

## АГРОНОМИЯ

### ОЦЕНКА И ДИНАМИКА РЕСУРСОВ ЧЕРНОЗЁМОВ И СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю.П. Сухановский, А.В. Прущик, С.И. Санжарова

**Аннотация.** Для урожайности зерновых и пропашных культур на чернозёмах и серых лесных почвах Курской области предложена зависимость: среднеголетняя урожайность прямо пропорциональна запасам гумуса в слое почвы 0-50 см (при прочих равных условиях). По фактическим данным проведена проверка этой зависимости для сельскохозяйственных угодий двух административных районов Курской области: Медвенского (почва - чернозёмы) и Дмитриевского (серые лесные почвы). Результаты проверки подтвердили справедливость предложенной зависимости. По аналогии с другими природными ресурсами для оценки почвенных ресурсов использованы три параметра: площадь пашни и мощность гумусового горизонта, которые оценивают количество почвы, и запасы гумуса, оценивающие качество почвы с позиции производства растениеводческой продукции. Проведена оценка тенденции сокращения почвенных ресурсов с начала освоения целины до 1970 – 1980 годов. В результате сделан вывод о необходимости государственной стратегии рационального использования оставшихся почвенных ресурсов.

**Ключевые слова:** почвенные ресурсы, качество почвы, оценка и динамика ресурсов, чернозёмы, серые лесные почвы, Курская область.

В мире существуют две тенденции: сокращение почвенных ресурсов и увеличение численности населения. На рисунке показана динамика роста населения (Википедия; Большая Советская Энциклопедия; ДЕМОСКОП Weekly, 2009) и снижения количества пашни в мире, приходящейся на одного человека (Кайгородцев, 2006; Экология, охрана...) (для 2050 года приводятся прогнозируемые значения). В мире уже утрачено более 2 млрд. га плодородных земель, это больше, чем вся площадь земледелия современного человечества (Добровольский, 2012). В результате эрозии площадь пашни в мире ежегодно сокращается на 0,4% (Кирохина, Пацукевич, 2004). В настоящее время от голода страдает почти один миллиард человек, то есть каждый седьмой житель планеты (Глобальный стратегический..., 2012). Указанные тенденции не могут продолжаться бесконечно. Это означает, что в будущем существует опасность глобального кризиса. Чтобы его избежать, необходимо, в частности, уметь прогнозировать динамику почвенных ресурсов и своевременно принимать меры.

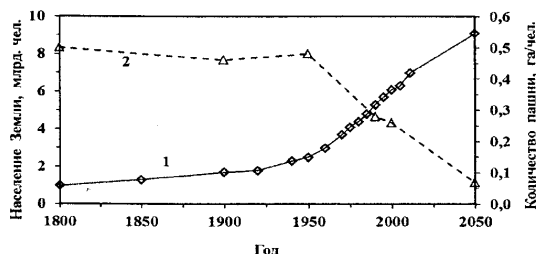


Рисунок 1 – Динамика населения Земли и количества пашни на одного человека: 1 – население Земли; 2 – количество пашни на человека

Приблизённо оценим, насколько должна увеличиться урожайность сельскохозяйственных культур с 2011 до 2050 года. Для 2011 года введём следующие переменные:  $N_{2011} = 7$  млрд. человек – количество населения в мире;  $S_{2011} = 0,22$  га/чел. – количество пашни на одного человека (рассчитано по линейной интерполяции между 2000 и 2050 годами);  $Y_{k,2011}$  – урожайность  $k$ -й культуры;  $P_{k,2011}$  – доля площади пашни, занятая  $k$ -й культурой;  $M_{k,2011}$  – количество продукции  $k$ -й культуры, произведённой на одного человека.

Аналогично для 2050 года:  $N_{2050} = 9,1$  млрд. человек;  $S_{2050} = 0,07$  га/чел.;  $Y_{k,2050}$ ;  $P_{k,2050}$ ;  $M_{k,2050}$ . Оценим необходимое увеличение урожайности для следующих условий: а) количество продукции на одного человека в 2050 году должно быть таким же, как в 2011 ( $M_{k,2050} = M_{k,2011}$ ); б) доли площади пашни, занятые  $k$ -й культурой, также будут одинаковыми ( $P_{k,2050} = P_{k,2011}$ ). Для этих условий при росте населения и сокращении площади пашни

$$\frac{Y_{k,2050}}{Y_{k,2011}} = \frac{S_{2011}}{S_{2050}} = \frac{0,22}{0,07} = 3,1. \quad (1)$$

Учитывая, что в 2011 году каждый седьмой житель планеты голодал, то повышение урожайности должно быть ещё больше.

Если площадь пашни не будет изменяться ( $S_{2011} = S/N_{2011}$ ,  $S_{2050} = S/N_{2050}$ , где  $S$  – вся площадь пашни), то из (1) следует, что увеличение урожайности только за счёт роста населения должно быть равным

$$\frac{Y_{k,2050}}{Y_{k,2011}} = \frac{N_{2050}}{N_{2011}} = \frac{9,1}{7} = 1,3. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что необходимое увеличение урожайности только за счёт сокращения площади пашни должно быть равным  $3,1/1,3 = 2,4$ , т.е. сокращение пашни приводит к необходимости повышать урожайность быстрее, чем рост населения. Возникает вопрос: реально ли такое увеличение урожайности без ущерба для здоровья населения?

Деградация почвы приводит не только к сокращению площади пашни, но и к снижению урожайности культур. Это необходимо учитывать в оценке почвенных ресурсов и их динамики.

