть углекислоты образуется в процессе микробиологического разложения органического вещества почв. Непрерывное поступление ее из почвы в приземную атмосферу оказывает огромное влияние на развитие растений, их фотосинтез, а следовательно, и на продуктивность посевов. Исключительно важную роль гумус и другие органические остатки корне-обитаемого слоя играют в энергетике почвенных процессов.

По вопросу накопления гумуса и методах его диагностики опубликовано немало работ, предложен ряд математических моделей на основе которых можно производить балансовые расчеты и прогнозировать темпы накопления или потери гумуса на разных по освоенности почвах, в том числе, на фоне длительных стационарных опытах.

В значительно меньшей мере согласованы представления об общих закономерностях и факторах, от которых может зависеть групповой и фракционный составы гумуса. С помощью этих показателей не всегда удается эффективно выявить конкретные изменения гумусового состояния почв в результате их сельскохозяйственного использования. С этой целью ведутся разработки и поиски новых критериев оценки, но пока трудно говорить об их применимости.

В оценке гумусового состояния дерново-подзолистых почв важное место отводится определению содержания различных групп гумусовых кислот: гуминовых, фульвокислот и нерастворимой части гумуса. Нами отмечено, что в составе гумуса целинных и пахотных почв преобладают фульвокислоты (ФК), причем с глубиной их количество возрастает,

что свидетельствует о высокой подвижности ФК.

Максимальное количество гуминовых кислот (ГК) приурочено к гумусовым горизонтам и редко изменяется с переходом в подзолистый горизонт и другие генетические горизонты. Соотношение групп ГК ведет в пользу ФК и характеризует фульватный и гуматно-фульватный тип состояния почв. Преобладание ГК и ФК достигается лишь на стадии сильной окультуренности исследуемых почв и носит нестабильный характер, изменяясь в соответствии с уровнем производственного использования почв.

Содержание углерода в негидролизуемом остатке гумуса, как известно, тесно связано с составом почвообразующей породы и степенью окультуренности почв. С утяжелением гранулометрического состава увеличивается количество глинистых минералов, способных удерживать на своей поверхности гумусовые соединения. Кроме того, отмечено, что в условиях дефицита органического вещества микробиологическому расщеплению подвергаются легкогидролизуемые формы почвенного гумуса. В высокоокультуренных почвах доля негидролизуемого остатка уменьшается, но абсолютное его значение увеличивается.

Современные методы изучения почвенного органического вещества позволяют разделять гумусовые кислоты на ряд фракций по взаимодействию с минеральными компонентами. Различная растворимость и подвижность гумусовых соединений играет большую роль в формировании почвенного плодородия.

Для дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности характерно минимальное содержание или даже полное отсутствие фракции ГК, связанная с кальцием (фракция 2). Именно эта фракция и придает гумусу наиболее ценные агрономические свойства. В этом отношении известкование кислых почв следует рассматривать как экологический прием улучшения состава и закрепления гумуса в условиях промывного водного режима.

Изменение характера поступления и трансформации органического вещества в результате сельскохозяйственного ис-

пользования почв оказывает влияние на гумусовый режим и на некоторые диагностические показатели. Наблюдается заметное снижение содержания углерода и азота на первых стадиях освоения почвы. Агрономическая ценность ГК определяется содержанием в них азота как основного источника питания растений. По мере окультуренности почв доля азота в составе ГК заметно снижается. ФК пахотных почв несколько богаче азотом, чем целинных. В процессе окультуривания почв степень обуглероженности ГК возрастает, а ФК уменьшается.

С повышением степени окультуренности почв количество кислых функциональных групп, которые определяют реакционную способность ГК, заметно снижается как в составе ГК, так и в составе ФК. По содержанию кислых функциональных групп ФК в 1,6 раза, а по количеству фенольных гидроксиллов в 2,2 раза превосходят гуминовые кислоты.

Что касается качественного состава гумусовых соединений, то объективным показателем может служить степень неоднородности ГК по молекулярным массам (ММ). Преобладание высокомолекулярных фракций над низкомолекулярными свидетельствует о наличии более молодых фракций в составе целинных почв, их быстром обновлении и их слабой термодинамической устойчивости. Можно предположить, что молекулярно-массовое разнообразие может зависеть от условий протекания гумификации, т.е. чем выше интенсивность процесса, тем меньшим числом фракций представлено органическое вещество дерново-подзолистых почв.

Окультуривание почв сопровождается некоторой трансформацией гуминовых кислот. ГК-2 при окультуривании почв подвергается дегидрогенизации согласно диаграмме атомных отношений  $H : C - O : C$ . В слабоокультуренных почвах первая фракция подвергается частичному окислению и деметилированию. В высокоокультуренных почвах ГК-1 и ГК-3 подвергаются процессам гидратации и деметилированию.

Таким образом, изменчивость системы гумусовых кислот и процессов её формирующих в профиле почв интегрально

отражают особенности её функционирования. Оптимизация гумусового состояния почв в значительной степени зависит от свойств самих почв, биоклиматической зоны и от комплекса мероприятий применяемых в процессе их сельскохозяйственного использования.

При изучении систем полисопряжения гумусовых кислот различных почв по генетическим рядам гумификации нами установлено, что одним из возможных путей образования молекулярных форм ГК является перераспределение электронной плотности в «скелетной» структуре их молекул. С увеличением конфигурации образовавшихся ГК их уплощённые агрегаты образуют линейные цепочечные сплетения структурных элементов, затем уплощенные нитеподобные структуры в которых форма частиц не различалась.

Концентрация выше 0,1% влияла на их форму; они вели себя как незаряженные полимеры, в то время при более низких концентрациях – как эластичные полиэлектролиты, макромолекулы которых дифференцированы в виде перфорированных листоподобных структур.

Статистическая обработка данных электронной микроскопии и парамагнитного резонанса позволила выдвинуть концепцию: сельскохозяйственное использование почв снижает парамагнитную активность гумусовых кислот более чем на 25% и приводит к накоплению в пахотном горизонте биотермодинамически устойчивых и более гумифицированных соединений и структурных единиц ароматической природы. Удобной моделью поведения системы гумусовых веществ при их трансформации могут служить почвы, находящиеся в короткие промежутки времени под различными антропогенными нагрузками.

Появление новых функциональных групп в системе гумусовых кислот, модифицированные гуминовые кислоты и фульвокислоты способны образовывать более стабильные растворимые комплексы с отдельными элементами. Такие исследования позволяют прогнозировать степень трансформации гумусовых веществ при взаимодействии с экзогенными химическими соединениями. Получен-

ные выводы подтверждаются результатами элементного состава, данными люминесцентной спектроскопии и электронной микроскопии.

Использование метода пиролитической масс-спектрометрии (ПМС) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), при исследовании продуктов взаимодействия гуминовых кислот (ГК) и симазина, позволило обнаружить изменения в пространственной микроструктуре ГК в результате включения в неё симазина. В результате взаимодействия образуются прочные хемосорбционные связи, одновременно происходит как бы «разрыхление» макромолекулы ГК вследствие пространственного высвобождения нестабильных фрагментов.

В условиях лабораторных опытов в культуре почвенных актиномицетов была изучена трансформация ГК и его комплекса с симазинном. Методы ПМС и СЭМ позволили установить, что включение симазина в макромолекулу ГК приводит к изменению её стабильности. Гумат-симазинный комплекс под действием микроорганизмов быстрее подвергается деструкции, чем исходные ГК. Введение ионов металлов в реакционную биологическую систему позволяет регулировать ингибирующую способность ГК, которая может меняться в зависимости как от природы, так и от содержания ионов металлов в системе. Механизм ингибирования металлокомплексами ГК активности почвенных ферментов связан с образованием разнолигандных комплексов, где ион металла выступает как «скрепичного узла» между ГК и белковой глобулы. На основе полученных экспериментальных данных можно смоделировать образование комплексов и изучить условия и механизмы иммобилизации фермента. Идентификация проводилась различными методами – химическими, гель-хроматографией, электроферезом, ИК-спектроскопией и электронной микроскопией.

При энергетической оценке гумусового состояния почв большое значение имеют такие показатели, как возможность выполнения органическими соединениями почв определенных экологических функций, эффективность их выполнения,

надежность и долговечность функционирования.

Исследование разных слоев информации гумусовых соединений проведено на разном иерархическом уровне: с оценкой группового и фракционного состава гумуса, определено содержание положительно и отрицательно заряженных гидрофильных и гидрофобных соединений, определение молекулярной массы гумусовых кислот методом гелевой хроматографии, аминокислотного состава, структурно-фрагментарного состава – методами трансмиссионной и растровой электронной микроскопии.

Оценка функциональных свойств и структурно-группового состава органических соединений проведена методами пиролитической масс-спектрометрии, инфракрасной спектроскопии, ДТА и ДТГ, ЭПР, спектроскопии в видимой области спектра.

Показано, что матричная роль гумуса в значительной степени обусловлена ароматическими компонентами с определённым набором энергетических связей, влияние на свойства почв – алифатическими структурными группировками.

На основе обобщённых данных можно рекомендовать к применению диагностические показатели, которые могут достаточно эффективно отражать не только почвенно-генетические особенности гумусообразования, но и быть использованы при изучении влияния антропогенных факторов на характер изменения физико-химических свойств почвенного гумуса; они вскрывают специфику изменений ГС на структурно-функциональном уровне в различных экологических ситуациях:

- содержание гумуса, %;
- содержание азота, %;
- запасы гумуса в слое 0-30 см (0-50 см), т/га;
- “степень минерализации”;
- $C_{ГК} : C_{ФК}$ ;
- Содержание С, N (в % от массы гумусовых веществ) и С/N, ГК, ФК
- ГК – 2 (ГК-1, ГК-3), ФК – 1a
- негидролизуемый остаток;
- $H = f(Q, J, t)$ ;
- оптическая плотность ГК (ФК)  $E_c$  мг/мл;

- содержание кислых групп мг-экв /100 г ГК, ФК;
- степень пептизируемости в воде ГК, %;
- емкость связывания кальция ГС, мг-экв/100г ГК;
- элементный состав ГК (ФК):/С, О/С,  $\omega$  (степень окисленности)
- (V) ВМС/НМС; ВМС – высокомолекулярные соединения, НМС – низкомолекулярные соединения;
- (Z) отношение содержания неароматических и ароматических фрагментов ГК (ФК) (метод дериватографии и масс-спектрометрии);
- (W) отношение содержания алифатических аминокислот к сумме ароматических + гетероциклических;
- (Y) концентрация свободных радикалов (ПМЦ) в ГК, ФК - метод ЭПР;
- пространственное расположение, конфигурация и размеры субъединиц (микро- и макроблоков) ГК и ФК - метод электронной микроскопии.

### Литература

1. Вильямс В.Р. Избранные сочинения. – М.: Московский рабочий, 1950. – 463с.
2. Докучаев В.В. Русский чернозём. //Собр.соч.М.-Л.: Изд-во АН СССР,1949,620с.
3. Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А. Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях. М.: Изд-во МСХА,1996. -144с.
4. Кауричев И.С., Комаревцева Л.Г. Качественный состав гумуса почв под различной растительностью.- Известия ТСХА,1971,№2, с.91-97.
5. Лазуткина Е.В., Касатиков В.А., Раскатов В.А. // Структурно-морфологические особенности гумусовых веществ вермикомпостов. Доклады МСХА вып. 279,2007., С.632-635
6. Раскатов В.А. Гумусовое состояние почв и методы его диагностики.// В сб.: Агрэкологические функции ОВ почв и использование органических удобрений и биоресурсов в ландшафтном земледелии.-Владимир.ВНИПТИОУ.-2004;.-С. 59-63.
7. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. М.: МСХА, 2000. - 560с.

## ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАВПОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

*Б.А. Рунов*

*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Глобализация – процесс планетного объединения всех сфер человеческой деятельности, охватывающий производство, технологию, торговлю, культуру, политические и государственные институты, и направляемый мировым финансовым капиталом, мировыми банками.

Планета подвергается изменению, а именно происходит истощение природных ресурсов, загрязнение атмосферы, истощение озона, изменение климата, загрязнение воды и почвы, деградация земель и лесов, опустынивание, потеря биоразнообразия, увеличение опасных отходов, экологические риски.

По данным ФАО (Хосе Р. Бенитес), общая площадь поверхности земли составляет 12 млрд. га, из которых: лишь 6 % относительно пригодны для ведения сельского хозяйства; Седьмая часть этих площадей требует значительных инвестиций для того, чтобы они стали продуктивными. И только 3% поверхности суши полностью подходят для производства продовольствия. Около четверти этих сельскохозяйственных угодий затрагивает деградация, в основном эрозия почвы

Масштабы деградации почв в РФ (млн. га)-70,0 подвержены эрозии, 73,0 имеют повышенную кислотность, более 40,0 засолены, 26,0 переувлажнены и заболочены, более 50,0 подвержены опустыниванию, 56,0 имеют низкое содержание гумуса (А.Н.Каштанова, ИКСа МСХ РФ в октябрь 2013г).

Водная поверхность планеты хотя и занимает 70%, но только 2,5% пресной воды на земле, да и то в виде ледников. Менее 1% пресной воды в озерах, реках и в подземных источниках. 70% пресной воды расходуется на орошение. Нехватка и низкое качество воды приводит часто к большой смертности людей. *Нельзя не принимать как должное, что результаты*

деятельности человека оказывают такую нагрузку на природные функции земли, что способность экосистем планеты не сможет обеспечивать условия для жизнедеятельности будущих поколений. Все изменения в мире ставят под угрозу дальнейшее сосуществование человечества.

При народонаселении в мире более 7 млрд. человек и ежегодном прибавлении около 90 млн. новых едоков, более миллиарда людей голодает.

Особенности с.-х. отрасли – это производство продукции для физиологической потребности человека, сезонность, разбросанность, зависимость от почвенно-климатических условий, имеет дело с живыми организмами, с живой природой.

Проблемы в мире: 1-рост народонаселения требует больше пищи, 2-идет сокращение площадей с.х. земель, 3-урбанизация требует больше пищи, 4-наблюдается стабилизация пищи из морей, 5-загрязнение окружающей среды, 6-трансгенная продукция не всеми воспринимается одинаково.

Мировые тенденции развития АПК следующие: концентрация, специализация, интеграция, химизация, мелиорация, электромеханизация, рост капитальных вложений в АПК, в том числе в науку, образование и ИКС, производство биотоплива, снижение энергозатрат на единицу производимой продукции, рост производства за счет повышения урожайности с.-х. культур и продуктивности животных, применение высоких технологий, увеличение информационных ресурсов, обеспечение доступности к ним потребителей.

Залежная система земледелия одна из древних систем. На разработанной целине высевали обычно зерновые культуры. Как только урожаи снижались и не удовлетворяли потребности человека, эти участки забрасывали. Заброшенные зем-

ли зарастали сорняками. Через 15–25 лет залежные земли восстанавливали свое плодородие и не отличались от типичной целины. При залежной системе земледелия человек использовал естественное плодородие почвы и не проявлял заботы об улучшении земли. Земельные участки с утраченным плодородием почвы снова передавались природе, прерывая на них возделывание культурных растений.

Что-то подобное происходит с заброшенными и не используемыми землями в РФ. По разным источникам таких земель насчитывается 35-40 млн га. Напрашивается предложение, если мы хотим создать продовольственную безопасность, а именно необходимо в самое ближайшее время принять Закон по использованию этих земель, провести мониторинг и аудит состояния, принять конкретные меры по их восстановлению и использованию. И если на части этих площадей, используя подсев трав в дернину, создать пастбища, то можно быстро восстановить производство молока и мяса в стране. Известно, что пастбищный корм самый дешевый. На ограниченных сельскохозяйственных землях Англии или Голландии можно видеть стада КРС или овец на пастбищах. Восстановление и создание культурных пастбищ с использованием технологий и машин для восстановления и использования, полосной обработки земель должна быть одной из главных задач в сельском хозяйстве страны.

Об отсутствии земельной политики РФ можно судить по опасным тенденциям земельных отношений и землепользования. Некоторые из них: Продолжающаяся деградация земель, -Криминальная обстановка при управлении земельными ресурсами,- Незащищенность прав на землю крестьян,- Создание латифундий,- Снижение эффективности госконтроля за использованием и охраной земель,- Снижение профессиональных знаний персонала работающих в сфере управления земельными ресурсами,- Дезинформированность о динамике состояния и использования земельного фонда (В.Н. Хлыстун, заседание ИКСовета МСХ РФ окт 2013).

Большие затраты энергоресурсов на единицу производимой продукции в АПК

России, ( в 5 раз и больше, чем в передовых странах мира), определяются такими факторами как: низкое плодородие почв, не рациональное использование земельных ресурсов, редкое применение энергосберегающих технологий и другие. *Не всегда делается анализ альтернативных технологий и выбор рациональной из них.*

Пахота имеет ряд серьезных недостатков по сравнению с минимальной или нулевой обработкой почвы, а именно: 1-распыление поверхностного слоя почвы, 2-уплотнение более низких слоев, 3-уменьшение инфильтрации влаги, 4-увеличение стока и неэффективное использование воды, 4-эрозия почвы, 5-загрязнение окружающей среды, 6- высокие энергозатраты.

Опыты показывают, что если пашня при средних уклонах поля сохраняет около 40% дождевых осадков то мульча и прямой посев до 90% (за счет микропор от червей и за счет корневой системы растений). (ж.Новое сельское хозяйство 3-08)

Перемещение (вымывание) почвы при плужной обработке почвы до семи раз больше, чем при прямом посеве. Один см глубины обработки почвы плугом вызывает перемещение 150 т земли на одном га Чем глубже обработка почвы, тем больше энергозатрат и больше повреждается почва, на восстановление которой требуются дополнительные энергозатраты и время.

По данным ФАО, экономия энергозатрат при использовании технологий, основанных на минимальной и нулевой обработках почвы, составляет 25% и более. По данным ФАО, экономия энергозатрат при использовании технологий, основанных на минимальной и нулевой обработках почвы, составляет 25% и более

Оценки наших и зарубежных экспертов показывают, что к концу столетия более 80% мирового потребления энергии будет обеспечиваться технологиями безтопливной энергетики: гидроэнергией, биоэнергетикой, солнечной энергетикой, ветровой и геотермальной совместно с водородной энергетикой.

Прогноз великого физиолога сбывается “Каждый луч солнца, потерянный зеленой поверхностью листа, луга или леса-

это богатство, потерянное навсегда, и за растрату которого более просвещенный потомок осудит своего невежественного предка.” *К.А.Тимирязев*

Восполняемые Источники Энергии (ВИЭ)

1-Энергия солнца 1-1- Теплонагрев

1- 2- Электроэлементы.

1-3 – Биотопливо- 1-3-1твердое

1-3-2-Жидкое 1-3-3-Газообразное

2-Гидроэнергетика

3-Ветроэнергетика 4-Тепло земли

5-Волновая энергия

Новое направление и применение новых технологий это Точное сельское хозяйство ТСХ - «Precision Agriculture» - это применение стратегического управления с использованием информационных технологий с получением данных из многосторонних источников для принятия решений, связанных с сельскохозяйственным производством, логистикой, рынком, финансами и людьми. (Olson, 1998).

ТТЗ могут быть различны. Определение границ поля и отбор проб в системе координат. Параллельное вождение. Определение состояния посевов (сорняки, вредители, болезни). Дистанционное зондирование. Почвообработка. Дифференцированный посев. Дифференцированное внесение N,P,K. Дифференцированное внесение извести. Дифференцированное внесение средств защиты Мониторинг урожайности.

В.В. Путиным поставлена задача «В ближайшие четыре-пять лет мы должны полностью обеспечить свою независимость по всем основным видам продовольствия». Чтобы ее выполнить не на словах а на деле *необходимо*: иметь систему мер по реализации этих предложений, -восстановить с.х.машиностроение, иметь конкретные программы и достаточные инвестиции для их реализации.

Стратегия Правительства и ее органах на всех уровнях управления *должна предусматривать создания системы- механизма ускорения передачи достижений науки и практики к производителем техники и к товаропроизводителям*

Научно–практическая деятельность ученых и промышленности передовых стран мира за последние десять лет идет

по таким направлениям как: сельскохозяйственная биоинженерия. Роботы и Интеллектуальные с.-х. машины (Intelligent Agricultural Machine). Применение информационных технологий (ИТ)- в агробиосистемах. Дистанционные сенсоры и GIS,Точное сельское хозяйство. *Учитывая мировое направление научных и практических работ требуется пересмотр тематики научных исследований и преподавания в России, а именно вводить такие темы как:-Биоинженерные технологии,- Решение проблем по использованию Информационных Технологий в АПК. -Разработка техники и оборудования для точного сельского хозяйства. - Технологии с восполняемыми источниками энергии (ВИЭ)*

К сожалению, Россия была, есть и неизвестно сколько времени еще будет, страной с продажей на мировом рынке сырьевых природных ресурсов. *Американский экономист Самуэльсон так высказывался о американском сельском хозяйстве “Сельское хозяйство-это несчастный пасынок природы, но оно очень часто становится приемным любимым сыном правительства”.*

*А известный министр сельского хозяйства США Эрль БАТЦ-так заявлял “В мире существуют две силы-сила энергоресурсов и сила продовольствия. Мы разговариваем с миром силой продовольствия”.*

В нижеприводимой таблице можно видеть значительное преимущество России по земельным ресурсам по сравнению с США и КНР.

Сравнительные показатели-2013г  
США РФ КНР площадь млн.га 910 1670 950 население млн.чел 316,0 143,0 1350 пашня млн.га. 170(18%) 121(7%) 130(13%) пашня-га/чел 0,53 0,84 0,13

В скобках в % от суши

Устойчивое развитие сельского хозяйства и АПК в каждой стране приобретает важнейшее значение, и не только для самообеспеченности и продовольственной безопасности, но там, где позволяют ресурсы, продовольствие поставляется на экспорт. Например, США от экспорта продовольствия имеют выручку значительно больше чем от продажи оружия. А КНР имея 7% мировой пашни, кормит 22% на-

селения мира. При этом имеет возможность поставлять часть продовольствия на мировой рынок.

В случае повторения засух последних лет ситуация в мире и в нашей стране может привести к социальной напряженности. Надо быстрее переходить на другой уровень управления сельским хозяйством используя ИТ с наименьшими энергозатратами на единицу производимой продукции. Можно прогнозировать, что если инновационные технологии не найдут должного применения в ближайшие годы, то Россия может оставаться страной с высокими энергозатратами на единицу про-

изводимой продукции. При этом трудно создать систему устойчивого развития конкурентной продукции в условиях климатических изменений.

Продовольствие является экономической и политической силой. В первую очередь это касается тех стран, которые располагают достаточными земельными и другими природными, финансовыми и людскими ресурсами. Среди таких стран должна быть и Россия, которая при устойчивом развитии отечественного сельского хозяйства может быть самообеспеченной продовольствием, поставляя его излишки на экспорт.

