



УДК 631.411.4(571.51)

Моделирование содержания гумуса в почвах земледельческой части Красноярского края

А. А. Шпедт¹, П. В. Вергейчик²

¹*Сибирский федеральный университет, Красноярск*

²*Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск*

E-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru

Аннотация. Показаны наличие связи между содержанием гумуса в пахотных почвах земледельческой части Красноярского края, рядом климатических показателей и чистой первичной продукцией агроценозов и исследованы параметры этой связи. Предложена математическая модель, отражающая изменения содержания гумуса в почвах в зависимости от суммы осадков за период с температурой выше +10 °С, длительностью периода с температурой выше +5 °С и продукцией агроценозов. Обсуждаются необходимость и возможности прогнозирования содержания гумуса в пахотных почвах в условиях изменяющегося климата и при мониторинге плодородия почв сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: почва, содержание гумуса, климатические показатели, продукция агроценоза, корреляционно-регрессионный анализ, математическая модель.

Введение

Содержание гумуса служит важнейшей составляющей экологической, агрохимической характеристики почв и является одним из основных критериев при их бонитировке. Многие специалисты считают, что одним из основных факторов, определяющих гумусное состояние почв, является климат [2; 4; 8]. По мнению М. В. Кудеярова с соавторами [3]: «Климат – основной фактор почвообразования и эволюция почв тесно связана с изменением климата». Климат определяет водно-воздушный и тепловой режим почв, окислительно-восстановительные условия, состав и активность функционирования микробоценоза, продуктивность растений, направленность и интенсивность процессов минерализации и гумификации. Связь гумусного состояния почв с климатом ранее была изучена М. И. Дергачевой и Н. Н. Рябовой [5; 6]. Они выявили корреляционные связи между климатическими показателями и гумусным состоянием почв горных регионов юга Сибири. Установлена сопряжённость содержания гуминовых кислот (Скг) с теплообеспеченностью, содержания фульвокислот (Сфк) с увлажнением, а соотношения Скг:Сфк – со всеми основными показателями климата. Вышеуказанное предполагает, что содержание гумуса в почвах в значительной степени определяется климатическими условиями и между ними существует дос-

товерная зависимость. Можно предположить, что по параметрам климата с определённой долей вероятности возможно прогнозировать гумусное состояние почв.

Реализация такого подхода на практике позволит расширить мониторинговые исследования сельскохозяйственных угодий, прогнозировать изменения содержания гумусовых соединений в почвах при разной интенсивности использования последних, при залужении и оставлении в залежь.

В настоящей работе сделана попытка исследовать такую сопряжённость на примере пахотных почв земледельческой части Красноярского края.

Материалы и методы

Оценка сопряжённости гумусного состояния почв и климата выполнялась посредством корреляционно-регрессионного анализа. Использовались следующие значения, определённые для 23 административных районов земледельческой части Красноярского края: средневзвешенное для района содержание гумуса в пахотных почвах [7]; климатические показатели (среднегодовая температура воздуха, длительность периодов с температурами выше 0 и +5 °С, длительность периода с температурой выше +10 °С (период биологической активности почв ПБА), сумма (Σ) температур за периоды с температурами выше 0 и +5 °С, сумма температур за период с температурой выше 10 °С (сумма активных температур), сумма осадков за год, сумма осадков за май-июнь, сумма осадков за период с температурой выше +10 °С, гидротермический коэффициент (ГТК), продолжительность безморозного периода (ПБП)); чистая первичная продукция (NPP) агроценоза, рассчитанная через среднюю районную урожайность зерновых культур.

Однофакторный корреляционно-регрессионный анализ выполнялся с помощью программы Excel из пакета MS Office, а многофакторный – программы StatSoft v. 6.0. Достоверность полученных результатов в первом случае оценивалась по критерию Стьюдента, во втором – через критерий Фишера. Посредством множественного корреляционно-регрессионного анализа построены математические модели, отражающие зависимость между содержанием гумуса в почве и климатическими параметрами, а также NPP.