Природные ресурсы оцениваются количеством и качеством. Качество оценивается с позиции получаемой продукции: чем больше производится продукции на единицу ресурсов, тем выше их качество. Например, количество железной руды оценивается тоннами, а качество – содержанием в ней железа: чем больше содержится железа, тем больше можно получить металла из одной тонны руды. Количество почвы, используемой для производства растениеводческой продукции, оценивается площадью пашни и мощностью гумусового горизонта. Качество почвы должно оцениваться количеством продукции, получаемой с единицы площади, т.е. урожайностью. Урожайность зависит не только от почвы, но и от других факторов: от сельскохозяйственной культуры, технологии её возделывания, климатических условий. Следовательно, нужна такая измеряемая характеристика почвы, от которой зависит урожайность при разных сочетаниях других факторов, включая типы почвы и степени её деградации.

Целью данной работы является обоснование того, что качество чернозёмов и серых лесных почв Курской области оценивается запасами гумуса в слое 0-50 см

почвы, а также оценка динамики почвенных ресурсов сельскохозяйственных угодий.

Объектом исследований является оценка ресурсов чернозёмов и серых лесных почв сельскохозяйственных угодий Курской области и их динамика.

По состоянию на 1996 год сельскохозяйственные угодья занимали 77,1% земельного фонда области, включая 24% эродированных почв (Муха и др., 2006). Черноземы занимают 59,5% всей территории, а серые лесные почвы – 23,7% (Почвенная карта ..., 1979).

По литературным (фактическим) данным за 1960-1980 годы установлено (Санжарова и др., 2009) среднее относительное снижение (%) урожайности пропашных и зерновых культур, возделываемых по разным технологиям на эродированных чернозёмах и серых лесных почвах лесостепной и степной зон России, Украины и Молдавии (таблица 1, строка 1).

По материалам (за 1970 – 1980 годы) почвенных обследований Курского филиала ЦЧОГипрозем для Курской области установлено (Санжарова и др., 2009) среднее уменьшение (%) запасов гумуса в слое почвы 0-50 см эродированных чернозёмов и серых лесных почв (таблица 1, строка 3). Эти данные описываются уравнением регрессии

$$\varepsilon_Y = a\varepsilon_G, \quad (3)$$

где  $a = 0,74 \pm 0,04$ ;  $\varepsilon_Y$  и  $\varepsilon_G$  – среднее относительное уменьшение, соответственно, урожайности и запасов гумуса в эродированной почве (по сравнению с неэродированной почвой сельскохозяйственных угодий).

В таблице 1 (строки 5-14) представлены данные для эродированных и неэродированных почв, которые были получены по тем же материалам. Эти данные использованы ниже для Медвенского и Дмитриевского районов.

Покажем, что при выполнении определённых условий из уравнения (3) следует: абсолютная средняя урожайность прямо пропорциональна средним запасам гумуса в слое почвы 0-50 см.

Введём понятие единичного события, которое определяется полученной урожайностью на склоне при конкретных условиях: год, склон, культура, технология её возделывания, погодные условия. Этому событию соответствует пара значений урожайности: урожайность на неэродированной почве (на вершине склона) и на эродированной (на определенном расстоянии от вершины склона).

Введём следующие переменные:  $i$  – порядковый номер события;  $j = 1, 2, 3$  – номер степени эродированности почвы (соответственно, слабая, средняя, сильная);  $Y_{0,i}$  – урожайность  $i$ -го события на неэродированной почве;  $Y_{j,i}$  – урожайность  $i$ -го события на почве с  $j$ -й степенью эродированности;  $N_{Y,j}$  – количество событий на почве с  $j$ -й степенью эродированности.

Относительное снижение урожайности для  $i$ -го события с  $j$ -й степенью эродированности почвы

$$\varepsilon_{Y,j,i} = (Y_{0,i} - Y_{j,i})/Y_{0,i} = 1 - Y_{j,i}/Y_{0,i}. \quad (4)$$

В общем случае средневзвешенное снижение урожайности на почве с  $j$ -й степенью эродированности определяется

$$\varepsilon_{Y,j}(w) = \left[ \sum_i \varepsilon_{Y,j,i} w_i \right] \times \left[ \sum_i w_i \right]^{-1}, \quad (5)$$

где  $w$  – весовая функция. Суммирование проводится по всем событиям, которые произошли на почве с  $j$ -й степенью эродированности (таких событий  $N_{Y,j}$ ).

Таблица 1 – Данные по снижению урожайности и параметрам чернозёмов и серых лесных почв (средние значения и их стандартные отклонения)

№ строки	Параметр	Неэродированные	Степень эродированности		
			слабая	средняя	сильная
<i>Зерновые и пропашные культуры на чернозёмах и серых лесных почвах лесостепной и степной зон России, Украины и Молдавии (Санжарова и др., 2009)</i>					
1	Снижение урожайности, %	0	18 ± 1	35 ± 1	52 ± 1
2	Объём выборки		149	143	120
<i>Чернозёмы и серые лесные почвы Курской области (Санжарова и др., 2009)</i>					
3	Сокращение запасов гумуса в слое 0-50 см, %	0	26±1	52±1	66±2
4	Объём выборки		163	79	30
<i>Чернозёмы типичные, выщелоченные и оподзоленные Курской области</i>					
5	Гумусовый горизонт, см	74±1	55±1	35±1	24±2
6	Запасы гумуса в слое 0-50 см, т/га	267±3	210±4	139±4	113±7
7	Сокращение гумусового горизонта, %	0	24±1	52±1	67±3
8	Сокращение запасов гумуса в слое 0-50 см, %	0	23±1	48±2	59±3
9	Объём выборки	195	109	45	12
<i>Серые и тёмно-серые лесные почвы Курской области</i>					
10	Гумусовый горизонт, см	49±1	37±1	31±1	24±2
11	Запасы гумуса в слое 0-50 см, т/га	185±4	132±4	83±4	56±5
12	Сокращение гумусового горизонта, %	0	28±1	39±2	59±3
13	Сокращение запасов гумуса в слое 0-50 см, %	0	32±2	56±2	71±2
14	Объём выборки	94	54	34	18
<i>Чернозёмы в сравнении с целиной</i>					
15	Сокращение запасов гумуса в слое 0-50 см, %	50	62	74	80
16	Сокращение запасов гумуса в слое 0-50 см за счёт эрозии, %	0	12	24	30
<i>Серые лесные почвы в сравнении с целиной</i>					
17	Сокращение запасов гумуса в слое 0-50 см, %	50	66	78	86
18	Сокращение запасов гумуса в слое 0-50 см за счёт эрозии, %	0	16	28	36

Примечания: 1) в строках 1 – 14 среднее снижение и сокращение (в %) рассчитаны по формуле (5) при  $w=1$ ; 2) для среднего значения стандартное отклонение ( $\pm$ )  $\text{сред} = \sigma/n^{1/2}$ , где  $\sigma$  – стандартное отклонение,  $n$  – объём выборки.

