

Мелиорация и рекультивация, экология

УДК 502/504:631.6:631.4

А. И. ГОЛОВАНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

ДИНАМИКА ЗАПАСОВ ГУМУСА ПРИ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Предлагается способ расчета запасов гумуса, основанный на результатах столетних их изменений (1881–1981) с учетом темпов образования гумуса, потерь его при орошении, эрозии и минерализации.

Гумус, гумусообразование, скорость минерализации.

There is proposed an estimation method of humus supplies based on the results of their changes during a century (1881–1981) taking into consideration the rates of humus formation, its losses under irrigation, erosion and mineralization.

Humus, humus formation, speed of mineralization.

Почва способна на некоторое время извлекать из биологического круговорота продукты фотосинтеза в виде гумуса – сложного органоминерального вещества, активно участвующего в почвообразовании, придающего почве нужные свойства, аккумулирующего питательные вещества и, в конечном счете, формирующего плодородие почвы. Запасы гумуса наибольшие в ландшафтах, оптимально обеспеченных теплом и влагой. В России это черноземные степи, где запасы гумуса во всем профиле достигают 600...1000 т/га, в почвах лесостепей и широколиственных лесов – около 300, в таежных подзолистых почвах – около 100 т/га.

Гумус образуется в процессе гумификации – сложного, до конца не изученного биохимического процесса, в результате которого часть органических остатков превращается в специфические органические соединения – гумусовое вещество в виде смеси высокомолекулярных азот-

содержащих соединений с содержанием углерода 36...62 % в разных фракциях и азота 2,0...8 %. Этот процесс характеризуют коэффициентом гумификации $K_{гум}$, равном доле углерода органических остатков, включившихся в состав гумусовых веществ при полном их разложении. В табл. 1 приведены значения коэффициентов $K_{ур}$ – доля хозяйственно ценной части урожая, K_c – доля углерода в сухой биомассе или навозе и $K_{гум}$ – коэффициент гумификации [1].

Гумусовые вещества разделяют на три фракции:

фульвокислоты – наиболее растворимая часть гумуса с содержанием 40...52 % углерода, 4...6 % водорода, 42...52 % кислорода и 2...6 % азота; они имеют более светлую окраску, чем другие фракции, преобладают в подзолистых почвах, в сероземах, красноземах;

гуминовые кислоты – нерастворимы в минеральных и органических

Коэффициенты $K_{ур}$, K_c и $K_{гум}$ (по А. М. Лыкову)

Культура	Урожай, т/га	$K_{ур}$	K_c	$K_{гум}$
Люцерна летнего сева	2,0	0,377	0,405	0,25
Люцерна 1-го и 2-го года	10,0	0,870	0,405	0,25
Люцерна 3-го года	9,5	0,376	0,405	0,25
Кукуруза на зерно	8,0	0,283	0,357	0,15
Кукуруза пожнивная	40,0	0,847	0,370	0,15
Сахарная свекла	60,0	0,817	0,397	0,08
Картофель	30,0	0,793	0,397	0,08
Озимая пшеница	6,0	0,250	0,348	0,25
Озимый ячмень	6,0	0,250	0,350	0,25
Навоз полуперепревший	—	—	0,500	0,30

кислотах, с содержанием 52...62 % углерода, 2,8...5,5 % водорода, 31...39 % кислорода, 1,7...5 % азота; имеют темную окраску, преобладают в черноземах, серых лесных и хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах;

гумины – самая инертная часть гумуса, прочно связанная с глинистыми минералами, и частично разложившиеся растительные остатки; их содержание в подзолистой почве равно 25...35 %, в черноземе – 32...40 %, в сероземе – 40...50 %.

Соотношение фульво- и гуминовых кислот зависит от генезиса почв, условий почвообразования; в подзолистых почвах и сероземах фульвокислот относительно больше, отношение $C_{гк}/C_{фк} = 0,4...1,0$; у черноземов больше гуминовых кислот, $C_{гк}/C_{фк} = 1,3...2,3$.

При мелиорации и последующем использовании земель в сельском хозяйстве надо рассчитывать динамику накопления или сработки запасов гумуса, особенно при распашке, орошении или осушении земель, при борьбе с эрозией почвы, приводящей к смыву или сдуванию гумуса вместе с почвенными частицами. Изменение запасов гумуса во времени приближенно можно описать дифференциальным уравнением (А. И. Голованов):

$$dG/dt = A - BG, \quad (1)$$

где G – текущие запасы гумуса, т/га; t – время, лет; A – темпы образования нового гумуса при минерализации растительных остатков или органических удобрений, в том числе и сидератов, т/(га·год), а также потери гумуса $G_{вым}$ при нисходящих токах влаги, т/(га·год); B – коэффициент, учитывающий потери гумуса при его минерализации и эрозии почвы (год⁻¹).