Результаты и обсуждение

Наиболее тесная прямая, достоверная зависимость гумусного состояния почв была выявлена со следующими показателями: среднегодовая температура воздуха, длительность периодов с температурой выше 0 и +5 °С, сумма осадков за период с температурой выше +10 °С, ГТК (табл. 1). Во всех случаях коэффициент корреляции был выше, либо равен 0,6

По данным Д. С. Орлова [8], наиболее информативным показателем, отражающим ясную и однозначную связь с гумусным состоянием почв, служит ПБА почв. Данный показатель коррелирует как с общим содержанием гумуса в верхних горизонтах почвы, так и с отношением гуминовых и фульвокислот Сгк:Сфк, отражающим глубину гумификации. Для условий Красноярского края также выявлена тесная зависимость между содержи-

ем общего гумуса, подвижных гумусовых веществ и ПБА почв [10]. Полученные данные не опровергают наличие такой зависимости. Коэффициент корреляции между содержанием гумуса и ПБА показывает наличие прямой, средней зависимости. Связь достоверна по критерию Стьюдента. Однако в данном исследовании более тесная зависимость была зафиксирована с другими показателями, характеризующими условия тепло- и влагообеспеченности. На основе полученных результатов можно сделать заключение о том, что гумусное состояние пахотных почв земельной части Красноярского края наиболее тесно связано с количеством осадков, выпавших за период с температурой выше +10 °С и длительностью периода температур выше +5 °С. Коэффициент детерминации, показывающий долю (процент) изменений, зависящих в данном явлении от изучаемых факторов, составил соответственно 0,56–0,59 или 56–59 %.

0.

Таблица 1

Зависимость содержания гумуса в пахотных почвах Красноярского края от показателей климата ($n = 23$, $t_{05} = 2,08$)

Показатель	$r \pm Sr$	r^2	$t_{ф}$
Среднегодовая t воздуха, °С	0,60±0,17*	0,36	3,53
Период с $t > 0$ °С, дни	0,71±0,15*	0,50	4,73
Период с $t > +5$ °С, дни	0,77±0,14*	0,59	5,50
ПБА, дни	0,50±0,19*	0,25	2,63
\sum температур за период > 0 °С	0,00±0,22	0,00	0,00
\sum температур за период $> +5$ °С	0,59±0,18*	0,35	3,28
\sum температур за период $> +10$ °С	0,27±0,21	0,07	1,29
\sum осадков за год, мм	-0,11±0,22	0,01	0,50
\sum осадков за май-июнь, мм	0,42±0,20*	0,18	2,11
\sum осадков за период с $t > +10$ °С, мм	0,75±0,14*	0,56	5,36
ГТК	0,61±0,17*	0,37	3,59
ПБП, дни	0,22±0,21	0,05	1,05

Примечание: r – коэффициент линейной корреляции; Sr – ошибка коэффициента корреляции; r^2 – коэффициент детерминации; $t_{ф}$ – фактическое значение t -критерия Стьюдента; * – показатели, достоверно коррелирующие с содержанием гумуса в почве.

Процесс образования почвенного гумуса является многофакторным и разнонаправленным. Прогнозировать содержание последнего в почве на основе одного фактора возможно только с большими погрешностями, поэтому следующим этапом исследования стало математическое моделирование содержания гумуса в почвах с использованием нескольких наиболее информативных значений.