В таблице 1 (строка 1) приводятся значения  $\varepsilon_{Y,j}$ , полученные при  $w = 1$ , а во 2-й строке приводится объём выборки (количество событий  $N_{Y,j}$ ). Для снижения запасов гумуса (строка 3) усреднение проведено также при  $w = 1$ . По этим данным получено уравнение (3). В этом случае

$$\varepsilon_{Y,j}(w=1) = \frac{1}{N_{Y,j}} \sum_i \varepsilon_{Y,j,i} = 1 - \left( \frac{Y_j}{Y_0} \right)_{\text{сред}},$$

$$\left( \frac{Y_j}{Y_0} \right)_{\text{сред}} = \frac{1}{N_{Y,j}} \sum_i \frac{Y_{j,i}}{Y_{0,i}}. \quad (6)$$

При  $w = Y_0$  ( $Y_0$  – урожайность на незэродированной почве) из (5) следует

$$\varepsilon_{Y,j}(w=Y_0) = 1 - \frac{Y_{j,\text{сред}}}{Y_{0,\text{сред}}}, \quad (7)$$

$$Y_{j,\text{сред}} = \frac{1}{N_{Y,j}} \sum_i Y_{j,i}, \quad Y_{0,\text{сред}} = \frac{1}{N_{Y,j}} \sum_i Y_{0,i},$$

где  $Y_{j,\text{сред}}$  – средняя урожайность на почве с  $j$ -й степенью эродированности почвы,  $Y_{0,\text{сред}}$  – средняя урожайность на незэродированной почве.

Введём коэффициент

$$K_{Y,j} = \left( \frac{Y_j}{Y_0} \right)_{\text{сред}} \times \left[ \frac{Y_{j,\text{сред}}}{Y_{0,\text{сред}}} \right]^{-1}. \quad (8)$$

Для репрезентативных выборок коэффициенты  $K_{Y,j}$  можно принять постоянными. Из (8) следует, что

$$\left( \frac{Y_j}{Y_0} \right)_{\text{сред}} = K_{Y,j} \frac{Y_{j,\text{сред}}}{Y_{0,\text{сред}}}. \quad (9)$$

Если в приведённых выше уравнениях урожайность заменить на запасы гумуса, т.е.,  $Y_{j,i}$  на  $G_{j,i}$ ,  $Y_{0,i}$  на  $G_{0,i}$ ,  $Y_j$  на  $G_j$ ,  $Y_0$  на  $G_0$ ,  $N_{Y,j}$  на  $N_{G,j}$ ,  $\varepsilon_{Y,j}$  на  $\varepsilon_{G,j}$ , то для гумуса придём к уравнению, подобному уравнению (9),

$$\left( \frac{G_j}{G_0} \right)_{\text{сред}} = K_{G,j} \frac{G_{j,\text{сред}}}{G_{0,\text{сред}}}. \quad (10)$$

Заметим, что выборки по урожайности и запасам гумуса относятся к разным объектам и разным годам.

В уравнении (3) приближённо примем, что  $a=1$ . Тогда с учётом (9) и (10) из уравнения (3) для  $j$ -й степени эродированности почвы следует, что

$$\frac{Y_{j,\text{сред}}}{Y_{0,\text{сред}}} = \frac{K_{G,j} K_{Y,j}^{-1} G_{j,\text{сред}}}{G_{0,\text{сред}}} \times \frac{F_0}{F_0}, \quad (11)$$

где  $F_0$  – неизвестная функция, не зависящая от запасов гумуса. Из (11) следует

$$Y_{j,\text{сред}} = K_{G,j} K_{Y,j}^{-1} G_{j,\text{сред}} F_0, \quad Y_{0,\text{сред}} = G_{0,\text{сред}} F_0. \quad (12)$$

На эродированной почве урожайность равняется  $Y_{\text{эр,сред}} = Y_{0,\text{сред}} (1 - \varepsilon_Y)$ . При  $a = 1$  из уравнения (3) следует, что  $\varepsilon_Y = \varepsilon_G$ . Тогда урожайность на эродированной почве равняется  $Y_{\text{эр,сред}} = Y_{0,\text{сред}} (1 - \varepsilon_G) = G_{\text{эр,сред}} F_0$ , здесь  $G_{\text{эр,сред}} = G_{0,\text{сред}} (1 - \varepsilon_G)$  – средние запасы гумуса в эродированной почве. Следовательно, урожайность на незэродированной и эродированной почве можно записать одним уравнением

$$Y_{\text{сред}} = G_{\text{сред}} F_0. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) получено из уравнения (3) при выполнении двух условий: 1) значение па-

раметра  $a$  в (3) можно приближённо принять равным единице ( $a \approx 1$ ); 2) выборки данных по урожайности и запасам гумуса в почве, по которым получено уравнение (3), являются репрезентативными. Уравнение (13) показывает, что на эродированной и незэродированной почве абсолютная средняя урожайность ( $Y_{\text{сред}}$ ) прямо пропорциональна средним запасам гумуса ( $G_{\text{сред}}$ ).

