

4. Ivanov I.V. Chernozem: reshenie problem genezisa // Tez. dokl. 2 S"ezda Ob-va pochvedov, Sankt-Peterburg, 27-30 iyunya, 1996. – Kn. 2. – M., 1996. – S. 57-58.

5. Burlakova L.M., Tatarintsev L.M., Rassypnov V.A. Pochvy Altaiskogo kraja: Uchebnoe posobie / Altaiskii SKhL. – Barnaul, 1988. – 72 s.

6. Urazaev N.A., Vakulin A.A., Nikitin A.V. i dr. Sel'skokhozyaistvennaya ekologiya. – M.: Kolos, 2000. – 304 s.

7. Aleksandrova V.D., Bazilevich N.I., Zanin G.V. i dr. Prirodnye raiony Altaiskogo kraja (bez Gorno-Altayskoi AO) // Prirodnoe raionirovanie Altaiskogo kraja. – M.: AN SSSR, 1958. – S. 161-202.

8. Mukha V.D., Kartamyshev N.I., Kochetov I.S. i dr. Agropochvovedenie. – M.: Kolos, 1994. – 528 s.

9. Chernikov V.A., Aleksakhin R.M., Golubev A.V. i dr. Agroekologiya. – M.: Kolos, 2000. – 536 s.

10. Reimers N.F. Prirodopol'zovanie: Slovar'-spravochnik – M.: Mysl', 1990. – 639 s.

11. Tolchel'nikov Yu.S. Eroziya i deflyatsiya pochv. Sposoby bor'by s nimi. – M.: Agropromizdat, 1990. – 158 s.

12. Burlakova L.M., Morkovkin G.G. Sovremennoe sostoyanie plodorodiya chernozemov Altaiskogo kraja i problemy ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya // Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk – 2003. – № 5. – S. 49-50.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ и Администрации Алтайского края, гранты № 13-04-98055 и № 25-13ф по региональному конкурсу.



УДК 631.411.4(571.51)

А.А. Шпедт, П.В. Вергейчик
A.A. Spedt, P.V. Vergeyčik

**ОЦЕНКА СКОРОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ ЗАЛЕЖИ**

**EVALUATION OF RESTORATION RATE OF HUMUS STATUS OF SOILS OF THE IDLE LANDS
IN THE KRASNOYARSK REGION**

Ключевые слова: залежь, почва, гумус, подвижные гумусовые вещества, климатические показатели, корреляционно-регрессионный анализ, математическая модель.

Keywords: idle land, soil, humus, labile humus substances, climatic indices, correlation and regression analysis, mathematical model.

Установлены математические зависимости между количеством гумуса, лабильных гумусовых веществ в почвах залежей разного возраста земельной части Красноярского региона и климатом. Показан тренд содержания гумусовых веществ в почвах под залежами. Предложены математические модели, отражающие скорость накопления гумусовых соединений в почвах под влиянием залежи. Используя модели, можно оперативно выявить сельскохозяйственные районы, где произошло наиболее полное восстановление почвенного плодородия, что позволит существенно сократить затраты на ведение агрохимического мониторинга и эффективно использовать земельные ресурсы.

Mathematical dependences between the amount of humus, the amount of labile humus substances in the soils of idle lands of the agricultural part of the Krasnoyarsk Region and the climate are revealed. The trends of humus substances content in the soils of idle lands are discussed. The mathematical models which reflect the rate of humic compounds accumulation in the soils of idle lands are proposed. The models may be used to quickly identify the farmlands where the most complete recovery of soil fertility occurred. That may enable reducing the costs for agrochemical monitoring and efficiently using the land resources.

Шпедт Александр Артурович, д.с.-х.н., доцент, проф. каф. географии, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск. Тел.: 983-153-04-95. E-mail: shpedtalexandr@rambler.ru.

Вергейчик Павел Викторович, аспирант, Красноярский государственный аграрный университет. Тел.: 950-407-32-13. E-mail: Pavelverg@mail.ru.

Spedt Aleksandr Arturovich, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Prof. of Geography Chair, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Ph.: 983-153-04-95. E-mail: shpedtalexandr@rambler.ru.

Vergeychik Pavel Viktorovich, Post-Graduate Student, Krasnoyarsk State Agricultural University. Ph.: 950-407-32-13. E-mail: Pavelverg@mail.ru.

Введение

В.В. Докучаев определил климат как один из факторов почвообразования. Климат оказывает влияние на водно-воздушный и тепловой режимы почв, на состав и характер поступления растительных остатков, на видовой состав и интенсивность жизнедеятельности микроорганизмов, физико-химические свойства почв. Интенсивность и направление гумификации растительного вещества в той или иной степени зависят от климата, а содержание гумуса в почве в значительной степени определяется климатическими параметрами. Полагаем, что, используя климатические данные, с большой вероятностью можно прогнозировать содержание гумуса в почве при залужении и оставлении почвы в залежь.