Подбор климатических показателей для расчёта коэффициента множественной корреляции выполнялся следующим образом. Показатели выбирали из числа тех, которые имели более тесную связь с содержанием гумуса при однофакторном корреляционном анализе. При этом показатели климата не должны были иметь одинаковую природу. Другими словами, только один из показателей должен отражать влагообеспеченность, и только один –

теплообеспеченность. Пары показателей, которые наиболее тесно отражали связь содержания гумуса в почвах с показателями климата, представлены в таблице 2. Множественный коэффициент корреляции во всех случаях указывает на тесную связь климата с содержанием гумуса. Наиболее тесная зависимость зафиксирована при использовании пары: сумма осадков за период с температурой выше +10 °С и длительность периода с температурой выше +5 °С. Величина коэффициента множественной детерминации составила 0,71. Таким образом, разброс экспериментальных значений средневзвешенного содержания гумуса в почвах на 71 % определяла указанная пара показателей.

Таблица 2

Зависимость содержания гумуса в пахотных почвах Красноярского края от влаго- и теплообеспеченности ($n = 23$, $F_{05} = 3,10$)

Климатические показатели		R	R^2	F_{ϕ}
Сумма осадков за май-июнь, мм	Длительность периода с $t > +5$ °С, дни	0,73	0,53	14,92
Сумма осадков за период с $t > +10$ °С, мм	Длительность периода с $t > +5$ °С, дни	0,84	0,71	25,86
	Длительность периода с $t > 0$ °С, дни	0,80	0,64	19,72
	ПБА	0,79	0,62	17,70

Примечание: R – множественный линейный коэффициент корреляции; R^2 – коэффициент множественной детерминации; F_{ϕ} – фактическое значение критерия Фишера.

Получена математическая модель следующего вида:

$$\text{Гумус, \%} = -18,4416 + 0,0281A + 0,1273B,$$

где A – сумма осадков за период с температурой $> +10$ °С, мм; B – длительность периода с температурой $> +5$ °С, дни.

Полагаем, данное уравнение характеризуется недостаточными прогнозными свойствами, так как в 48 % случаев разница между фактическими и расчётными значениями содержания гумуса превышала 0,5 %.

Образование гумуса происходит в результате деструкции органического материала почвенными микроорганизмами, поэтому следующим шагом стало введение в модель показателя, отражающего темпы поступления растительных остатков в почву. В настоящее время накоплены данные о количестве продуцируемого растительного вещества в естественных и искусственных экосистемах. В частности, применительно к условиям Красноярского края, получены математические зависимости, позволяющие по продуктивности зерновых культур определять объём NPP в агроценозах [1]. Данный показатель отражает темпы поступления растительных остатков в почву, так как чем выше продукция агроценоза в целом, тем больше пожнивных остатков окажется в почве и подвергнется гумификации. Коэффициент линейной корреляции между значением NPP и содержанием гумуса в почвах указывает на прямую, среднюю зависимость между признаками (табл. 3).

Использование показателя продукции в многофакторном корреляционно-регрессионном анализе позволило получить ещё более тесную зависимость. При использовании в расчётах NPP коэффициент множественной детерминации увеличился до 0,79.

Таблица 3

Зависимость содержания гумуса в пахотных почвах Красноярского края от количества чистой первичной продукции агроценоза, влаго- и теплообеспеченности ($n = 23$, $t_{05} = 2,08$, $F_{05} = 2,90$)

Показатели		$r \pm Sr$	r^2	t_{05}	R	R^2	F_{ϕ}	
NPP	–	–	0,46±0,19	0,21	2,42	–	–	–
NPP	\sum осадков за период с $t > +10$ °С, мм	Период с $t > +5$ °С, дни	–	–	–	0,89	0,79	23,80

Модель, включающая показатели влаго- и теплообеспеченности, а также значение чистой первичной продукции агроценоза, имеет вид:

$$\text{Гумус, \%} = -20,3080 + 0,0205 A + 0,1349 B + 0,0237 C,$$

где A – сумма осадков за период с температурой $> +10$ °С, мм; B – длительность периода с температурой $> +5$ °С, дни; C – NPP, ц/га.