Учитывая, что запасы гумуса за 10-20 лет (период усреднения) изменяются мало, то величины в (13) имеют следующий смысл:  $Y_{\text{сред}}$  – усреднённая по определённой площади пашни среднееголетняя урожайность зерновых и пропашных культур, возделываемых на эродированных и незэродированных чернозёмах и серых лесных почвах по разным технологиям и в разных климатических условиях;  $G_{\text{сред}}$  – запасы гумуса, усреднённые по той же площади пашни;  $F_0$  – функция, учитывающая влияние на среднееголетнюю урожайность всех факторов, кроме запасов гумуса в почве (она учитывает сельскохозяйственную культуру, технологию её возделывания и климатические условия).

Из уравнения (13) следует, что во сколько раз больше запасы гумуса, во столько же раз больше и урожайность при прочих равных условиях. Это означает, что с позиции производства растениеводческой продукции запасы гумуса оценивают качество почвы.

Таким образом, минимум три параметра оценивают почвенные ресурсы: площадь пашни и мощность гумусового горизонта – количество почвы, а запасы гумуса – её качество.

*Проверка уравнения (13).* Сначала рассмотрим две площади пашни ( $S_1$  и  $S_2$ ), расположенные в одинаковых климатических условиях. Средние запасы гумуса для них обозначим через  $G_{\text{сред},1}$  и  $G_{\text{сред},2}$ . На каждой площади возделываются зерновые и пропашные культуры по одинаковым технологиям. Среднееголетнюю урожайность  $k$ -й культуры обозначим через  $Y_{\text{сред},1,k}$  и  $Y_{\text{сред},2,k}$ . Тогда для любой  $k$ -й культуры значение функции  $F_0$  в уравнении (13) будет одинаковым для этих двух площадей, обозначим его  $F_k()$ . Из этого уравнения следует, что при принятых условиях отношение урожайностей каждой культуры  $K_{Y,k} = Y_{\text{сред},1,k} / Y_{\text{сред},2,k}$  должно равняться отношению запасов гумуса  $K_G = G_{\text{сред},1} / G_{\text{сред},2}$ , т.е. должно выполняться равенство

$$K_{Y,k} = K_G. \quad (14)$$

Это равенство относится к зерновым и пропашным культурам, возделываемым на эродированных и незэродированных чернозёмах и серых лесных почвах.

Для проверки уравнения (13) выбраны сельскохозяйственные угодья двух административных районов Курской области: Медвенского – чернозёмы и Дмитриевского – серые лесные почвы. Оба района подвержены водной эрозии почв.

В таблице 2 приводятся данные для сельскохозяйственных угодий Медвенского и Дмитриевского районов по состоянию на 1970-е годы (Система земледелия ..., 1982). В таблице 1 приводятся данные для почв по их состоянию на 1970 – 1980 годы. Поскольку за 10-20 лет запасы гумуса и мощность гумусового горизонта эродированных почв изменяются мало, то можно принять, что данные для чернозёмов и серых лесных почв (табл. 1) приблизительно соответствуют состоянию почв указанных районов на 1970-е годы.

Для чернозёмов (таблица 1, строки 1 и 8) в уравнении (3)  $a = 0,82 \pm 0,05$ , а для серых лесных почв (таблица 1, строки 1 и 13)  $a = 0,68 \pm 0,05$ . Это означает, что в обоих случаях можно приближённо принять  $a \approx 1$ .

Таблица 2 – Распределение площади сельскохозяйственных угодий Медвенского и Дмитриевского районов Курской области на 1970-е годы (Система земледелия..., 1982)

Район	Площадь, тыс. га	Неэродированная почва % от всей площади	Эродированная почва и овраги				
			% от всей площади	в том числе по степени эродированности и оврагам, %			овраги
				слабая	средняя	сильная	
Медвенский (чернозёмы)	100,0	58,6	41,4	25,4	13,6	1,7	0,7
Дмитриевский (серые лесные)	104,9	75,4	24,6	16,5	7,0	0,7	0,4

В таблице 3 приводятся значения параметров почвенных ресурсов сельскохозяйственных угодий Медвенского и Дмитриевского районов.

Таблица 3 – Почвенные ресурсы сельскохозяйственных угодий Медвенского и Дмитриевского районов на 1970-е годы

Параметр	Район	
	Медвенский (чернозёмы)	Дмитриевский (серые лесные)
Площадь, тыс. га	100,0	104,9
Средневзвешенная мощность гумусового горизонта, см	63	45
Средневзвешенные запасы гумуса в слое 0-50 см, т/га	229	166
Сокращение площади, пригодной для пашни:		
%	2,4	1,1
тыс. га	2,4	1,2

- за счёт сокращения площади сильно эродированных почв и площади оврагов, на которых снижение урожайности больше 50%.

По данным (Народное хозяйство...) значения среднегодовой урожайности за 1970-1986 годы и их стандартные отклонения равняются: в Медвенском районе для зерновых культур  $21,2 \pm 1,0$  ц/га, для сахарной свёклы  $223 \pm 16$  ц/га; в Дмитриевском районе, соответственно,  $15,1 \pm 0,7$  и  $141 \pm 9$  ц/га. Отношения этих урожайностей для зерновых культур  $K_Y = 1,4 \pm 0,1$ , для сахарной свёклы  $K_Y = 1,6 \pm 0,2$ .

Приближённо можно принять, что за указанный период времени в обоих районах технологии возделывания зерновых и пропашных культур и климатические условия были одинаковы. Следовательно, должно выполняться приближённое равенство (14).

Отношение запасов гумуса (таблица 3) в Медвенском районе к запасам в Дмитриевском равняется  $K_G = 229/166 = 1,4$ . Из сравнения рассчитанных значений коэффициентов  $K_Y$  и  $K_G$  следует, что в пределах статистической погрешности для зерновых культур и сахарной свёклы выполняется равенство (14), т.е.  $K_Y \approx K_G$ . Это означает, что фактические данные для указанных двух районов подтверждают уравнивание (13).

Заметим, что Г.И. Бахиревым (2006) предложено качество почвы оценивать запасами гумуса во всём гумусовом горизонте. Это основано на установленной им зависимости среднегодовой урожайности озимой пшеницы на неэродированном чернозёме типичном от запасов гумуса (без применения удобрений).