Интегрируя уравнение (1) при начальном условии $t = 0$ и $G = G_0$, получаем: $G = A/B + (G_0 - A/B) \exp(-Bt)$; (2)

$$A = G_{нов}^{р.о.} + G_{нов}^{уд} - G_{вым}, \quad (3)$$

где $G_{нов}^{р.о.}$ – новообразованный гумус из растительных остатков, т/га в год;

$$G_{нов}^{р.о.} = 1,724 K_{гум} K_c B_{р.о.}, \text{ т/(га·год)}; \quad (4)$$

$B_{р.о.}$ – сухая биомасса растительных остатков, которая при известном урожае может быть определена по формуле

$$B_{р.о.} = Y K_{св} (1 - K_{ур}) / K_{ур}, \text{ т/(га·год)}; \quad (5)$$

Y – урожай сельскохозяйственной культуры, т/га; $K_{св}$ – доля сухой массы в урожае, навозе или сидератах (табл. 2); $G_{нов}^{уд}$ – новообразованный гумус из органических удобрений (навоза, сидератов):

$$G_{нов}^{уд} = 1,724 K_{гум} K_c B_{уд}; \quad B_{уд} = K_{св} D_{уд}, \quad (6)$$

где 1,724 – коэффициент, учитывающий долю углерода в гумусе; $D_{уд}$ – ежегодная доза навоза или запахиваемых сидератов, т/(га·год).

Таблица 2

Доля сухой массы в урожае, навозе и сидератах

Сельскохозяйственная культура, органическое удобрение	$K_{св}$
Зерно	0,86
Картофель, корнеплоды, силосные	0,30
Травы на сено	0,83
Навоз полуперепревший	0,25

Вымыв гумуса можно оценить, зная его содержание в почвенной влаге и промываемость почвы, возникающую при орошении:

$$G_{вым} = 0,01 g C_r, \quad (7)$$

где g – ежегодная промываемость почвы, мм; C_r – растворимость гумуса, кг/м³.

Растворяется подвижная фракция гумуса в виде фульвокислот, концентрация которых в почвенной влаге зависит от щелочности почвы или от содержания натрия в ППК (от степени осолонцевания):

Na в ППК, %

0 2 4 6 8 10 15 20

Растворимость гумуса C_r , кг/м³

0,35 0,42 0,55 0,62 0,70 0,85 1,22 2,15

При промываемости подзолистых почв южной тайги 100...140 мм/год вымыв гумуса может составить 0,35...0,45 т/(га·год). Это является одной из причин низкого содержания гумуса

в таких почвах, в которых гумуса в однометровом слое содержится около 100 т/га, тогда как в типичных черноземах – до 700 т/га. При орошении урожайность увеличивается, а промываемость может составить 5...6 % суммарной водоподачи (осадки + поливы), что образует вымыв гумуса около 0,1...0,15 т/(га·год).

Коэффициент B в формуле (2) учитывает разложение или минерализацию гумуса, а также его потери при эрозии. Скорость минерализации гумуса и его потери зависят от наличия гумуса, поэтому эта составляющая баланса гумуса в уравнении (2) имеет вид произведения BG . При постоянстве коэффициента B разложение гумуса со временем затухает.

Скорость минерализации зависит от тепло- и влагообеспеченности территории, предопределяющей интенсивность биохимических процессов. В северных районах разложение идет медленней, чем в южных, на его скорость влияет высокая влажность почвы и низкая температура. При переувлажнении разложение приостанавливается, вместо окислительных идут процессы гниения и консервации растительных остатков, наблюдается тор-

фообразование. На юге в полупустынях и сухих субтропиках гумус почти не накапливается из-за быстрого и глубокого разложения органики, в предгорьях образуются малогумусные плодородные сероземы, очень отзывчивые на орошение. Минерализованный гумус пополняет запасы азота и фосфора в почве, но в большей степени он обогащает почвенный воздух углекислым газом, способствуя развитию микроорганизмов.

В величину B должны также входить смыв и выдувание гумуса при водной и ветровой эрозии, так как количество смытого или вынесенного ветром гумуса зависит от массы удаленной почвы и от содержания гумуса в ней, т. е.

$$B = B_{\text{мин}} + B_{\text{эр}}, \quad (8)$$

где $B_{\text{мин}}$ – коэффициент скорости минерализации гумуса, определяемый по запасам гумуса в расчетном слое за многолетний период; в данной работе использованы результаты двух картирований почв черноземной зоны через 100 лет (1891...1981) (табл. 3), в других использованы результаты измерений за другие периоды; $B_{\text{эр}}$ – коэффициент потерь гумуса при эрозии, определяемый по величине ежегодного смыва почвы $W_{\text{эр}}$:

$$B_{\text{эр}} = W_{\text{эр}} / (10^4 \gamma h), \quad (9)$$

где γ – плотность почвы, г/м³; h – расчетный слой, м.