Представленная модель применима в пределах следующих максимальных и минимальных значений: сумма осадков за период с температурой $> +10$ °С – 146–257 мм; длительность периода с температурой $> +5$ °С – 134–159 дней, NPP – 26–137 ц/га.

В таблице 4 показаны средневзвешенные фактические и расчётные значения содержания гумуса в пахотных почвах административных районов Красноярского края, которые практически совпадают. Отклонения максимальных и минимальных значений содержания гумуса незначительны (в пределах 0,08–0,24 %). В 65 % случаев различия между фактическими и расчётными значениями содержания гумуса не превышают 0,5 %. Очевидно, если в модель будут вводиться не обобщённые средневзвешенные данные, а конкретные фактические значения, то прогнозируемые величины содержания гумуса в почвах станут более вероятными.

Полагаем, что представленная модель может быть использована для практического применения в земледельческой зоне Красноярского края прежде всего для контроля и прогнозирования содержания гумуса в пахотных почвах в условиях изменяющегося климата. Вместе с тем данный подход может быть использован при проведении мониторинговых исследований гумусного состояния почв, находящихся длительное время в залежном состоянии, при залужении и проведении всевозможного рода рекультиваций.

Таблица 4

Фактические и расчётные значения содержания гумуса в пахотных почвах административных районов Красноярского края, %

№	Административный район	Значения, %		Разница между фактическим и расчётным значением, %
		фактические	расчётные	
1	Абанский	4,80	5,11	-0,31
2	Ачинский	6,40	6,54	-0,14
3	Бирлюсовский	5,40	5,08	0,32
4	Боготольский	7,40	6,40	1,00
5	Богучанский	4,40	4,61	-0,21
6	Большемуртинский	5,90	6,11	-0,21
7	Большеулуйский	5,80	5,86	-0,06
8	Дзержинский	4,20	4,82	-0,62
9	Енисейский	4,40	5,08	-0,68
10	Идринский	8,80	7,66	1,14
11	Ирбейский	6,70	6,23	0,47
12	Казачинский	4,60	4,41	0,19
13	Канский	5,70	6,25	-0,55
14	Кежемский	2,80	2,72	0,08
15	Краснотуранский	7,30	7,67	-0,37
16	Назаровский	9,00	8,76	0,24
17	Пировский	4,20	4,55	-0,35
18	Рыбинский	6,10	5,14	0,96
19	Саянский	6,90	6,57	0,33
20	Сухобузимский	7,00	6,30	0,70
21	Тюхтетский	5,20	6,73	-1,53
22	Ужурский	7,80	7,81	-0,01
23	Уярский	6,40	6,06	0,34
	Среднее	5,97	5,93	0,04
	Max	9,00	8,76	0,24
	Min	2,80	2,72	0,08

За последние 20 лет в Красноярском крае стихийной консервации подверглось около миллиона гектаров пахотных земель [9], часть из которых ныне вновь вовлекается в сельскохозяйственное производство. Используя предлагаемый подход прогнозирования содержания гумуса в почвах по конкретным показателям климата и продукции агроценозов, можно оперативно выявить сельскохозяйственные районы, где произошло наиболее полное восстановление почвенного плодородия, что позволит существенно сократить затраты на ведение агрохимического мониторинга.

Заключение

В результате проведённых исследований установлено наличие связи между содержанием гумуса в пахотных почвах земледельческой части Красноярского края, рядом климатических показателей и чистой первичной продукцией агроценозов и исследованы параметры этой связи. Прямые и

сильные зависимости выявлены между содержанием гумуса, суммой осадков за период с температурой выше +10 °С и длительностью периода с температурой выше +5 °С. Связь между содержанием гумуса и продукцией агроценозов прямая и средняя. На основе данных сопряженностей построены уравнения множественной регрессии, используя которые можно прогнозировать и контролировать содержание гумуса в почвах. Предложена модель изменения содержания гумуса в почве.