*Сокращение почвенных ресурсов.* Введём понятие удельных почвенных ресурсов, которые определяются ресурсами, приходящимися на единицу площади пашни

(например, на 1 га). Эти ресурсы оцениваются двумя параметрами: мощностью гумусового горизонта и запасами гумуса в слое 0 – 50 см. Оценим сокращение удельных ресурсов чернозёмов и серых лесных почв Курской области.

*Сокращение удельных ресурсов эродированных почв относительно неэродированных.* В таблице 1 приводятся данные по сокращению мощности гумусового горизонта и запасов гумуса: для чернозёмов - строки 7 и 8, для серых лесных почв - строки 12 и 13. Из данных этой же таблицы (строки 5-6 и 10-11) следует, что для эродированных и неэродированных чернозёмов удельные ресурсы больше, чем для серых лесных почв. Обратим внимание, что для сильно эродированных чернозёмов и серых лесных почв (таблица 1, строки 5 и 10) мощность гумусового горизонта одинаковая (24 см), что соответствует глубине вспашки. Это объясняется следующим образом.

В целинной почве выделяется мощность гумусового горизонта  $H_0$ . Для упрощения примем, что ниже залегает материнская порода, не содержащая гумус. После распашки на глубину  $H_{max}$  образуется пахотный слой. Возможны два случая. Первый:  $H_{max} < H_0$ . В этом случае распахивается только часть гумусового горизонта. Остальную часть, которая расположена под пахотным слоем, обозначим  $H_{0,под} = H_0 - H_{max}$ . Второй:  $H_{max} > H_0$ . В этом случае распахивается весь гумусовый горизонт  $H_0$  и припахивается материнская порода, т.е.  $H_{0,под} = 0$ . В общем случае мощность гумусового горизонта определяется величиной  $H_{гум} = H_{max} + H_{0,под}$ . Примем, что вспашка проводится на одинаковую глубину, т.е.  $H_{max} = const$ .

В результате эрозии с пахотного слоя происходят потери почвы, масса которых компенсируется припахиванием залегающего ниже слоя. В первом случае ( $H_{max} < H_0$ ) сначала припахивается (т.е. сокращается) гумусовый горизонт, расположенный под пахотным слоем ( $H_{0,под}$ ). Это ведёт к сокращению всего гумусового горизонта  $H_{гум}$ . После того, как  $H_{0,под} = 0$ , начнёт припахиваться материнская порода. После этого мощность гумусового горизонта будет постоянной величиной, т.е.  $H_{гум} = H_{max} = const$ . Следовательно, эрозионные потери почвы можно оценивать по сокращению гумусового горизонта только до начала припахивания материнской породы. В противном случае эти потери будут занижены. Во втором случае ( $H_{max} > H_0$ ) для любых эрозионных потерь почвы  $H_{гум} = H_{max} = const$ .

Для неэродированных чернозёмов и серых лесных почв (таблица 1, строки 5 и 10)  $H_{гум} = H_0 > H_{max}$ , а для сильно эродированных  $H_{гум} = H_{max} = 24$  см, т.е. для таких почв на момент определения мощности гумусового горизонта уже происходило припахивание материнской породы. Это объясняет одинаковую мощность гумусового горизонта для сильно эродированных чернозёмов и серых лесных почв. Поскольку для неэродированных серых лесных почв мощность гумусового горизонта меньше, а эрозионные потери на серых лесных почвах больше, чем для чернозёмов, то приходим к выводу: при прочих равных условиях на серых лесных почвах начало припахивания материнской породы произошло раньше, чем на чернозёмах. Следовательно, для эродируемых чернозёмов запас времени ("срок службы") до начала припахивания материнской породы больше, чем для эродируемых серых лесных почв.

*Сокращение удельных почвенных ресурсов относительно целинной почвы.* Можно принять, что до распашки целины почва приблизилась к равновесному состоянию (к климаксу), которое характеризуется скоростью изменения параметров почвы равной нулю и максимальными значениями этих параметров (например, максимальными значениями гумусового горизонта и

запасов гумуса). После распашки нарушилось равновесное состояние почвы, в частности, по причине уменьшения поступления в почву растительных остатков. В результате этого запасы гумуса стали уменьшаться, а мощность гумусового горизонта незродированных почв, согласно модели Ф.Н. Лисецкого (2000), стабилизировалась.

Следовательно, для незродированных почв можно приближённо принять следующее: мощность гумусового горизонта со временем не изменилась, а отношение  $G_0/G_{цел}$  уменьшилось, здесь  $G_0, G_{цел}$  – соответственно, запасы гумуса в слое 0-50 см незродированной и целинной почвы.

По данным П.Г. Адерихина (1964) и Е.А. Афанасьевой (1966) содержание гумуса в пахотном слое незродированных чернозёмов Центрального Черноземья уменьшилось с 10-12% (для целины) до 5-6%, т.е. приближённо  $G_0/G_{цел} = 0,5$  (или 50%). Для серых лесных почв аналогичные данные отсутствуют. Для Нечернозёмной зоны России содержание гумуса в пахотном слое серых лесных почв уменьшилось в два раза (Алифанов, 1979). Поэтому для этих почв также примем  $G_0/G_{цел} = 0,5$ .

Для эродированных почв относительное уменьшение запасов гумуса (в сравнении с целиной) определяется следующей зависимостью

$$\varepsilon_{G,цел} = \frac{G_{цел} - G}{G_{цел}} = 1 - \frac{G_0}{G_{цел}}(1 - \varepsilon_{G,0}), \quad (15)$$

где  $G$  – запасы гумуса в эродированной почве,  $\varepsilon_{G,0}$  – сокращение запасов гумуса в эродированной почве в сравнении с незродированной (таблица 1, строки 8 (для чернозёмов) и 13 (для серых лесных почв)). Значения  $\varepsilon_{G,цел}$ , рассчитанные по (15), приводятся в таблице 1 (строка 15 – чернозёмы, строка 17 – серые лесные почвы).