Таблица 3

Сработка запасов гумуса черноземов за 100 лет в слое 0...30 см

Черноземы	Запасы гумуса, т/га		Поступление нового гумуса, т/(га·год)		Уменьшение гумусообразования, %
	1881 г.	1981 г.	1881 г.	1981 г.	
Выщелоченные	255	165	2,55	1,65	39
Типичные	345	230	3,45	2,30	33
Обыкновенные	240	155	2,40	1,55	35

Коэффициент $B_{\text{эр}}$ связан с интенсивностью эрозии. Почвы считают слабоэродированными при ежегодном смыве $W_{\text{эр}} = 3$ т/(га·год); среднеэродированными – до 10; сильноэродированными при смыве более 20 т/(га·год). При массе удаленной почвы $W_{\text{эр}}$, т/(га·год), и содержании гумуса G , т/га, в слое h , м, с плотностью γ , т/м³, ежегодный его смыв водой и вынос ветром $G_{\text{эр}} = W_{\text{эр}} G / (10^4 \gamma h)$. Например, в слое $h = 0,2$ м при содержании гумуса 6 % или 0,06 массы сухой почвы масса гумуса равна $G = 0,06 \cdot 1,2 \cdot 0,2 \cdot 10000 = 144$ т/га. При ежегодной потере почвы 20 т/(га·год) вынос гумуса составит $G_{\text{эр}} = 20 \cdot 144 / (10^4 \cdot 1,2 \cdot 0,2) = 1,2$ т/(га·год), а при содержании гумуса 4 %, или 96 т/га – 0,8 т/(га·год). Коэффициент $B_{\text{эр}}$ для слабоэродированных почв равен $0,00013 / (10^{-4} \cdot 1,2 \cdot 0,2) = 0,00125$ год⁻¹,

для среднеэродированных – 0,00417, сильноэродированных – 0,00833 год⁻¹.

Наиболее трудно определимым является коэффициент скорости минерализации $B_{\text{мин}}$. Действительно, в формуле (2) при $t = 0$; $G = G_0$, а при $t \rightarrow \infty$ $G \rightarrow A/B$ при любом начальном содержании гумуса, т. е. со временем наступает равновесие между приходом новообразованного гумуса и его минерализацией, вымывом, смывом и выносом ветром. О возможности стабилизации запасов гумуса или хотя бы его подвижной части говорит А. А. Роде, М. М. Кононова и другие исследователи. Время стабилизации исчисляются несколькими сотнями лет, основная сработка гумуса происходит в пахотном горизонте. В табл. 4 приведена оценка значения коэффициента скорости

минерализации гумуса $B_{\text{мин}}$ по установившимся запасам гумуса в слое 0...20 см (по данным И. В. Тюрина) с учетом его вымывания нисходящими токами влаги, расчеты коэффициента скорости минерализации гумуса $B_{\text{мин}}$ для различных природных зон и почв. Вынос гумуса вследствие эрозии не учтен, так как предполагается, что при первоначальном накоплении гумуса поверхность почвы защищена растительным покровом. Зна-

чения коэффициента $B_{\text{мин}}$ изменяются в соответствии с условиями минерализации гумуса, для черноземов он равен примерно $0,01 \text{ год}^{-1}$, севернее и южнее его значения уменьшаются. В лесной зоне подзолистых почв при значительном количестве новообразованного гумуса из-за сильной промываемости скорость накопления гумуса мала, также как и в полупустынной зоне бурых почв из-за малого количества новообразованного гумуса.

Таблица 4

Расчеты коэффициента скорости минерализации гумуса $B_{\text{мин}}$

Зона, почвы	Запасы гумуса, т/га	Опад, т/(га·год)	Новый гумус, т/(га·год)	Промываемость, г, мм	Вымыв гумуса, т/(га·год)	A, т/(га·год)	$B_{\text{мин}}$, год^{-1}
Средняя тайга, подзолистые	53	5	0,60	125	0,438	0,163	0,0031
Южная тайга, дерново-подзолистые	75	8	0,96	114	0,399	0,561	0,0075
Широколиственная, серые лесные	109	12	1,44	97	0,340	1,101	0,0101
Лесостепь, выщелоченные черноземы	192	19	2,28	82	0,287	1,993	0,0104
Степь, типичные черноземы	224	15	1,80	56	0,196	1,604	0,0072
Степь, обыкновенные черноземы	137	14	1,68	45	0,158	1,523	0,0111
Сухая степь, каштановые	99	7	0,84	17	0,060	0,781	0,0079
Полупустыня, бурые	37	2	0,24	6	0,021	0,219	0,0059
Пустыня, серо-бурые	15	0,7	0,08	0	0	0,084	0,0056