## ОЦЕНКА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

*С.Н. Смарыгин, В.И. Савич, Д.Н. Никиточкин*  
*РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева*

Окислительно-восстановительное состояние почв является интегральной характеристикой протекающих в почве процессов и режимов (Кауричев И.С., 1982). Оно обуславливает протекание ряда процессов почвообразования и плодородие почв (Зайдельман Ф.Р., 1998). Значительное внимание его изучению уделено учеными кафедры почвоведения ТСХА: Вильямсом В.Р., Ярковым С.П. (1961), Кауричевым И.С., Гречиным И.П. (1965), Игнатьевым Н.Н. (1989), Поддубным Н.Н., Першиной М.Н., Пановым Н.П. (2001), Кирюшиным В.И., Стратанович М.В. (1994), Непомилуевым В.Ф. и другими.

Проведенные исследования осуществлялись в тесном контакте с преподавателями кафедры микробиологии, мелиорации, неорганической химии, физической и коллоидной химии, агрохимии, институтами АН СССР.

На основании проведенных экспериментов и теоретических разработок предложена комплексная оценка окислительно-восстановительного состояния почв (Савич В.И., 1999). Окислительно-восстановительное состояние почв характеризуется свойствами, процессами и режимами. Окислительно-восстановительные свойства почв предлагается оценивать по фактору емкости (фракционному составу ОВ систем), фактору интенсивности  $E_h$ ,  $p_e$  – отрицательному логарифму активности электронов в растворе,  $rH_2 = E_h/30 = 2P$ ; величине  $E_h$  при  $pH = 6,5$ ; энергетическому состоянию почв, оцениваемому методом газоразрядной визуализации - RGB камеры; фактору кинетики (скорости изменения  $E_h$  при добавлении к почве окислителей и восстановителей в сезонной динамике); гистерезису окислительно-восстановительного состояния почв; по буферным свойствам

почв в окислительно-восстановительном интервале (по изменению  $E_h$  на единицу изменения влажности, температуры, единицу добавленного окислителя и восстановителя при потенциометрическом состоянии почв, при потенциостатическом и амперостатическом титровании) (Смарыгин С.Н., Улько Н.Г., Яковлева Н.Н., 1982; Савич В.И. и др. 2006, 2008).

Впервые предложено изучение окислительно-восстановительных свойств почв методом потенциометрического титрования, в т.ч. свежих образцов в пастовом угольном электроде, оценка  $Ox-Red$  свойств с использованием вращающихся дисковых платиновых и золотых электродов (Яковлева Н.Н., 1982).

Показано, что окислительно-восстановительные процессы в почвах тесно взаимосвязаны с процессами подзолообразования, засоления и осолонцевания, с дерновым процессом. Эффект воздействия этих процессов на почву определяется экстенсивными и интенсивными параметрами, кинетикой и продолжительностью воздействия при проявлении принципа эмерджентности и эффектов синергизма и антагонизма. Например,  $pH$  и количеством  $H^+$  в растворе, константами нестойкости образующихся комплексов катионов с органическим веществом и количеством в растворе водорастворимых лигандов, участвующих в комплексообразовании, константами полувосстановления и количеством окисленных и восстановленных соединений в почве и в растворе и т.д.

При этом действие на почву соединений, образующихся в процессах окисления и восстановления, определяется кодом поля (концентрационного, электрического, магнитного и т.д.): активностью, продолжительностью воздействия, градиентом во времени и в пространстве, зако-

номерной сменой указанных параметров во времени и в пространстве. Эффект воздействия определяется и будущим развитием процесса (при нахождении точки на вершине выпуклой кривой или на дне вогнутой кривой состояния изучаемых параметров).

В проведенных исследованиях разработана методика химической автографии почв, растений, микроорганизмов, вод на основе электролиза при разделении соединений ионов, имеющих в изучаемых объектах на положительно и отрицательно заряженные. Показано, что миграция веществ в почве происходит не только под влиянием гравитационного поля и градиентов концентрационных полей, но также под влиянием электрического и магнитного полей. При этом вектора движения веществ под влиянием определенных полей чаще разнонаправлены, и эффект действия определяется правилом сложения векторов. Окислительно-восстановительные режимы характеризуются закономерным изменением окислительно-восстановительных свойств и процессов во времени и в пространстве.

Модель оптимального окислительно-восстановительного состояния почв соответствует оптимальному выполнению почвой заданной экологической функции, например, плодородия, геохимического барьера и т.д. Очевидно, что при разных целях использования почв модель их оптимального окислительно-восстановительного состояния будет меняться.

При использовании почв в сельскохозяйственном производстве модель их оптимального окислительно-восстановительного состояния зависит от сочетания свойств почв (наличия  $SO_4$ , Fe, Al, Mn, микробиологической активности и т.д.). Так, при низком окислительно-

восстановительном потенциале при отсутствии в почве  $SO_4$  не образуется  $H_2S$ , а при малом содержании Al вряд ли можно ожидать токсикацию им растений и т.д.

В то же время, для оптимизации разных процессов в почве необходимы и различные значения Eh, что достигается, например, во внешних и внутренних слоях структурных отдельностей. Так, при анаэробных условиях будет заторфовывание почв, а при окислительных - сгорание гумуса и т.д. Железо и марганец усваиваются растениями, в основном, из восстановленных форм, азот, как из  $NO_3^-$ , так и из  $NH_3$ ,  $NH_4^+$  и т.д.

В нижеследующих таблицах приведены примеры определения окислительно-восстановительных свойств почв с использованием разработанных нами методов.

На рис. 1 приведены показатели окислительно-восстановительной буферной емкости различных почв.

Как видно из представленных данных, предложенный нами показатель  $P_{ov} = dOx/dEh$  и  $dRed/dEh$  позволяет установить существенную разницу в буферной емкости в окислительно-восстановительном интервале разных типов почв, которая меняется и в определенных интервалах Eh. В качестве титрантов, используются  $KMnO_4$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $K_3[Fe(CN)_6]$ ,  $SnCl_2$ , гидросиламин,  $K_4[Fe(CN)_6]$ .

На рис. 2 приведены потенциостатические вольтамперные кривые для основных типов почв.

Данный метод позволяет определить ОВ буферную емкость почв, проводя окисление и восстановление почв постоянным током (при постоянстве потенциала или при постоянстве силы тока).

В таблице I приведены данные об Ох-Red емкости почв в восстановительном интервале на электродах из почвенно-угольной пасты.

Таблица 1

**ОВ емкость почв, оцененная с использованием метода потенциостатической кулонометрии на электродах из почвенно-угольной пасты (фоновый электролит  $1nH_2SO_4$ ,  $\Gamma = 100$  мв)**

Почва	ОВ емкость, мг-экв/100 г
лугово-черноземная незатопляемая	22,8
затопляемая	13,5
дерново-подзолистая	5,2
краснозем	2,8

По полученным данным, при количестве восстановленных веществ, окисленных при  $Eh = 100$  мв по водородному электроду, более 5 мг-экв на 100 г почва обладает очень большой ОВ емкостью; 5-2 - большой, 2-1 - средней, 1-0,5 - ниже средней, а меньше 0,5 мг-экв/100 г - низкой емкостью. Величина определяемой ОВ емкости зависит от потенциала, при котором определяется рН среды, фонового электролита.

Развитие восстановительных условий определяется увеличением отношения железа к марганцу в конкрециях (Зайдельман Ф.Р.) в почвенном растворе, уменьшением

отношения  $NH_3/NH_4$ , K/Ca. Это подтверждается данными следующей таблицы.

Согласно полученным данным, окисление и восстановление почв сопровождается не только изменением соотношения ионов в почве, но и изменением соотношения их положительно и отрицательно заряженных форм. При этом градации степени окисления в зависимости от соотношения ионов зависят от рН среды, ионной силы раствора, степени закомплексованности ионов. Поэтому величины коэффициентов заболоченности (отношение Fe/Mn в конкрециях) отличается для разных почв.

Таблица 2

Оценка степени анаэробнозиса почв по величине Eh, Fe/Mn, K/Ca, (n = 3-6)

Почва	рН	Eh	Eh при рН=6,5	FeL/ MnL <sup>-</sup>	FeL <sup>+</sup> / MnL <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> / NH <sub>4</sub>	K/Ca
пойменная дерново-глеевая глинистая	6,1	269	246	7,3	3,4	118,3	14,2
пойменная дерново-глеевая тяжелосуглинистая	6,6	241	247	8,4	4,7	52,6	10,0
пойменная дерново-глеевая среднесугл и нистая	6,3	271	260	8,2	4,6	33,1	27,3
пойменная торфяная пере-гноино-глеевая	6,5	201	202	11,8	3,9	24,4	1,4

С нашей точки зрения, перспективна информационно-энергетическая интерпретация окислительно-восстановительного состояния почв. Электромагнитные поля и электроны являются одним из наиболее быстрых переносчиков информации в почве. Они взаимосвязаны с разнообразием и состоянием микроорганизмов и с выделением из почв и растений воздушных экзаметаболических веществ, которые также являются быстрыми переносчиками информации. Информацию о прошлом хранят оргштейны, железомарганцевые конкреции, другие новообразования, изменение свойств почв по профилю, в катене, в разных слоях структурных отдельностей.

В то же время, изменением степени гидроморфизма территорий вызывает изменение всех свойств почв и их эволюцию к термодинамически устойчивому

состоянию. Информационное значение имеет и градиент Eh, который определяет миграцию загрязненных соединений в почвенном профиле.

Величина окислительно-восстановительного потенциала почв связана с накоплением в почве энергии, с энергией активации реакций, с константами устойчивости комплексов и произведениями растворимости осадков, с плотностью заряда ацидоидов и базоидов ППК и, следовательно, с селективностью ионного обмена в почвах (Савич В.И., 1999, 2002).

Окислительно-восстановительное состояние почв и их энергетика идентифицируются и методом газоразрядной визуализации (Стехин А.А., 2008). Нами предложено применение данного метода и к изучению почв. Часть полученных материалов приведена в следующей таблице.

Таблица 3

## Идентификация информационно-энергетических полей почв методом ГРВ (Ап)

Почва	Средняя интенсивность пика	Энтропия по изолинии	Фрактальность по изолинии	Длина изолинии
чернозем	99,4±0,4	1,9±0,04	1,5±0,01	700,2±90,9
дерново-подзолистая	59,1±15,3	2,0±0,04	1,8±0,02	345,2±61,6

Окислительно-восстановительные процессы в почвах тесно связаны с окислительно-восстановительными процессами в растениях и в системе почва-растение. Каждый вид и сорт растений обладает определенными сорбционными свойствами: конфигурацией, знаком и плотностью заряда сорбционных мест. Это определяет селективность растений к биофильным элементам и токсикантам, предельно допустимые уровни отдельных токсикантов для них. При этом каждый горизонт имеет определенный заряд, что влияет на модель плодородия для этого горизонта и почвы, как совокупности гори-

зонтов. Одновременно каждый горизонт является селективным геохимическим барьером для мигрирующих ионов. Атмосфера заряжена положительно, почва - отрицательно. Чем выше растение, тем больше градиент электрического потенциала между точкой роста стебля и корня. Это определяет селективность поглощения растениями катионов и анионов. Избыточное увлажнение почв приводит к изменению этих взаимосвязей.

В таблице 4 приведены соотношения (Ca+Mg+K):(Fe+Mn) в почвах и корнях растений, развивающихся в разных условиях увлажнения.