Для незродированной почвы сокращение запасов гумуса ( $\Delta G_{дегум,0}$ ) произошло только за счёт динамики процессов гумификации и дегумификации. Для эродированных почв сокращение произошло ещё дополнительно за счёт эрозии ( $\Delta G_{эр}$ ), поскольку вместе с почвой происходили потери гумуса и в почву поступало меньше растительных остатков (урожайность на эродированных почвах меньше). Тогда сокращение запасов гумуса относительно целинных почв

$$\varepsilon_{G,цел} = \frac{\Delta G_{дегум,0} + \Delta G_{эр}}{G_{цел}} = \varepsilon_{G,дегум,0} + \varepsilon_{G,эр}, \quad (16)$$

где  $\varepsilon_{G,дегум,0}$  и  $\varepsilon_{G,эр}$  – относительное сокращение запасов гумуса, соответственно, в незродированной почве и дополнительное сокращение, обусловленное эрозией (для незродированных почв  $\varepsilon_{G,эр} = 0$ ). Значения  $\varepsilon_{G,эр}$ , рассчитанные по уравнению (16), представлены в таблице 1 (строки 16 и 18). Из сравнения данных в строках 15 – 18 этой же таблицы следует: 1) с увеличением степени эродированности почвы сокращение запасов гумуса за счёт эрозии возрастало; 2) тем не менее, сокращение запасов гумуса было обусловлено, главным образом, динамикой процессов гумификации и дегумификации (это сокращение равняется 50% для незродированной почвы).

Из данных таблицы 1 следует, что после распашки целины произошло большое сокращение удельных ресурсов: для чернозёмов мощность гумусового горизонта сократилась на 0 - 67% (строка 7), а запасы гумуса на 50 - 80% (строка 15); для серых лесных почв, соответственно, на 0 - 59% (строка 12) и на 50 - 86% (строка 17).

Для Курской области за начало проявления ускоренной эрозии на пашне можно ориентировочно при-

нять 1780 год (распаханность - 35%) (Бахирев, 1981). В 1978 году сельскохозяйственные угодья и пашня занимали 80,4% и 73,7%, соответственно, от общей площади земельного фонда Курской области (Система ведения..., 1980). Следовательно, сокращение удельных почвенных ресурсов произошло ориентировочно за 200 - 250 лет (после распашки целины).

*Сокращение почвенных ресурсов сельскохозяйственных угодий Медвенского и Дмитриевского районов.* Сокращение площади, пригодной для пашни, определяется площадью образованных оврагов и площадью эродированных почв, на которых из-за снижения урожайности возделывание зерновых и пропашных культур является экономически не выгодным. Для обоих районов из общей площади сельскохозяйственных угодий исключена площадь сильно эродированных почв по двум причинам: 1) снижение урожайности на таких почвах больше 50%; 2) их площадь намного меньше площади незродированных почв. В таблице 3 приводятся данные по сокращению площади, пригодной для пашни.

В таблице 4 приводятся средневзвешенные значения ( $\varepsilon_{ср.вз.}$ ) сокращения мощности гумусового горизонта, запасов гумуса и снижения урожайности зерновых и пропашных культур. Эти значения рассчитаны по формуле

$$\varepsilon_{ср.вз.} = \left[ \sum_i \varepsilon_i S_i \right] \times \left[ \sum_i S_i \right]^{-1}, \quad (17)$$

где  $S_i$  – площадь, на которой изменение параметра оценивается величиной  $\varepsilon_i$ . Суммирование проводится по площади, для которой определяется средневзвешенное значение.

Таблица 4 – Средневзвешенные значения сокращения мощности гумусового горизонта, запасов гумуса и снижения урожайности зерновых и пропашных культур (%)

Усреднение по площади	Параметр	Район	
		Медвенский (чернозёмы)	Дмитриевский (серые лесные)
<i>В сравнении с незродированной почвой сельскохозяйственных угодий</i>			
эродированных почв	Сокращение гумусового горизонта	36	33
	Сокращение запасов гумуса	34	41
	Снижение урожайности	26	25
всех почв	Сокращение гумусового горизонта	15	8
	Сокращение запасов гумуса	14	10
	Снижение урожайности	11	6
<i>В сравнении с целинной почвой</i>			
эродированных почв	Сокращение запасов гумуса	67	71
	Сокращение запасов гумуса	57	55

Из уравнения (13) следует: во сколько раз сократятся запасы гумуса, во столько же раз приблизительно снизится и среднегодовалая урожайность. По сравнению с целинной почвой запасы гумуса в Медвенском районе снизился на 57%, а в Дмитриевском на 55% (таблица 4). Это означает следующее: если бы после распашки целины запасы гумуса не изменились, то в 1970-1980-х годах среднегодовалая урожайность зерновых и пропашных культур в этих районах была бы в 2,3 и 2,2 раза больше, соответственно. Как показано выше, сокращение запасов гумуса произошло, главным

образом, за счёт динамики процессов гумификации и дегумификации. Следовательно, и снижение урожайности обусловлено, главным образом, по той же причине. Такая плата отрицательного баланса гумуса за прошедшее время.

*Тенденции и их опасность.* С начала распашки целины до 1970-1980-х годов наблюдались две тенденции: 1) рост урожайности за счёт прогресса технологии производства растениеводческой продукции, связанного, например, с увеличением доз удобрений, с применением средств защиты растений и с использованием более урожайных сортов; 2) деградация почвы, которая, наоборот, вела к снижению урожайности. Так как урожайность возрастала, то эффект прогресса технологии был больше эффекта деградации почвы. Технологические затраты можно условно разделить на две части. Первая часть компенсировала снижение урожайности, обусловленное последствиями деградации. Чем больше почва деградировала, тем больше были затраты для компенсации этих последствий. Вторая часть обеспечивала прирост урожайности (эти затраты также возрастали). Увеличение затрат приводит к повышению цен на растениеводческую продукцию. Эти тенденции наблюдаются и в настоящее время. Очевидно, что они не могут продолжаться бесконечно.