Предлагаемый подход может применяться для контроля и прогнозирования содержания гумуса в пахотных почвах в условиях изменяющегося климата, для мониторинга гумусного состояния почв сельскохозяйственных угодий и рекультивируемых земель.

Список литературы

1. Александрова С. В. Система информационного обеспечения исследований углеродного и азотного циклов в агроэкосистемах Средней Сибири : дис. ... канд. биол. наук / С. В. Александрова. – Красноярск, 2001. – 133 с.
2. Ведрова Э. Ф. Реакция некоторых свойств почвы на изменение экологических условий / Э. Ф. Ведрова // Почвы Сибири: особенности функционирования и использования. – Красноярск : Изд-во Краснояр. гос. аграр. ун-та, 2009. – С. 73–81.
3. Глобальные изменения климата и почвенный покров / В. Н. Кудеяров [и др.] // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1027–1042.
4. Дергачева М. И. Реконструкция условий почвообразования педогумусовым методом / М. И. Дергачева // Экология и почвы – Пушино : Ин-т фундам. проблем биологии, 1998. – С. 263–283.
5. Дергачева М. И. Коррелятивные связи состава гумуса и климатических показателей в условиях горных территорий юга Сибири / М. И. Дергачева, Н. Н. Рябова // Вестн. Томск. гос. ун-та. – 2005. – № 15. – С. 68–71.
6. Дергачева М. И. Эколого-гумусовые связи горных стран и возможности использования их при реконструкции палеоприродной среды / М. И. Дергачева, Н. Н. Рябова // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2006. – С. 37–41.
7. Концепция сохранения и повышения плодородия почв Красноярского края на период 2006–2010 гг. / Ю. П. Танделов [и др.] – Красноярск, 2005. – С. 9.
8. Орлов Д.С. Химия почв : учебник / Д. С. Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1985. – 376 с.
9. Проведение эколого-экономической оценки плодородия залежных земель Красноярского края и разработка мероприятий по восстановлению их в пашню или трансформации в залежь : Заключительный отчет о научно-исследовательской работе (договор № 92-18 от 01.08.2007 между Агентством сельского хозяйства администрации Красноярского края и КрасГАУ). – Красноярск, 2007. – 78 с.
10. Шпедт А. А. Трансформация органического вещества черноземов под влиянием многолетней залежи / А. А. Шпедт, Л. Р. Мукина // Сиб. вестн. с./х. науки. – 2008. – № 3. – С. 16–19.

Modelling of Quantity of a Humus in Soils of Agricultural Part of the Krasnoyarsk Region

A. A. Shpedt¹, P. V. Vergeyichik²

¹*Siberian Federal University, Krasnoyarsk*

²*Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk*

Abstract. There is a communication between quantity of a humus in soils of agricultural part of the Krasnoyarsk region, climate and production of agrocenoses. The mathematical model reflecting quantity of a humus in soils is presented. Need and possibility of forecasting of quantity of a humus for arable soils in the conditions of variable climate and monitoring of fertility of soils is proved.

Keywords: soil, humus quantity, climatic indicators, agrocenosis production, correlation and regression analysis, mathematical model.

*Шпедт Александр Артурович
доктор сельскохозяйственных наук
профессор
Сибирский федеральный университет
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
тел.: (391) 291–29–42
e-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru*

*Shpedt Aleksandr Arturovich
Doctor of Sciences (Agriculture)
Professor
Siberian Federal University
79, Svobodny av., Krasnoyarsk, 660041
tel.: (391) 291–29–42
e-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru*

*Вергейчик Павел Викторович
аспирант
Красноярский государственный аграр-
ный университет
660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90
тел.: (391) 227–36–09
e-mail: Pavelverg@mail.ru*

*Vergeyichik Pavel Viktorovich
Doctoral Student
Krasnoyarsk State Agricultural University
90, Mira av., Krasnoyarsk, 660049
tel.: (391) 227–36–09
e-mail: Pavelverg@mail.ru*