Объекты и методы

Изучение влияния разновозрастных залежей на гумусное состояние почв проводилось в 2005-2010 гг. в ряде административных районов Красноярского края (табл. 1). Использовался сравнительный анализ ряда аналогичных почв залежных и распаханых участков. Схемы опытов включали два варианта: 1 – пашня длительного срока пользования; 2 – разновозрастная залежь. Для нивелирования пестроты почвенного плодородия каждый объект характеризовался десятью смешанными почвенными образцами. Образцы отбирали на глубине 25 см при помощи агрохимического бура. Каждый смешанный образец состоял из 10-15 единичных проб. Подготовка почвенных образцов заключалась в высушивании, измельчении и просеивании через сито 1 мм.

Содержание гумуса определяли по методу И.В. Тюрина. Для извлечения подвижной части гумуса использовали 0,1 н раствор щелочи ($C_{0,1 \text{ н NaOH}}$) при соотношении почвы и реактива 1:20. Данную фракцию гумусовых веществ разделяли на гуминовые кислоты и фульвокислоты. Гуминовые кислоты (ГК) осаждали серной кислотой, а содержание фульвокислот (ФК) определяли по разности общего количества гумусовых веществ в 0,1 н NaOH и гуминовых кислот. Для характеристики подвижных гумусовых веществ рассчитывали отношение гуминовых кислот и фульвокислот (ГК:ФК). Прописи методик изложены в научном руководстве [1].

Оценка сопряженности гумусного состояния почв и климата выполнялась посредством

корреляционно-регрессионного анализа. Использовались климатические значения, информативность которых в отношении содержания гумусовых веществ была доказана ранее [2]. Однофакторный корреляционно-регрессионный анализ выполнялся с помощью программы Microsoft Office Excel, а многофакторный – StatSoft 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 содержания гумуса и подвижных гумусовых веществ в почве с климатическими параметрами.

Результаты и их обсуждение

Самые низкие темпы накопления гумуса зафиксированы в черноземе выщелоченном Сухобузимского района со сроком залежи 15 лет (табл. 1). В темно-серой лесной почве Ирбейского района со сроком залежи 10 лет накапливалось 0,010% С в год, что значительно ниже среднего значения. Количество подвижных гумусовых веществ возросло всего на 2,7 мг С/100 г почвы. Малое количество гумусовых веществ, накопленных в процессе консервации почвы, обусловлено двумя факторами. Первый – климат, важнейшей характеристикой которого служит период с суммой температур больше 10⁰С. В Ирбейском районе он длится всего 107 дней. Доказано, что в условиях земледельческой зоны Красноярского края накопление гумуса и подвижных гумусовых веществ в условиях залежи происходит пропорционально данному периоду [3]. Второй – первоначальное количество гумусовых веществ в почве на момент перевода пашни в залежь. При достаточно высоком начальном содержании гумусовых веществ в почве их дальнейшее накопление под влиянием залежи идет медленно.

Самые высокие значения содержания гумуса были зафиксированы в Минусинском районе на черноземе обыкновенном. Здесь на протяжении 7 лет под влиянием залежи накапливалось 0,276% С гумуса и 56,3 мг С/100 г почвы подвижных гумусовых веществ в год. В этом же районе в черноземе оподзоленном ежегодная прибавка гумуса составляла 0,140% С на протяжении 14 лет. Чернозем обыкновенный накапливал 0,090% С ежегодно на протяжении 5 лет.

Увеличение содержания подвижных гумусовых веществ происходило, соответственно, на 32,6 и 12,6 мг С/100 г почвы в год. Содержание гумуса в почвах достаточно тесно коррелирует с периодом с суммой температур больше 10°C (табл. 2). В Минусинском районе этот период длится дольше, чем в других районах. Здесь он продолжается 122 дня, и это обусловило большую скорость накопления гумусовых веществ в почвах.

В Сухобузимском районе прибавка почвенного гумуса составляла 0,104% С ежегодно на протяжении 20 лет пребывания почвы в залежи (табл. 1). При этом накапливалось 15,8 мг С/100 г почвы подвижных гумусовых веществ в год.

В почве других объектов полученные данные по содержанию гумусовых веществ были близки к среднему значению, равному 0,072% С в год. Так, содержание гумуса увеличивалось в Большемуртинском и Новоселовском районах на 0,032-0,046% С, Дзержинском и Балахтинском районах – на 0,050-0,056% С, Уярском районе – на 0,073% С.

Процесс аккумуляции подвижных гумусовых веществ в почве изучаемых объектов, в общем, повторяет накопление общего количества гумуса. Отрицательное значение в одном из случаев обусловлено, по-видимому, коротким сроком пребывания почвы в за-

лежном состоянии. Так, согласно литературным данным, в течение первых 3-5 лет после вывода пашни из сельскохозяйственного производства баланс органического углерода в почве может быть отрицательным [4]. Большинство объектов по содержанию подвижных гумусовых веществ были близки к среднему значению, которое составило 13,9 мг С/100 г почвы.