Таблица 4

## Соотношение (Ca+Mg+K):(Fe+Mn) в почвах различной степени гидроморфизма

Растение	Увлажнение	Почвенный раствор	Почва		Корни	
			+	-	+	-
таволга	оптимальное	13,6	3,5	33,7	468	135
картофель	избыточное	4,2	3,0	6,9	165	498
	оптимальное	36,4	1,3 1 42,0   1034			71,4
	избыточное	7,5	1,6 ! 4,7		447	58,4

\*) + и - содержание положительно и отрицательно заряженных соединений

При избытке отдельных элементов они задерживаются в корнях и не поступают в наземные органы. Это сказывается и на градиенте концентрации в системе корни-стебли и других ионов. Так, например, градиент концентрации в системе корни-стебли для здоровых растений риса составлял для отрицательно и положительно заряженных соединений калия 0,17 и 0,30; кальция - 0,50 и 1,4; железа - 0,5 и 0,1; меди - 0,8 и 0,3. Для больных растений эти градиенты были значительно выше: соответственно

для калия 0,4 и 0,8; для кальция - 1,4 и 1,2; для железа - 1,4 и 1,8; для меди - 1,1 и 1,4.

Разной сорбционной емкостью корневых систем обладали сорняки и культурные растения, что определяло их неодинаковую устойчивость к недостатку кальция и избытку алюминия.

Приспосабливаясь к почвенным условиям, растения целенаправленно изменяют свойства почв в прикорневой зоне, окисляя или восстанавливая ее. Это подтверждается данными таблицы 6.

**Окислительно-восстановительный потенциал в прикорневой зоне растений (Eh мВ по ЖСЭ) по данным полевых исследований**

п	2 см от корня	4-6 см от корня	10-15 см от корня
стрелолистка на дерново-подзолистой почве			
18	239,2±6,5	89,5±14,9	25,8±2,3
6	40,8±12,8	-107,0±17,2	199,0±3,1
4	-86,2±32,5	-155,0±7,9	226,7±20,2
картофель на серой лесной почве			
21	398,6±3,0	422,8±1,6	426,2±3,9

Для нормальной жизнедеятельности растений требуются определенные значения кислотного-основного и окислительно-восстановительного состояния почв и самих растений. В проведенных исследованиях показана целесообразность регулирования окислительно-восстановительного состояния в системе почва-растение. Так, например, при анодном окислении дерново-подзолистой почвы постоянным током 50 в в течение 6 суток величина Eh у катода была равна 130 мВ, у анода - 470; рН соответственно 11,4 и 5,8; Fe в вытяжке 0,1н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> у катода - 75 мг/100 г; у анода - 42; Ca - соответственно 149 и 64; Мп - 27 и 8,0 мг/100 г. Внесение KNO<sub>3</sub> изменило Eh от - 235 до 105; рNO<sub>3</sub> - от 5,0 до 2,0.

Положительное влияние на почву и растения оказали и другие кислородсодержащие удобрения и компоненты в высокой степени окисления. Анодное обогащение почв поливалентными металлами - микроэлементами позволило устранить их недостаток. Электрофоретическое введение биофильных элементов в растения существенно улучшало их рост и развитие. Электромелиорация засоленных почв и солонцов повышала их плодородие, а электромелиорация загрязненных тяжелыми металлами почв (после внесения компонентов для увеличения их подвижности) способствовало оптимизации экологической обстановки.

Положительное влияние на биопродуктивность угодий оказывало, как регулирование окислительно-восстановительного состояния почв, так и связывание образующихся токсичных продуктов, повышение устойчивости растений к гипоксии путем регулирования присутствующих в растении

ях окислительно-восстановительных ферментов (Гринева Г.М., 1975).

### Литература

1. Вильяме В.Р. Почвоведение, 1939
2. Гречин И.П. Свободный кислород и его роль в почвенных процессах лесолужной зоны Европейской части СССР, Автореф. докт. дисс., М., ТСХА, 1965, 40 с.
3. Гринева Г.М. Регуляция метаболизма у растений при недостатке кислорода, М., Наука, 1975, 279 с.
4. Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв, М., МГУ, 1998, 236 с.
5. Игнатъев Н.Н. Поглощение кислорода системой почва-растение и разработка новых способов повышения урожая, Автореф. докт. дисс., М., ТСХА, 1989, 31 с.
6. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв, М., Колос, 1982, 247 с.
7. Латфуллина Г.Г. Окислительно-восстановительная буферность почв, Автореф. канд. дисс., М., ТСХА, 1975, 17с,
8. Непомилуев В.Ф., Козырев М.А. Количественный учет железовосстанавливающих микроорганизмов и их распространение в почвах таежно-лесной зоны, Докл. ТСХА, 1971, вып. 172, с. 87-90
9. Панов Н.П., Мамонтов В.Г. Почвенные процессы в орошаемых черноземных и каштановых почвах и пути предотвращения их деградации, М., МСХА, 2001, 253 с.
10. Савич В.И., Парахин Н.В., Степанова Л.П., Шишов Л.Л., Кершенс М. Агрономическая оценка гумусового состояния

почв, Орел, ОГАУ, 2001, т. 1 - 234 с., т. 2 - 204 с.

11. Савич В.И., Ларешин В.Г., Дубенок Н.Н., Габбасова И.М., Хесам Моуса Мелиоративная и агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв, М., РУДН, 2006, 480 с.

12. Савич В.И., Сюняев Н.К. и др. Агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния и оглеения почв, М., РГАУ-МСХА, 2008, 270 с.

13. Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л. и др. Окислительно-восстановительные процессы в почвах, агрономическая оценка и регулирование, Кустанай, 1999, 404 с.

14. Стехин А.А., Яковлева Г.В. Структурированная вода, нелинейные эффекты, М., ЛКУ, 2008, 320 с.

15. Стратанович М.В., Игнатъев Н.Н. Воздушный режим дерново-подзолистых почв в зависимости от гидротермических условий, в сб. «Современные почвенные процессы», М., ТСХА, 1974

16. Яковлева Н.Н. Окислительно-восстановительная емкость дерново-подзолистых, черноземных и торфяных почв разной степени увлажнения, Автореф. канд. дисс., М., ТСХА, 1982, 16с.

17. Ярков С.П. Почвы лесолуговой зоны, М., 1961

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ АГРОХИМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ТОРФОЗЕМЫ РАЗНОГО ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

*Е.В. Широкова, А.И. Поздняков, Л.С. Магарышкіна  
Дмитровский филиал ГНУ ВНИИМЗ РАН*

Актуальной проблемой адаптивного земледелия и агрохимии является повышение эффективности минеральных удобрений, улучшение качества сельскохозяйственной продукции и экологического состояния объектов сельскохозяйственного производства. Решение этих задач невозможно без обеспечения оптимизации минерального питания растений как направленного воздействия через почву на сельскохозяйственные культуры.

Применение высоких норм удобрений и средств защиты растений в 60-80-е годы прошлого столетия, практически бесменное выращивание овощных культур на Яхромской пойме по настоящее время привело к ухудшению биологического состояния торфяных почв длительного сельскохозяйственного использования: снижению их самоочищающей способности, что наряду с другими факторами вызывает их почвоутомление и снижение продуктивности [1].

Наши многолетние исследования по эффективности применения удобрений под основные овощные культуры (капуста, морковь, столовая свекла) показали, что минимальной отзывчивостью на непосредственное внесение туков обладает морковь. Несмотря на то, что столовые корнеплоды чаще всего выделяются одной строкой в рекомендациях по нормам внесения минеральных удобрений, эти две культуры в значительной степени отличаются по чувствительности к концентрации почвенного раствора, использованию элементов питания из почвы и отзывчивости на непосредственное внесение туков. По нашим данным морковь очень хорошо использует элементы питания из торфяной почвы и дает высокие урожаи корнеплодов на участках без непосредственного внесения удобрений (до 400 -550 ц/га). Этот факт явился отправным моментом наших много-

летних исследований по определению возможных путей снижения норм удобрений под эту культуру. Необходимым условием эксперимента являлось получения высоких урожаев корнеплодов хорошего качества на уровне 400-600 ц/га (за исключением самых неблагоприятных лет) и сохранение плодородия торфяных почв.

Исследования проводилось на осушенных торфяных почвах разного ландшафтно-экологического состояния двух стационаров ДФ ВНИИМЗ:

- на эутрофных торфоземах центральной части Яхромской поймы, сформированных на древесном, разнотравно-древесном и осоково-древесном торфе (группа А),

- на эутрофных торфоземах притеррасной части поймы и прилегающих к ней участках, развитых на разнотравно-гипновом торфе (группа В) - рис.1.

Исследованные торфяные почвы по «Классификации почв России» 2004 года были отнесены к типу торфоземов.

Почвенные контуры: I, I<sub>Ca</sub>, I<sub>Fe</sub> – эутрофные торфоземы на разнотравно-гипновом и гипновом торфе, в некоторых случаях с обогащением карбонатами и карбонатно-железистыми отложениями; II – эутрофные торфоземы на древесном торфе, подстилаемые травяным или осоковым торфом; III – эутрофные торфоземы, развитые на мощном древесном торфе; IV<sub>A</sub>, IV<sub>AT</sub> - торфоземы агроминеральные.

Для торфоземов групп А и В характерны существенные различия в водном режиме. Торфяные почвы группы А хорошо осушены и имеют УГВ в течении вегетационного периода в среднем на глубине 100-120см. В сухие периоды и годы УГВ может опускаться до 140 см и ниже. Такая норма осушения в основном благоприятна для овощных культур. На торфоземах

группы В не всегда обеспечивается необходимая норма осушения для овощных культур. Во влажные годы УГВ может подниматься до 40-60см, в годы с оптимальными климатическими характеристиками

уровень грунтовых вод находится на глубине 80-100см (рис.2). УГВ тесно связан с влажностью почв, от которой зависит способность растений потреблять питательные вещества из почвы.