Поскольку почвенные ресурсы не имеют альтернативы, то опасность глобального кризиса обусловлена не только тенденциями сокращения площади пашни и роста численности населения, но и тенденцией ухудшения качества почвы.

Чернозёмы, по сравнению с другими почвами, обладают уникальными свойствами (например, высокое содержание гумуса и большая мощность гумусового горизонта), которые, по сравнению с другими почвами, обеспечивают более высокую урожайность при одинаковой технологии возделывания сельскохозяйственных культур (т.е. при одинаковых затратах). Это означает, что производители, работающие на чернозёмах, имеют конкурентное преимущество перед отечественными и зарубежными производителями, которые работают на более "бедных" почвах.

Например, на незероэродированном чернозёме без применения удобрений для озимой пшеницы была получена среднеголетняя урожайность, равная  $29 \pm 2$  ц/га (Сухановский, Дубовик, Виноградов, 2011). Такая урожайность была получена в многофакторном полевом опыте ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии за 1986 – 2005 годы (Медвенский район Курской области).

По мере деградации чернозёмов (сокращения запасов гумуса) конкурентное преимущество теряется. Для чернозёмов Центрального Черноземья результаты долгосрочного прогнозирования привели к следующему выводу (Сухановский, Санжарова, Прушик, 2011): сокращение почвенных ресурсов происходит относительно медленно, и при современном землепользовании можно практически только существенно замедлить это сокращение.

Ресурсы серых лесных почв находятся в худшем положении по сравнению с чернозёмами (таблица 1, строки 5-6 и 10-11). Во-первых, для незероэродированных серых лесных почв мощность гумусового горизонта в 1,5 раза меньше, а запасы гумуса меньше в 1,4 раза по сравнению с незероэродированными чернозёмами. Во-вторых, при увеличении степени эродированности различие в запасах гумуса возрастает до 2-х раз для сильно эродированных почв.

*Заключение.*

1. С позиции производства растениеводческой продукции минимум три параметра оценивают почвенные ресурсы: площадь пашни и мощность гумусового горизонта - количество почвы, а запасы гумуса в слое 0-50

см - её качество. Изменение во времени значений этих параметров оценивает динамику почвенных ресурсов.

2. Уравнение (13) будет справедливым и для других почвенно-климатических условий, если для уравнения (3) будут выполнены два условия: значение коэффициента  $a$  можно принять приближённо равным единице и используемые выборки по урожайности и запасам гумуса являются репрезентативными.

3. При определении содержания гумуса в почве сначала определяется содержание органического углерода, которое затем умножается на коэффициент 1,724 (Теория и практика..., 2006). Поэтому выводы, сделанные относительно запасов гумуса с точностью до этого коэффициента, справедливы и для запасов органического углерода в почве.

4. Почвенные ресурсы не имеют альтернативы и, как показали долгосрочные прогнозы, их сокращение происходит относительно медленно, и при современном землепользовании практически можно только существенно замедлить это сокращение. Поэтому необходима государственная стратегия рационального использования оставшихся почвенных ресурсов.

Список использованных источников

- 1 Адерихин П.Г. Изменение черноземных почв ЦЧО при их использовании в сельском хозяйстве // Черноземы ЦЧО и их плодородие. - М.: Наука, 1964. - С.61-69.
- 2 Алифанов В.М. Изменение серых лесных почв при сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. - 1979. - № 1. - С.37-47.
- 3 Афанасьева Е.А. Черноземы Средне-Русской возвышенности. - М.: Наука, 1966. - 224 с.
- 4 Бахирев Г.И. Закономерности проявления и интенсивности среднеголетней эрозии почв на пашне в Курской области // Тез. докл. Третьей всесоюзной научн. конф. "Закономерности проявления эрозийных и русловых процессов в различных природных условиях". Москва, 1981. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. - С. 22-24.
- 5 Бахирев Г.И. Способ оценки качества почвы: Пат. 2268461, РФ//Б.И. 2006, № 2.
- 6 Большая Советская Энциклопедия: Народонаселение / <http://bse.sci-lib.com/article080201.htm>
- 7 Википедия: Численность населения мира / [http://ru.wikipedia.org/wiki/Численность населения мира](http://ru.wikipedia.org/wiki/Численность_населения_мира)
- 8 Глобальный стратегический механизм в области продовольственной безопасности и питания // Комитет по всемирной продовольственной безопасности / Тридцать девятая сессия. Рим, Италия, 15-20 октября 2012 года. / <http://www.fao.org/docrep/meeting/026/ME498r.pdf>
- 9 ДЕМОСКОП Weekly, № 371-372, 2009 / <http://demoscope.ru/weekly/2009/0371/barom02.php>
- 10 Добровольский Г.В. Педосфера как оболочка высокой концентрации и разнообразия жизни на планете // Почвы в биосфере и жизни человека. - М.: Моск. гос. ун-т леса, 2012. - С.20-34.
- 11 Кайгородцев А.А. Глобальная продовольственная проблема // Вестник КАССУ. - 2006. - № 4. - С. 169-175. / <http://www.vestnik-kafu.info/journal/8/306/>
- 12 Кирюхина З.П., Пацкевич З.В. Эрозионная деградация почвенного покрова России // Почвоведение. - 2004. - № 6. - С. 752-758.
- 13 Лисецкий Ф.Н. Пространственно-временная организация ландшафтов. - Белгород: Изд-во Белгор. гос. ун-та, 2000. - 304 с.
- 14 Муха В.Д., Сулима А.Ф., Чаплыгин В.И. Почвы Курской области. - Курск: Изд-во КГСХА, 2006. - 119 с.
- 15 Народное хозяйство Курской области / Статистические сборники за 1970-1986 гг., Курск.
- 16 Почвенная карта Курской области. Курск, институт «ЦЧОгипрозем», Курский филиал, 1979.