Г. Я. Чесняк, Ф. Я. Гаврилюк и другие (1983) сравнили запасы гумуса в 30-сантиметровом слое почвы по карте, составленной В. В. Докучаевым в 1881 году, и по данным съемок 1981 года. При скорости минерализации $0,01 \text{ год}^{-1}$ получены темпы поступления гумуса в естественной степи и после интенсивного сельскохозяйственного освоения, когда поступление гумуса сократилось примерно

на 1/3 (см. табл. 3). Главными причинами сработки запасов гумуса считают отчуждение значительной части (около половины) биомассы с урожаем, которое не компенсируется органическими удобрениями, несмотря на то что продукция надземной части растет за счет урожайных сортов, о чем свидетельствуют данные украинских почвоведов (табл. 5), а также эрозию почвы.

Таблица 5

Уменьшение прироста фитомассы при распашке

Чернозем	Место исследования	Прирост фитомассы, т/(га·год)		
		Надземная	Подземная	Вся
В естественных биогеоценозах				
Типичный Обыкновенный Южный	Заповедник «Михайловская целина»	4,2	11,2	15,4
	Заповедник «Хомутовская степь»	3,8	10,9	14,7
	Заповедник «Аскания Нова»	3,5	13,2	16,7
В агроценозах				
Типичный Обыкновенный Южный	Сумская область	7,7	3,6	11,3
	Харьковская область	5,6	3,3	8,9
	Запорожская область	4,9	2,8	7,7
	Херсонская область	4,3	2,2	6,5

Ниже приводятся темпы сработки запасов гумуса на землях Михайловского

стационара при распашке (А. М. Гринченко) и вычисленные по формуле (2) при

$A = 1$ т/(га·год) и $B = 0,01$ год⁻¹:

Угодье	Запасы гумуса, т/га	Вычисленные запасы, т/га
Целина	240	240
Пашня 12 лет	229	224
37 лет	213	197
52 года	176	183
90 лет	159	157

Вычисленные запасы почти совпадают с измеренными, что подтверждает правильность формулы (2), которую можно использовать для прогнозных расчетов и оценки мелиоративных приемов с позиций сохранения гумуса.

Если по результатам прогнозных расчетов на всю ротацию севооборота ожидается снижение запасов гумуса, то необходимо вносить органические удобрения под те культуры, при возделывании

которых происходит наибольшая минерализация гумуса.

По формуле (2) можно установить время перехода запасов гумуса с одного установившегося уровня на другой, вызванный, например, распашкой территории. При постоянстве $B = 0,01$, т. е. без эрозии, запасы гумуса уменьшатся на 0,9 возможного за время стабилизации $t_{\text{стаб}} = (1/(1-0,9)) = 230$ лет; а на 0,8 от возможного – за $t_{\text{стаб}} = (1/0,01) \cdot \ln(1/(1-0,8)) = 160$ лет. При средней эродируемости значение коэффициента B возрастает до 0,015 и время стабилизации запасов гумуса на уровне 0,9 сократится до 154 лет, а на уровне 0,8 – до 107 лет.

Усредненные по экономическим районам темпы сработки гумуса приведены в табл. 6 (по И. П. Айдарову).

Таблица 6

Темпы сработки запасов гумуса на пашне по экономическим районам, т/(га·год)

Экономический район	Годы				
	1967–71	1981–85	1986–90	1995	2000
Северный	0,31	0,31	0,55	0,26	0,31
Северо-Западный	0,30	0,37	0,47	0,42	0,50
Центральный	0,34	0,19	0,19	0,60	0,71
Волго-Вятский	0,52	0,29	0,20	0,53	0,63
Центрально-Черноземный	0,80	0,34	0,51	0,68	0,80
Поволжский	0,68	0,50	0,50	0,65	0,77
Северо-Кавказский	0,88	0,56	0,72	0,95	1,12

Данные таблицы 6 показывают, что совершенствование ведения сельского хозяйства (улучшение агротехники, рост урожайности, применение удобрений, борьба с эрозией, не повсеместное орошение в небольших масштабах) до 1990 года приводило к уменьшению темпов сработки гумуса, но еще не остановило этот процесс. После экономической реформы и резкого упадка сельского хозяйства скорость сработки гумуса опять увеличилась.

1. Земледелие с почвоведением / А. М. Лыков [и др.] – М.: Агропромиздат, 1985. – 431 с.

2. Гумусовое состояние черноземов. / Г. А.Чесняк [и др.]: В кн. «Русский чернозем – 100 лет после Докучаева». – М.: Наука, 1983. – 176 с.

Материал поступил в редакцию 03.06.14.

Голованов Александр Иванович, доктор технических наук, профессор

Тел. 8-916-341-35-51

E-mail: a.i.golovanov@mail.ru