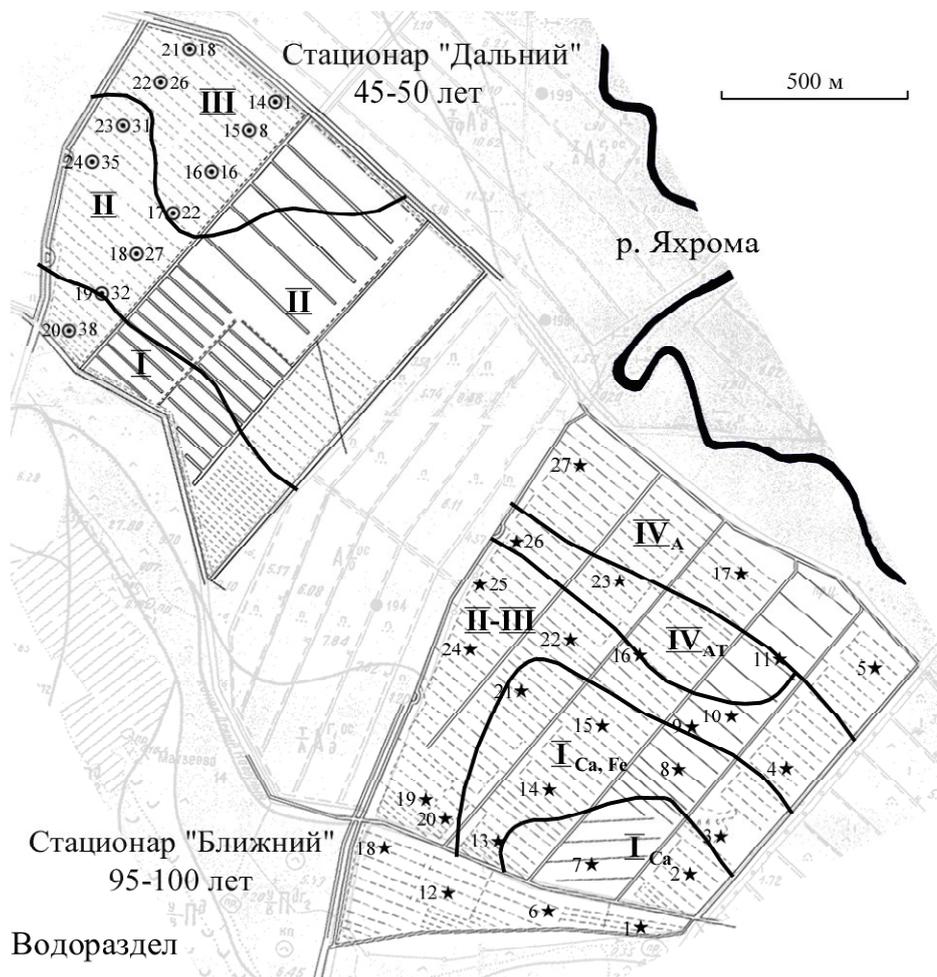


Рис. 1. Карта почвенных разновидностей стационаров ДФ ВНИИМЗ

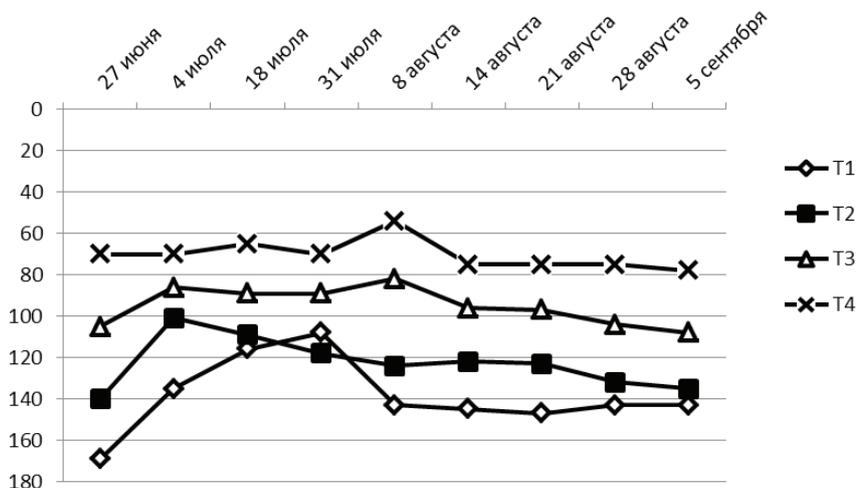


Рис. 2. Динамика уровня грунтовых вод торфяных почв разного ландшафтно-экологического состояния (2007 г.)

Торфоземы Яхромской поймы, сформированные:

- на древесном торфе (Т1), – на разнотравно-древесном торфе (Т2) (центральная часть поймы - пашня);

– на разнотравно-гипновом торфе: Т3 - участки, примыкающие к притеррасной части поймы (пашня), Т4 - притеррасная часть поймы (залежь)

Торфяные почвы группы А являются лучшими не только среди торфоземов Яхромской поймы, но и среди торфяных почв нечерноземной зоны РФ. Они наиболее плодородны, лучше других поддаются окультуриванию. Степень разложения торфа пахотного горизонта обычно высока и достигает 40-60 %. Зольность этих почв находится в интервале 15-30%, хотя в пахотном горизонте может достигать более 30%. Эти почвы богаты азотом (2.17-2.44%). Содержание фосфора зависит от качества грунтовых вод и колебалось после освоения торфяников от 0,48 до 0.54%. Содержание калия в торфяных почвах низкое (0.12-0.18%). Торфоземы этой группы характеризуются слабокислой реакцией почвенного раствора (рН водной вытяжки составляет 5,5-6,5 для стационара «Ближний», для стационара «Дальний» - 5,0-5,5).

Торфяные почвы группы В, сформированные на осоково-гипновых или разнотравно-гипновых торфах имеют значительно меньшее исходное плодородие, более низкое содержание азота. Степень разложения торфа не выше 25-30%. Гумус этих почв биохимически неустойчив и они легче и быстрее, чем сформированные на древесных торфах, подвергаются деградации.

В притеррасной части поймы кислотность торфоземов уменьшается, приближаясь к нейтральной и составляет для стационара «Ближний» 6,5 - 7,5 единиц рН, а для стационара «Дальний» от 6 до 7 единиц. Это связано с тем, что почвы притеррасной части подпитываются выклинивающимися здесь минерализованными карбонатными грунтовыми водами.

Урожай моркови, полученный при однотипных технологиях выращивания этой культуры подтверждает разный уровень плодородия торфоземов групп А и В. Максимальная урожайность моркови характерна для хорошо дренированных торфяных почв центральной поймы (390-557 ц/га), минимальная - для торфоземов, сформированных на разнотравно-гипновых торфах притеррасной части поймы и прилегающих к ней участков (262-361ц/га) - таблица 1.

Таблица 1

**Величина и структура урожая моркови в производственных посевах на торфоземах разного ландшафтно-экологического состояния (2007 г.)**

Гибрид моркови, № квартала	Урожай корнеплодов, ц/га	Товарность, %	Соотношение основной продукции к побочной	Разновидность торфа
Центральная часть поймы.				
«Абликс», VII кв.	514	96,3	5,85	Древесный
«Канада», III кв.	557	94,2	2,98	Древесный
«Каратель», V кв.	552	91,4	2,93	Древесно-осоковый
«Нандрин», VIII кв.	470 – опытно-участок	85,3	5,6	Древесно-осоковый
«Нандрин», IV кв	385	86,3	2,78	Древесный
«Нандрин», VII кв	390	83,5	2,96	Древесный
Участки, прилегающие к притеррасной части поймы				
«Канада», VIII кв	361- опытно-участок	94,7	2,44	Разнотравно-гипновый
«Нектарин», VI кв	328	90,3	3,14	Разнотравно-гипновый
«Нандрин», III кв	262	75,6	1,58	Разнотравно-гипновый

*Оптимизация соотношений фосфора и калия в минеральных удобрениях и эффективность азотных удобрений под морковь на почвах разного ландшафтно-экологического состояния.* Для того чтобы понять, какое количество элементов питания обеспечивает такие высокие урожаи изучалась динамика подвижных форм НРК. Было выявлено, что минимальный урожай корнеплодов был получен при меньшем содержании подвижного фосфора (до 20 мг/100г). При формировании урожая на уровне 450-470 ц/га и выше содержание подвижного фосфора превышало величину 20 мг/100г почвы, а отношение фосфора к калию в почве было минимальным.

Исследованиями предыдущих лет установлено, а 2007-2008 г.г. подтверждено, что при выращивании моркови на хорошо дренированных участках центральной поймы, основное внесение азотных удобрений не эффективно, а порой дает отрицательные результаты. При использовании фосфорно-калийных удобрений отмечена максимальная эффективность их небольших доз при узком отношении Р:К в удобрениях равном 1: 1.5. Подобные исследования не проводились нами ранее на торфяных почвах группы В, т.к. эти участки лучше подходят под залужение из-за периодического избыточного увлажнения и подверженности этих почв излишней деградации. Однако выращивание овощей на участках, прилегающих к притеррасной части поймы все же имеет место. Поэтому в 2007 и в 2008 году нами были проведены исследования по эффективности минеральных удобрений, в том числе и азотных, под морковь на торфяных почвах разного

ландшафтно-экологического состояния и оптимизации соотношений Р : К в туках.

Опытными данными 2007 года было подтверждена эффективность невысоких норм фосфорно-калийных удобрений при узком отношении Р : К = 1:1.5 для хорошо дренированных торфяных почв центральной поймы. Доза удобрений  $P_{40}K_{60}$  обеспечила максимальную прибавку корнеплодов (66 ц/га) и максимальное отношение основной и побочной продукции – 6.38 (табл.2).

На торфяных почвах притеррасной части поймы максимальные прибавки урожая обеспечили фосфорно-калийные удобрения в дозе  $P_{30}K_{60}$  при отношении Р: К, равному 1:2 – (103 ц/га) и некорневая подкормка растений на фоне этой дозы мочевиной (0,5 % р-р) – 127 ц/га.

В условиях очень сырого и холодного лета 2008 года были подтверждены эти данные, хотя, урожай корнеплодов и прибавки урожая были низкими, а наиболее эффективной дозой удобрений была признана минимальная при равных урожайных данных. Кроме того по результатам исследований видно, что проведение почвенных подкормок азотом было не эффективно, а максимальную прибавку обеспечила некорневая подкормка растений моркови мочевиной (табл.3).

*Влияние приемов внесения минеральных удобрений под морковь на урожайность, его структуру и качество продукции.* Несмотря на то, что прием внесения удобрений в рядки не является новым методом, применяется он довольно редко из-за отсутствия соответствующей техники. Мы решили проверить эффективность этого метода, так как при сплошном способе внесения удобрений, значительная их часть используется сорняками.

Таблица 2

**Влияние соотношений Р:К удобрений на их биологическую эффективность**

Внесено, д.в.	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га / %	Товарность, %	Соотношение основной продукции и побочной
Торфяная почва, сформированная на разнотравно-древесных торфах (А)				
0	470	-	85,3	5,60
$P_{30}K_{60}$	508	38 / 8,1	84,8	5,46
$P_{40}K_{60}$	536	66 / 14,0	82,0	6,38
$P_{30}K_{90}$	450	- 20	90,2	5,06
$P_{60}K_{120}$	481	11 / 2,3	89,1	5,59

НСР <sub>05</sub> 62				
Торфяная почва, сформированная на разнотравно-гипновых торфах (В)				
0	361	-	94,7	2,44
P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	464	103 / 28,5	97,4	4,06
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub>	402	41 / 11,4	99,5	2,82
P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	389	28 / 7,8	90,2	2,81
P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>н.к.</sub>	487	127 / 35,2	96,0	2,92
НСР <sub>05</sub> 81				

Таблица 3

**Урожай корнеплодов столовой моркови и его структура на участках, примыкающих к притеррасной части поймы (2008 г.)**

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Товарность, %	Соотношение осн. продукц. к побочной
Контроль б/у	195.6	-	98.2	1.70
P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	223.0	27.4	98.5	1.81
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub>	222.4	26.8	97.1	1.75
P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>30</sub>	223.7	28.1	98.7	1.53
P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>н.к.</sub>	270.5	74.9	91.9	1.65
НСР <sub>05</sub>		37.9		

Учитывая тот факт, что наши торфяники имеют громадный запас семян сорной растительности, а благодаря их высокому плодородию и хорошему обводнению, развитие сорняков является главным препятствием на пути формирования высоких урожаев моркови, т. к. она в первый период вегетации развивается очень медленно. В условиях 2008 года прием внесения удобрений в рядки

был очень эффективным, давая прибавки к контролю 49.8-69.0 ц/га. Максимальную прибавку обеспечила доза P<sub>15</sub>K<sub>30</sub>, что, по-видимому, было связано с высокой влажностью почв и более легким усвоением растениями подвижных форм фосфора. Этот прием позволил нам уменьшить вдвое нормы удобрений, несмотря на неблагоприятные погодные условия (табл. 4).

Таблица 4

**Эффективность внесения удобрений в рядки, 2008г.**

Внесено, д.в.	Урожай, ц/га	Прибавка, ц/га	Товарность, %	Соотношение осн. пр-ии к побочной
0	146.3	-	90.8	1.63
P <sub>15</sub> K <sub>30</sub>	215.3	69.0	94.8	1.65
P <sub>20</sub> K <sub>30</sub>	196.1	49.8	90.5	1.62
НСР <sub>05</sub>		31.9		

Использование современных импортных пневматических сеялок позволяет при посеве моркови укладывать под семена

удобрения в рядок на глубину 5,7 и 10 см. Однако, эти сеялки рассчитаны на внесение больших доз удобрений (300-500 кг/га)

и поэтому для минимизации их норм внесения под морковь не эффективны.