17 Санжарова, С.И., Сухановский Ю.П., Прущик А.В. Статистический анализ влияния эродированности почвы на урожайность сельскохозяйственных культур // Плодородие. - 2009. - № 5. - С. 39-40.

18 Система ведения сельского хозяйства в Центрально-Черноземной зоне. Воронеж: Центр.-Черн. кн. изд-во, 1980. - 415 с.

19 Система земледелия Курской области. - Курск: Курская правда, 1982. - 204 с.

20 Сухановский Ю. П., Дубовик Д. В., Виноградов Д. Ю. Оценка влияния детерминированных и случайных факторов на урожайность зерновых культур // Агрофизика. - 2011. - № 4. - С. 10-15.

21 Сухановский Ю. П., Санжарова С. И., Прущик А. В. Модель динамики содержания гумуса в эродированном черноземе Центрального Черноземья // Агрохимия. - 2011. - № 12. - С. 45-52.

22 Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. - М.: ГЕОС, 2006. - 400 с.

23 Экология, охрана окружающей среды и экологическая безопасность / <http://www.kchgt.ru/sites/default/files/u10/1.2.03.pdf>

*Информация об авторах*

Сухановский Юрий Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией моделирования эрозийных процессов ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН, тел. 8(4712)227905, e-mail: soil-er@kursknet.ru

Прущик Анастасия Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования эрозийных процессов ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН.

Санжарова Светлана Ивановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования эрозийных процессов ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН.

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА И АЗОТА В ЧЕРНОЗЕМАХ УКРАИНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВЫ**

**В.В. Дегтярев, О.И. Моргунова, В.Н. Недбаев**

*Аннотация.* Приведены результаты исследований содержания общего гумуса и азота в черноземных почвах Украины. Установлено, что содержание данных элементов резко снижается при распаивании целинных почв.

*Ключевые слова:* органическое вещество, гумус, азот, целина, залежь, пашня.

Трансформация органического вещества в почве – один из главных показателей воздействия на нее сельскохозяйственной культуры. Гумус – специфическая часть почвы, являющаяся источником основных элементов питания и оказывающая значительную роль в ее формировании.

Основные закономерности гумусообразования, природа и свойства гумуса рассмотрены в работах В.В. Докучаева, 1953; П.А. Костычева, 1951; В.Р. Вильямса, 1920, 1950; С.П. Кравкова, 1931; А.Н. Соколовского, 1956; И.В. Тюрина, 1937, 1955; М.Н. Кононовой, 1951, 1963; Л.Н. Александровой, 1953, 1970 и многих других ученых [1.-С.48].

В последнее время исследования ученых направлены на изучение количественного изменения гумуса и соответствующего азота, происходящие в почве под влиянием антропогенного воздействия.

А.М. Гринченко, В.Д. Муха, Г.Я. Чесняк, 1979; Н.И. Лактионов, 1974; [1.-С.49]. В.В. Дегтярев, 2008 [2] и другие ученые установили, что резкое снижение содержания гумуса происходит в первые годы распашки целины. С увеличением периода использования пашни темпы минерализации гумуса снижаются. В дальнейшем потери гумуса идут не столь интенсивно и компенсируются процессами гумусообразования, то есть происходит динамическая стабилизация запасов гумуса в пахотном слое почвы в соответствии с установившимся новым режимом круговорота веществ и потоков энергии в сформировавшемся агроценозе.

Основная заслуга в поднятии и обосновании проблемы азота как коренной в почвообразовании, плодородии почв и питании растений принадлежит двум выдающимся ученым – Д.Н. Прянишникову и И.В. Тюрину.

Рассматривая проблему азота в сельскохозяйственной науке, основоположник агрономической химии академик Д.Н. Прянишников (1945) отметил, что главным условием, которое определяет количество урожая

сельскохозяйственных культур в разные времена, является степень обеспеченности растений азотом [3].

Дальнейшие исследования Кононовой М.М. (1951), Киселя В.Д. (1973), Чесняк О.А. (1977, 1978), Мухи В.Д. (1980) и др., направленные на изучение этого вопроса, показали, что азот содержится в составе органических веществ почв и на его содержание влияет интенсивность обработки, сельскохозяйственные культуры, внесение органических и минеральных удобрений [2, 4, 5].

Объектом исследования являлись:

- черноземы типичные глубокие среднесуглинистые на лессовидных суглинках заповедника "Михайловская целина";

- черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые на лессовидных суглинках заповедника "Хомутовская степь".

Для проведения исследований были выбраны следующие варианты: абсолютная целина, косимая целина, залежь, лесополоса, пашня.

Проведенное нами изучение содержания и качества гумуса в черноземных почвах ставило целью выявить общие закономерности трансформации органической части почвы под воздействием сельскохозяйственного использования в различных природных зонах и установить характерные особенности этих изменений.

Результаты содержания общего гумуса в черноземах типичных (рисунок 1) свидетельствуют о том, что для целинных почв характерно высокое содержание общего гумуса, с глубиной его содержание резко снижается. Несколько ниже содержание общего гумуса наблюдается в почвах варианта косимой целины.

Распашка черноземов типичных вызывает существенное снижение содержания общего гумуса по сравнению с почвой абсолютно целинной степи.

Результаты определения содержания общего гумуса в черноземах обыкновенных (рисунок 2) пашни показывают такую же зависимость содержания общего гумуса, как и черноземы типичные. После распашки целинных почв и последующего их использования в сельском хозяйстве, количество общего гумуса снижается по всей исследуемой глубине профиля. Это явление связано с особенностью сельского хозяйства, а именно с урожаем, происходит отчуждение растительной массы, органические и минеральные удобрения не вносятся в нужных количествах и поэтому происходит активная минерализация гумуса. Также на пахотных почвах