Исследования 20-летней давности, проводимые нами на сортах отечественной селекции в центральной части поймы, говорят о высокой эффективности припосевного внесения суперфосфата, добавленного в небольших дозах к семенам при посеве моркови. Припосевное внесение двойного суперфосфата в дозе 25 кг/га ( $P_{10}$ ), обеспечило не только максимальный урожай моркови (607 ц/га), но и хорошие показатели качества корнеплодов. Даже по сравнению с дозой  $P_{40}K_{60}$ , по нашим данным, наиболее эффективной нормой фосфорно-калийных удобрений под морковь для торфяных почв группы А, эта доза дала прибавку 19 ц/га и обеспечила хорошее качество полученной продукции. Наиболее эффективен этот прием при нехватке влаги в верхнем слое

почвы в начале вегетационного периода, что очень важно для прорастания семян и дальнейшего развития растений, которое на начальном этапе идет очень медленно (табл. 5).

Наши исследования показали, что при выращивании моркови в овощекормовых севооборотах в звене капуста - морковь - свекла минеральные удобрения под морковь можно не вносить, давая необходимые дозы под капусту или ограничиться внесением 25 кг/га двойного суперфосфата при посеве.

Если содержание в почве подвижного фосфора ниже 20 мг/100 г почвы, а обменного калия менее 30 мг на 100г почвы, на участках вне севооборотов, на торфяных почвах группы А под морковь необходимо вносить  $P_{40}K_{60}$ , а на разнотравно-гипновых торфах -  $P_{30}K_{60}$ .

Таблица 5

**Влияние припосевного внесения фосфорных удобрений на урожайность и качество моркови (сорт Шантенэ)**

Внесено удобрений, кг/га д.в.	Урожайность корнеплодов, ц/га	Прибавка к ц/га	Показатели качества продукции		
			Нитраты, мг/кг	Сахара, %	Каротин, мг/ %
0	530	-	125	3.0	14.5
$P_{10}$ при посеве	607	77	58	3.2	15.2
$P_{40}K_{60}$	588	58	87	3.4	15.3

Таким образом, в результате изучения эффективности минеральных удобрений в посевах моркови, связи урожайных данных с содержанием подвижных форм элементов питания и оптимизации соотношений фосфора и калия во вносимых удобрениях предложены приемы минимизации норм удобрений под морковь на торфоземах разного ландшафтно-экологического состояния:

Отказ от основного внесения азотных удобрений и замена почвенных подкормок азотными удобрениями некорневыми подкормками посевов мочевиной (0,5% р-р),

Снижение норм фосфорно-калийных удобрений при низком содержании в почве подвижных форм фосфора и обменного калия за счет оптимизации отношений

Р:К в удобрениях: для торфоземов группы А до  $P_{40}K_{60}$  (Р:К = 1:1.5), для торфоземов группы В до  $P_{30}K_{60}$  (Р:К = 1:2),

Снижение норм основного удобрения вдвое: до  $P_{20}K_{30}$  для торфоземов группы А и  $P_{15}K_{30}$  для торфоземов группы В при внесении удобрений в рядки.

При достаточном содержании в почве обменного калия (равным или более 30 мг на 100 г почвы) и невысоком содержании подвижных форм фосфора (менее 20 мг/100 г почвы) ограничиваться припосевным внесением двойного суперфосфата в дозе 25 кг/га,

Отказ от внесения фосфорно-калийных удобрений под морковь в овощекормовых и овощных севооборотах при их достаточном применении под предшествующие культуры, наиболее требова-

тельные к непосредственному внесению туков (капуста, свекла),

Такой подход к оптимизации питания моркови позволяет получать высокие урожаи корнеплодов этой культуры хорошего качества при снижении доз РК-удобрений в 1,5 – 3,0 раза по сравнению с общепринятыми нормами, обеспечивать окупаемость 1 кг д.в. удобрений при их сплошном внесении в дозе  $P_{30-40} K_{60}$  прибавкой урожая в размере 60-70 кг, при внесении в рядки ( $P_{15-20} K_{30}$ ) – в размере 100-150 кг.

Экологическая значимость разработанных приемов минимизации норм минеральных удобрений под морковь за-

ключается в значительном снижении агрохимической нагрузки на торфяную почву, и как следствие, в предотвращении угрозы загрязнения агрохимикатами почвы и водных источников на мелиорируемых объектах.

#### **Используемая литература:**

1. Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования. / Под общей редакцией проф. Ю. А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 302 с.

## РАЗВИТИЕ ИДЕЙ И.С. КАУРИЧЕВА В ОБЛАСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ

*И.М. Яшин, А.Д. Кашанский*  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Иван Сергеевич Кауричев был талантливым педагогом, прекрасным организатором и оригинальным исследователем. Он активно развивал межфакультетские и межвузовские изыскания в Тимирязевской академии. Был членом редколлегии журналов «Почвоведение» и «Известия ТСХА». Участвовал в международных съездах почвоведов и встречах с зарубежными коллегами из Болгарии, Венгрии, Польши, Белоруссии, Румынии, США и других стран. Поддерживал творческие связи с ведущими отечественными и иностранными учеными – А.А. Роде, И.П. Герасимовым, С.В. Зонном, И.С. Шатиловым, П.П. Вавиловым, Г.В. Добровольским, Л.Н. Александровой, Д.С. Орловым, А.Н. Каштановым, Ф.Р. Зайдельманом, Т.Н. Аристовской, М.М. Кононовой, И.Я. Забоевой и др. Заботливо опекал почвенно-агрономический Музей имени В.Р. Вильямса и Почвенно-геоботаническую экспедицию Тимирязевской академии, направляя сюда студентов на практику. Нередко с теплотой вспоминал своего учителя Сергея Петровича Яркова. «Сергей Петрович - говорил И.С. Кауричев - научил меня брать ответственность на себя». Авторы данной статьи - ученики И.С. Кауричева.

И.С. Кауричеву удалось сформировать самобытную научную школу, и она продолжает работать, развивая идеи учителя. Учениками Ивана Сергеевича являются выдающиеся исследователи в области почвоведения и экологии – профессора М.А. Лыков, Л.Л. Шишов, В.О. Таргульян, И.А. Соколов, А.Д. Фокин, В.И. Савич, А.И. Карпухин, В.Д. Наумов, Н.Ф. Ганжара, В.Г. Ларешин, Л.П. Степанова и другие.

Научные исследования и преподавание в высшей школе он считал единым процессом. К студентам и аспирантам от-

носился доброжелательно и требовательно. Увлекался политикой и общественной работой. «Научная концепция должна углубляться в дискуссиях, никто не вправе брать на себя роль «абсолютного критика» – как-то сказал Иван Сергеевич. И далее: «при работе с литературой отдавайте предпочтение авторам ведущих научных школ».

В статье рассматриваются некоторые научные идеи И. С. Кауричева в области теоретического почвоведения и экологии:

Унификация и применение метода сорбционных лизиметров (МСЛ) в почвенно-экологических изысканиях;

Разработка и обоснование *концепции биогенного кислотообразования* в фациях таежной зоны;

*Экологическая оценка загрязнения экосистем* ионами тяжелых металлов;

Дальнейшее углубление *концепции глее- и подзолообразования*.

Рассмотрим 1-й вопрос из научного наследия. Известно, МСЛ был разработан И.С. Кауричевым и Е.М. Ноздруновой в 1959 году. Сорбентами в колонках были  $Al_2O_3$  и ионообменные смолы – катионит КУ-2  $H^+$  форме и анионит АВ-17 в  $OH^-$  форме. Метод активно использовался И.С. Кауричевым при изучении общего масштаба миграции водорастворимых органических веществ (ВОВ), а также комплексных Fe- Al-органических соединений в лесных, луговых и аграрных экосистемах Европейского Севера России. К апробации МСЛ он привлекал специалистов из Почвенного института имени В.В. Докучаева, МГУ имени М.В. Ломоносова, Воронежского университета и др. учреждений. С 1967 г. подобные стационарные исследования начали проводить и авторы статьи: в Подмоскovie (стационары «Белый Раст», учхоз «Михайловское»), в Архангельской области, Республиках Карелия и Коми [1].

А.Д. Кашанским (1972) были предложены и апробированы конструкции лизиметров для учета боковой и восходящей водной миграции ВОВ в профилях подзолистых почв. И.М. Яшин (1973) разработал новую конструкцию сорбционного лизиметра: вместо коротких и широких колонок применил цилиндрическую колонку из инертного материала, заполненную слоями чистого кварцевого песка и частицами активированного угля. Она с помощью вакуумного шланга соединялась с широким лотком для сбора лизиметрических вод почвы. Другой шланг выводился из полиэтиленового сосуда (на 5 л) – приемника вод на поверхность почвы. Такая конструкция позволяла аккумулировать большие массы ВОВ на угле и получать их препараты. В дальнейшем на основе результатов полевых и лабораторных опытов нами было установлено, что оксид алюминия целесообразно применять, главным образом, для оценки общего масштаба миграции ВОВ с кислотными и комплексообразующими свойствами, так как часть их массы необменно сорбируется оксидом алюминия. ВОВ нельзя затем вытеснить полностью с сорбента ни водными растворами кислот, ни водными растворами щелочей.

Авторами были проведены системные модельные лабораторные опыты по изучению кинетики, статистики и динамики сорбции компонентов ВОВ на низкозольном активированном угле «карболен» и оксиде алюминия. Активированный уголь, как сорбент, оказался более емким и с обратимым характером сорбции в отношении ВОВ, которые в значительных количествах выщелачиваются из лесных подстилок таежных фаций атмосферными осадками, в сравнении с оксидом алюминия. Затем данный сорбент нами широко применялся в опытах с учетом сведений W. Forsyth (1947). Более полно был изучен состав ВОВ, и выделены из них группы индивидуальных и специфических (фульвокислот) органических веществ (И.М. Яшин, 1973, 1993).

В длительных полевых опытах было установлено, что при движении из подзоны северной тайги к южной в составе ВОВ почв подзолистого типа закономерно увеличивается доля ФК – устойчивых

и специфических водорастворимых органических соединений. При этом гуминовые высокомолекулярные органические вещества в почвенных растворах северной и средней тайги не обнаруживаются. Причина – кислотный гидролиз молекулярных структур органических веществ и дефицит в подзолистых почвах ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и азота.

МСЛ не позволял строго количественно контролировать миграционные процессы. Одной из главных причин являлась сама почва, имеющая гетерогенный гранулометрический состав и неоднородное сложение. Поэтому фильтрация влаги и водорастворимых веществ по профилю почв иная в сравнении с колонками почвы в лабораторных условиях. Параметры миграции веществ в почвах подзон тайги до сих пор обоснованы неполно. Векторы миграции веществ не однонаправленные, а ориентированы по-разному, исходя из рельефа местности, характера почвообразующих пород и генезиса самих фаций. На вертикальный нисходящий поток веществ, имеющий пики весной и осенью, накладываются восходящие и боковые миграционные потоки. При этом каких-то придержек параметров миграции по подзонам тайги, типам леса и угольям получить не удавалось. Опытные данные в реальных почвах сильно варьируют. Нужно было решить задачу, связанную с мобилизацией в раствор из твердой фазы растительных остатков компонентов ВОВ: узнать в реальных условиях почвы и экосистемы масштаб мобилизации ВОВ с кислотными свойствами.

Нами был разработан модифицированный вариант метода сорбционных лизиметров (СЛ). С его помощью были изучены коэффициенты мобилизации  $k_{\text{моб}}$   $\text{C}_{\text{орг}}$  ВОВ из некоторых органогенных субстратов – хвои ели, листьев дуба и др., а также ионов кальция и тяжелых металлов, в частности, из порошка доломита и фосфоритной муки (И.М. Яшин и др., 1989).

$k_{\text{моб}}$  ВОВ для условий Ю-3 Подмосковья в смешанном лесу составил 3% или 30 г на 1 кг субстрата (опыты с радиоактивным изотопом  $^{14}\text{C}$ ). При запасе лесной подстилки 2,5 кг/м<sup>2</sup> в раствор за 1 год мобилизуется порядка 75 г/м<sup>2</sup>  $\text{C}_{\text{орг}}$ . И это без

корневых выделений и смывов с вегетативных органов атмосферными осадками. В одном из опытов под кроной ели вынос ВОВ составил более  $100 \text{ г/м}^2 \text{ C}_{\text{орг}}$ . Только масштабный нисходящий поток ВОВ способен вызвать активную химическую трансформацию почвенных минералов. Только ВОВ с кислотными и комплексообразующими свойствами осуществляют мобилизацию в раствор ионов металлов, формирование комплексных соединений и их усвоение биотой. В этой связи нами охарактеризованы экологические функции ВОВ – педогенная, гидро- и биогеохимическая. Вообще, МСЛ в настоящее время находит применение в водоохраных зонах рек, водохранилищ, озер России для оценки их безопасности.

«МСЛ – золотая жила» - шутливо отмечал И.С. Кауричев.

МСЛ можно использовать и для изучения биогеохимических потоков мигрантов в вегетационном опыте. Особенно эффективен МСЛ при сочетании с методом радиоактивных индикаторов. В перспективе совершенствование МСЛ, на наш взгляд, связано с использованием в них технических устройств (микрочипов) и передачей экспериментальных данных на компьютер.

Такие устройства необходимо устанавливать вблизи складирования разного рода твердых бытовых отходов (ТБО), свалок, полигонов и карьеров. Например, в зоне водозабора (на острове Пустошь дельты реки Сев. Двина) г. Архангельска нами в 1987 – 1989 гг. с помощью МСЛ отмечены повышенные концентрации ионов ТМ и ВОВ в речной воде. И уже в 1995 г. специалистами Архангельского технического университета была создана промышленная установка для очистки воды для пищевых целей. Рассмотрим 2-ю идею И.С. Кауричева.

2. Разработка и обоснование концепции биогенного кислотообразования в экосистемах таежной зоны [2].

Данный вопрос нами рассматривался еще в 1986 году совместно с И.С. Кауричевым и В. А. Черниковым, у которого один из авторов начал работать на кафедре физической и коллоидной химии в группе диагностики гумусового состояния почв



*Рис. 1 Дипломница кафедры экологии Наумова Елена устанавливает сорбционные лизиметры в профиле подзола на двучленах в таежном лесопарке Петрозаводска (фото И.М. Яшина, 2009).*

(вплоть до защиты докторской диссертации в 1993 г.). И вот там у нас впервые возникла мысль о «биогенной кислотности». Она отражает один из экологических механизмов адаптации групп живых организмов к неблагоприятным экологическим условиям в зоне тайги. Компоненты ВОВ с кислотными свойствами не только мобилизуют в раствор ионы ТМ, но и при комплексообразовании инактивируют их токсичные свойства.

При водной миграции происходит *периодическое самоочищение почв* в латеральной цепи элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ). Важно отметить, что кислотность мы рассматривали не только на уровне подзолистой почвы (как компонента таежной экосистемы), но и *на экосистемном уровне*. Это более полное понимание экологической ситуации в лесной экосистеме. Кислотность через процессы мобилизации и водной миграции ВОВ в таежных лесах создается *самой таежной экосистемой*. В агроэкосистемах экологическая ситуация с кислотностью совершенно иная. Здесь кислотность реализуется на уровне почвы, а роль биоты крайне слабая: культурные растения возделываются 2-3 месяца в году. Здесь преобладают оглеение, выщелачивание и деструкция гумусовых веществ микроор-

ганизмами: мало опада и нет лесной подстилки – источника ВОВ. Поэтому травосеяние в агроэкосистемах обязательно.

Поскольку многие почвоведы были ориентированы и долго исследовали почвы агроландшафтов, подобный экологический подход к оценке кислотности их озадачивал. То есть один из важнейших факторов почвообразования (биота) – по В.В. Докучаеву – в аграрных почвах, в принципе, утрачен. Возникает вопрос: а является ли почвой природное тело без растительности, которая почву и создала за сотни лет? Или это уже почвоподобное тело с иными экологическими функциями? Почему это важно обсудить? Часто земледельцев критикуют за снижение уровня плодородия почв, ухудшение гумусового состояния и пищевого режима. А дело ведь в глобальном естественном векторе деградации почвы, оказавшейся распаханной и без защиты – растительного покрова.

Накопленный фактический материал позволяет рассматривать разнообразные компоненты ВОВ с кислотными свойствами в качестве целевых (необходимых) мобильных продуктов, отражающих специфику функционирования таежных экосистем и взаимосвязь ведущих биосферных процессов - *фотосинтеза и гумусообразования*.

3-й вопрос нашего сообщения: «Экологическая оценка загрязнения экосистем ионами тяжелых металлов» [1, 2].

В длительных стационарных опытах на ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в таежном лесопарке Петрозаводска и в Архангельской области установлено, что оторфованные лесные подстилки, с одной стороны, являются весьма емкими поглотителями ионов металлов, сажи, частиц пыли и влаги, а с другой – источниками ВОВ и ионов ТМ, загрязняя грибы и ягоды. Лесные подстилки выступают мощными органогенными сорбционными барьерами миграции. Движущими силами водной миграции ионов ТМ в подзолах на двучленах являются высокая кислотность, оглеение по всему профилю почв на вырубках, устойчивая мобилизация ВОВ в раствор и застойно-промывной водный режим почв.

В крупных городах мусоросжигательные заводы и ЦБК являются источниками ртути, диоксинов и бенз[а]пирена. Важную роль в этих процессах играют аэральные выпадения «кислотных дождей», сажи, пыли, которые можно оценить при снеговой съемке или с помощью методов биоиндикации поврежденных растений и почвенных живых организмов.

В изменении экологического состояния почв и экосистем участвуют антропогенные и природные (эколого-геохимические) факторы. Их аддитивное действие заметно *интенсифицирует исчезновение многих видов растений и животных в ландшафтах земного шара*. Недаром уже заведены «Красные книги». Патогенные микроорганизмы получают *более быстрый доступ* к человеческой популяции, минуя биологические барьеры иных живых организмов.

Для оценки загрязнения, например, почв ТМ применяется показатель загрязнения почвы  $J_{\text{зн}}$  по числу изученных ТМ (по Ю. Саету, 1986-1989). Недостаточно С экологических позиций этого уже недостаточно.

Нами предложена иная (*интегральная*) формула расчета, в которой отражены фактические данные по изучению ионов ТМ в загрязненных компонентах экосистемы: почвы, биоты, воздуха – оценка аэральных выпадений (по снеговой съемке), а также масштаб водной миграции загрязнителей (отчуждаемую массу мигрантов). Причем, вместо выражения  $(n-1)$  мы вводим другой математический параметр:  $(1+(n/n-1))$ . Он равен примерно 2 и его следует прибавлять к индивидуальному коэффициенту при оценке загрязнения выше указанных компонентов экосистемы.

В отличие от формулы Ю. Саета нами при диагностике загрязнения биоты рассчитываются индивидуальные коэффициенты биогенного накопления  $k_{\text{он}}$  загрязнителей - в растениях, опаде, слоях лесной подстилки и корнях, которые суммируются и получается общий коэффициент биогенного накопления  $k_{\text{он}}$  ионов ТМ в биоте.

В подзолах, развитых на двучленных породах, содержание ионов ТМ учитывается *не в одном (верхнем) горизонте*,

как при агрохимических изысканиях, а во всем профиле мини подзола (данная масса почвы активно участвует в биогеохимическом круговороте – биогенной и водной миграции). Предлагаемая нами *интегральная оценка* химического загрязнения экосистемы по индексу суммарного загрязнения компонентов экосистемы ТМ рассчитывается по выражению:

$$J_{\text{зз}} = \Sigma k_{\text{зб}} + (1 + (n/n-1)) + \Sigma k_{\text{зп}} + (1 + (n/n-1)) + \Sigma k_{\text{зс}} + (1 + (n/n-1)) + \Sigma k_{\text{кмнг}} + (1 + (n/n-1))$$

где  $J_{\text{зз}}$  – индекс суммарного загрязнения экосистемы (по количеству изученных ее компонентов – почв, растительности, вод, снега, водной миграции),

$\Sigma k_{\text{зб}} + (1 + (n/n-1))$  – суммарный коэффициент химического загрязнения биоты (растений, лесной подстилки, растительного опада и корней), например, ионами тяжелых металлов (ТМ) -  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ; здесь  $n = 9$ ; данный коэффициент определяется при изучении биогенной продуктивности экосистем,

$\Sigma k_{\text{зп}} + (1 + (n/n-1))$  – суммарный коэффициент химического загрязнения почвы, как компонента и продукта экосистемы, теми же ТМ,

$\Sigma k_{\text{зс}} + (1 + (n/n-1))$  – химическое загрязнение снега аэральными выпадениями в условно абиотический период (при очень слабых эвапотранспирации и фотосинтезе в зоне тайги); концентрацию экотоксикантов в талой воде следует умножить на массу воды (согласно запасам снега на  $1 \text{ м}^2$ ), чтобы получить искомую массу загрязнителей на единице площади. Выделяют растворимые формы, например ТМ, и остающиеся на плотном бумажном беззольном фильтре (взвеси). Эти сведения важны при оценке миграционных параметров экотоксикантов в профиле почвы,

$\Sigma k_{\text{кмнг}} + (1 + (n/n-1))$  – суммарный коэффициент водной миграции и химического загрязнения лизиметрических вод почвенного индивидуума экосистемы. Он отражает долю наиболее миграционно способных форм экотоксикантов. Для ионов ТМ – это органо-минеральные комплексные соединения. Возможен также их вынос в составе коллоидов переходных

металлов под «защитой» компонентов ВОВ с кислотными свойствами.

$k_{\text{мнг}}$  определяют с помощью метода сорбционных лизиметров. Учитывать необходимо также коэффициент мобилизации  $k_{\text{моб}}$  химических элементов в реальной экосистеме из твердой фазы в растворимое состояние. Напомним, ТМ в форме оксидов практически не токсичны для биоты.

По эффекту воздействия на биоту, почвы и экосистемы токсичные химические элементы, содержащиеся в техногенных продуктах, могут быть дифференцированы на две группы: первая – биогеохимически активные соединения. Вторая – трофические мигранты [2].

В первом случае техногенные продукты, сорбируясь гумусом, коллоидами и вторичными минералами генетических горизонтов почв, изменяют кислотно-основные параметры, окислительно-восстановительный потенциал, соотношение металлов по фракциям гуминовых и фульвокислот и т.д. Эти изменения в основном вызывают элементы с *высокими Кларками* и слаботоксичные –  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  и анионы сильных и слабых минеральных кислот. Со временем и эти компоненты могут вызывать нарушения природных экосистем, что отразится на микрофлоре и почвенных животных.

Во втором случае на почву *действуют высокотоксичные элементы (и вещества):*  $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , диоксины, опасность влияния которых реализуется не столько в изменении свойств почв, сколько в их биогенной миграции, попадании, например, в трофические цепи и живые организмы, где они аккумулируются и вызывают негативные изменения в биохимических реакциях, циклах обмена веществ и энергии. Диагностика степени и характера их воздействия на биоту все еще разрабатывается. Хотя медики давно отмечают высокий уровень корреляции тех или иных заболеваний людей в зависимости от характера производств, их мощности, наличия (или отсутствия) очистных сооружений, реализации природоохранных мероприятий.

4-й вопрос: «Дальнейшая разработка концепции глее- и подзолообразования».

Ещё недавно почвы таёжной зоны, как и процессы почвообразования, были ясными и понятными. Но уже при детальном картировании почвенного покрова на стационарах нативных и аграрных фаций тайги в М 1: 500 были выявлены новые, ранее не известные факты, порой трудно объяснимые. Наряду с доминантами были диагностированы сопутствующие типы и подтипы почв, генезис и функции которых ещё требуют обоснования. Точная оценка результатов почвенного картирования осложнялась также *неоднородным сложением почвенных профилей: в ландшафтах Европейского Севера России* очень широко распространены двучленные породы и подзолы на двучленах. Эти генетические образования в пределах первого метра состоят из двух разнокачественных наносов – нижнего тяжелосуглинистого субстрата (водоупора, включающего камни, валунчики и хрящ) и верхнего песчано-супесчаного, мощность которого колеблется от 53 до 82 см. На подобных породах и сформировались своеобразные почвы с элювиально-иллювиальной дифференциацией илистых частиц, химических элементов и фульвокислот. Ряд авторов называет их глинисто-дифференцированными почвами (ГДП), но единства взглядов на генезис подобных почв пока не достигнуто.

Процессы глее- и подзолообразования в подзолах, развитых на двучленах, хранят ещё много загадок. Некоторые из них мы дальше попытаемся охарактеризовать. Важно использовать данную информацию при построении классификации почв ЕТР.

*Первая из них*, как ранее отмечено, связана с периодической сезонной вуализацией (маскировкой) белёсого подзолистого горизонта в серый цвет водорастворимыми органо-минеральными комплексными соединениями Fe и Mn, мигрирующими из лесной подстилки. Впервые данный эффект отметил В.О. Таргульян, затем об этом говорил Л.О. Карпачевский. Экологические аспекты этого механизма нам пока неясны.

*Вторая обусловлена* современной трансформацией веществ иллювиально-железистого горизонта (коллоидов гидрогелей гидроксида Fe) под влиянием

мигрантов - ВОВ с кислотными свойствами. Экологическая природа этого явления также пока неясна, но в полевых опытах выявлено, что она имеет сезонный характер: в засушливые летние месяцы идёт активная минерализация растительного опада, а нисходящий масштаб миграции ВОВ из лесной подстилки оказывается незначительный. В этом случае воздействие кислотных компонентов ВОВ на коллоиды гидрогелей гидроксида железа в горизонте  $V_f$  оказывается слабым: ВОВ здесь аккумулируются. Наряду с этим в засушливый сезон в подзоле возможно *восходящее подтягивание влаги вместе с гидрозолями  $Fe(OH)_3$ , которые, осаждаваясь на частицах песка горизонта E, маскируют его в бурый цвет*. Такой окрас почвы нередко воспринимается почвоведом как новый тип почв – бурозем. Это, конечно, нонсенс. Просто протекает сезонная трансформация соединений железа в профиле микро подзола. Известно, что буроземы широко распространены в Закарпатье. В их суглинистом профиле наблюдается оглинивание на глубине 49-67 см.

В дождливые летние периоды (они наиболее типичны для тайги, как и оглеение почв), а также осенью и весной резко увеличивается мобилизация ВОВ в раствор из лесной подстилки, а масштаб их водной миграции в почве достигает максимума. При избыточной сорбции компонентов ВОВ коллоидами  $Fe(OH)_3$ , гор.  $V_f$  наблюдается *биогеохимическая мобилизация* в почвенный раствор ионов железа, формирование устойчивых и мобильных Fe-фульватных комплексов, и их миграционное перераспределение в профиле двучлена. В результате иллювиально-железистый горизонт  $V_f$  может полностью в профиле «исчезнуть», а под лесной подстилкой образуется очень мощный белёсый горизонт, нередко смыкающийся с контактно-осветлённым аналогом. В этом случае почву можно ошибочно диагностировать как сверхмощный подзол.

На самом деле и в том, и в другом случае была одна и та же почва, в которой реализуется сезонная динамика различных форм соединений железа. Указанные факты не дают основания для выделения

в зоне тайги бурых почв (и буроземов) и мощных подзолов на двучленах. Стационарные исследования позволяют уточнить данные вопросы и ограничиться при диагностике минимумом типов почв.

*Третья загадка* связана с уникальной ролью веществ контактно-оглеенного горизонта, являющегося своеобразной «фабрикой» коллоидов Fe, Al, Mn, Si, которые участвуют в цементации вышележащего песчаного профиля микроподзола в засушливые сезоны. Коллоиды Fe, Al, Mn, Si играют важную роль как в восходяще-нисходящих миграционных процессах, сорбции мигрантов, так и в структурной матричной организации мелкозёма подзолов. Эти явления пока обоснованы неполно и требуют экспериментального подтверждения.

На склонах холмов и увалов тайги по контактно-осветлённому горизонту наблюдается активный латеральный перенос мигрантов к местным базисам эрозии, где наблюдается масштабная аккумуляция мигрируемых химических соединений. Образуются плитки, желваки и крупные Fe, Mn конкреции. Коллоидные формы переходных металлов активно сорбируют ВОВ и ионы иных мигрантов. Получается в массе мелкозёма ТМ очень мало, а в конкрециях – их на порядок больше. Значит, нужно правильно отбирать образцы почв руками и делать не смешанные, а индивидуальные пробы. Тем более нельзя отбирать пробы буром.

Рассмотрим кратко экологические аспекты, а также уровни реализации глее- и подзолообразования в экосистемах южной и средней тайги.

*Подзолообразование* охватывает самый высокий - экосистемный уровень - *биогеохимический круговорот* (биогеогенную и абиотическую миграцию), а оглеение – это горизонтный почвенный биохимический процесс, протекающий с участием анаэробных микроорганизмов. Он связан с трансформацией почвенных минералов, формированием коллоидов и органоминеральных соединений Fe, Mn при обязательном присутствии компонентов ВОВ. Оглеение может выступать в качестве ускорителя подзолообразования, если в почвах таёжной экосистемы

имеется временный (сезонный) избыток влаги.

*Глее- и подзолообразование* являются самостоятельными почвенными процессами и характеризуются разными движущими силами и продуктами почвообразования. В определённых условиях возможно их совместное проявление на уровне почвенно-экологического процесса.

В почвах агроландшафтов тайги (на сельскохозяйственных угодьях) ведущее место занимает глееобразование, а оподзоливание становится *сопутствующим процессом*. Большой фактический материал, накопленный отечественными и зарубежными специалистами, позволил сформулировать следующие гипотезы подзолообразования: коллоидно-химическая, физико-химическая, биохимическая, биогеохимическая. Каждая из них имеет свои сильные и слабые стороны.

Концепции, основанные на лабораторном моделировании, излишне преувеличивали, например, роль угольной кислоты в разрушении почвенных минералов. Угольная кислота очень слабая и не может составить конкуренции ни органическим кислотам, ни тем более ФК. Несмотря на это в учебниках по химии этот нонсенс все еще остается.

*Указанные выше гипотезы дополняют друга*, позволяя осмыслить этапы познания почв и процессов почвообразования. В частности, несмотря на различия представлений о механизмах оподзоливания, установлено, что профиль ТДП формируется благодаря кислотному гидролизу почвенных минералов в элювиальном песчаном наносе и перераспределению продуктов в нижних горизонтах.

При этом существуют три точки зрения на механизмы перераспределения мигрантов.

Первая – внутрiproфильная водная миграция веществ в растворах;

вторая – биогенная миграция – вовлечение химических элементов в биомассу биоты;

и третья – биогеохимическая миграция, которая включает первые два механизма.

Сравнительная оценка процессов глее- и подзолообразования показала

их своеобразии и тесную генетическую взаимосвязь с экологическими функциями почв таёжной зоны. Так, биогеохимические функции, связанные с трансформацией и миграцией веществ (водной и биогенной) при подзолообразовании реализуются на уровне экосистемы, а оглеение охватывает более низкий уровень – почвенный (горизонтный). Ландшафтно-геохимические условия проявления рассматриваемых процессов также различные: при подзолообразовании участвуют самые различные ЭГЛ – от автономного до транс-аккумулятивного.

Оглеение проявляется преимущественно в местах избыточного увлажнения – супер-аквальных и аккумулятивных ЭГЛ.

Почвенно-геохимические барьеры, участвующие в реализации процессов глее- и подзолообразования заметно

различаются. При подзолообразовании участвуют биогеохимический барьер миграции, карбонатно-кальциевый, кислотный, окислительный, сорбционный. А при оглеении – глеевый барьер миграции, глеевый сероводородный, сорбционный.

#### **Литература:**

1. Яшин И.М., Кашанский А.Д., Петухова А.А., Когут Л.П. Ландшафтно-геохимическая диагностика почв Европейского Севера России. М.: РГАУ-МСХА. 2012. – 158 с.

2. Яшин И.М., Васенев И.И., Валентин Рикардо и др. Исследование влияния почвенной биогенной кислотности на подзолообразование // Известия ТСХА. 2012. Вып. 6. – С. 142 – 158.

3. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА. 2013. – 183 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф.</i> Легкоразлагаемое органическое вещество почв зонального ряда Европейской части России .....	3
<i>Зайдельман Ф.Р.</i> Вклад профессора И.С. Кауричева в познание подзоло- и глееобразования и современное состояние проблемы .....	11
<i>Игнатьев Н.Н., Истомина Г.Н., Бирюков О.А.</i> Особенности поглощения свободного кислорода системой почва-растение.....	16
<i>Касатиков В.А., Черников В.А., Раскатов В.А.</i> Влияние осадков городских сточных вод и вермигумата на агроэкологические свойства и органическое вещество дерново-подзолистой супесчаной почвы .....	19
<i>Комаревцева Л.Г., Щукин С.В.</i> Направленность процессов почвообразования в дерново-подзолистой почве при разном использовании.....	29
<i>Копейкина И.Н.</i> Воспоминания о В.Р.Вильямсе .....	41
<i>Лазарев Н.Н.</i> Развитие научных исследований по луговодству в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева от В.Р. Вильямса до наших дней .....	49
<i>Мазиров М.А., Савоськина О.А., Беленков А.И.</i> Длительный полевой опыт и опыт ЦТЗ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: итоги исследований и перспективы .....	54
<i>Мамонтов В.Г., Козут Б.М.</i> Агрогенная трансформация лабильных форм гумуса черноземов (содержание, состав, химическая природа, свойства.....	64
<i>Окорков В.В.</i> Взаимодействие известковых удобрений и гипса с поглощающим комплексом кислых почв .....	75
<i>Раскатов В.А.</i> Структурно-функциональная оценка гумусовых соединений почв на разных уровнях их организации .....	83
<i>Рунов Б.А.</i> Потенциальное обеспечение и рациональное использование травопольной системы .....	88
<i>Смарыгин С.Н., Савич В.И., Никиточкин Д.Н.</i> Оценка окислительно-восстановительного состояния почв.....	92
<i>Широкова Е.В., Поздняков А.И., Магарышкина Л.С.</i> Пути снижения агрохимической нагрузки на торфоземы разного ландшафтно-экологического состояния .....	98
<i>Яшин И.М., Кашанский А.Д.</i> Развитие идей проф. И.С.Кауричева в области теоретического почвоведения и экологии.....	105

*Научное издание*

СБОРНИК ДОКЛАДОВ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ  
150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
АКАДЕМИКА В.Р. ВИЛЬЯМСА  
И 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
И.С. КАУРИЧЕВА

03 – 05 декабря 2013 г., Москва

Ответственный за выпуск *Н.Е. Арестова*

Компьютерная верстка, оригинал-макет – *Я.М. Ильина*

Обложка – *Я.М. Ильина*

Подписано в печать .2014 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>  
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Усл. кр.-отт. .  
Тираж экз. Изд. №. Зак. .

Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева  
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44  
Тел.: 977-00-12, 977-26-90, 977-40-64