Достаточно сложно проследить закономерности изменения отношения гуминовых и фульвокислот подвижных гумусовых веществ. Полагаем, что при высокой интенсивности разложения органических материалов фракционный состав вновь образованных гумусовых соединений нестабилен, а направление трансформации новообразованных гумусовых веществ определяется гидротермическим режимом почв. Данный режим в первую очередь обусловлен складывающимися погодными условиями в залежный период. Полученные данные, за некоторым исключением, позволяют утверждать, что в наиболее увлажненных районах, отношение ГК:ФК всегда меньше 1, а в засушливых, наоборот, больше 1. Например, в самом северном, достаточно увлажненном Большемуртинском районе отношение ГК:ФК изменялось от 0,30 до 0,81, а в самом южном, остепененном и сухом Минусинском районе данное отношение составляло 1,16-1,34.

Таблица 1

Исходные данные для оценки скорости восстановления гумусного состояния почв под влиянием многолетней залежи

Административный район	Объект исследования			наименование почвы, срок залежи	Накопление		ГК:ФК
	показатели климата				гумуса, % С/год	C _{0,1} и NaOH, мг/100 г почвы/год	
	период с		сумма осадков за период с t >10°C, мм				
t >5°C, дни	t >10°C, дни						
Ирбейский	148	107	212	Темно-серая лесная, 10 лет	0,010	2,7	1,31
				Чернозем выщелоченный, 15 лет	0,058	9,1	0,89
Большемуртинский	146	104	190	Чернозем выщелоченный, 15 лет	0,046	1,3	0,30
				Чернозем выщелоченный, 5 лет	0,032	-8,8	0,81
Балахтинский	147	103	214	Чернозем обыкновенный, 15 лет	0,056	12,6	1,30
Сухобузимский	149	104	191	Чернозем обыкновенный, 20 лет	0,104	15,8	1,20
				Чернозем выщелоченный, 15 лет	0,007	8,4	1,03
Новоселовский	148	105	206	Чернозем обыкновенный, 10 лет	0,044	10,0	1,30
Уярский	148	108	208	Чернозем оподзоленный, 15 лет	0,073	26,3	1,20
Дзержинский	141	108	190	Чернозем выщелоченный, 8 лет	0,050	8,6	0,68
Назаровский	153	107	243	Чернозем выщелоченный, 15 лет	0,025	7,1	1,63
Минусинский	159	122	234	Чернозем оподзоленный, 14 лет	0,140	32,6	1,16
				Чернозем обыкновенный, 7 лет	0,276	56,3	1,22
				Чернозем обыкновенный, 5 лет	0,090	12,6	1,34
Среднее в год	-	-	-	-	0,072	13,9	1,09

Таблица 2

Зависимость содержания гумуса почвы от показателей климата
($n = 14$, $t_{теор05} = 2,11$, $F_{Rтеор05} = 2,53$)

Показатель	$r \pm Sr$	$t_{факт}$	R	$F_{факт}$
Период с $t > 10^{\circ}C$	$0,70 \pm 0,20$	3,50	-	-
Период с $t > 5^{\circ}C$	$0,66 \pm 0,21$	3,14	-	-
Сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}C$	$0,37 \pm 0,28$	1,32	-	-
Период с $t > 10^{\circ}C$, сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}C$	-	-	0,73	6,17
Период с $t > 5^{\circ}C$, сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}C$	-	-	0,73	6,17

Таблица 3

Зависимость содержания подвижных гумусовых веществ от показателей климата
($n = 14$, $t_{теор05} = 2,11$, $F_{Rтеор05} = 2,53$)

Показатель	$r \pm Sr$	$t_{факт}$	R	$F_{факт}$
Период с $t > 10^{\circ}C$	$0,75 \pm 0,18$	4,16	-	-
Период с $t > 5^{\circ}C$	$0,68 \pm 0,20$	3,40	-	-
Сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}C$	$0,47 \pm 0,25$	1,88	-	-
Период с $t > 10^{\circ}C$, сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}C$	-	-	0,75	7,42
Период с $t > 5^{\circ}C$, сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}C$	-	-	0,69	5,06

Для залежных почв России, согласно данным И.Н. Кургановой с соавторами [5], в зависимости от методики расчетов, содержание органического углерода с 1990 по 2004 гг. в слое 0-20 см увеличилось на 1,6-5,8%, что соответствует 0,11-0,39% углерода в год. По другим данным [6], полученным на черноземах обыкновенных юга России, ежегодная скорость восстановления общего содержания углерода органического вещества почв в слое 0-15 см, в первые 10 лет составляла 0,025% углерода, в последующие 10 лет – 0,005%, а в течение следующих 56 лет – 0,001%. Учитывая большой разброс научных литературных данных по данному вопросу и огромное варьирование значений по содержанию органического углерода почвы, от 0,025 до 0,39% в год, полученное в наших исследованиях значение, соответствующее 0,072% С в год, сопоставимо с результатами других исследователей.

Наиболее тесная связь фиксировалась между содержанием гумуса и парами показателей, такими как период с температурами $> 5^{\circ}C$, сумма осадков за период с температурой $> 10^{\circ}C$ и период с температурами $> 10^{\circ}C$, сумма осадков за период с температурой $> 10^{\circ}C$. Значение коэффициента множественной корреляции во всех случаях было равно 0,73, что указывает на тесную связь. Средняя зависимость фиксировалась между содержанием гумуса и периодами с температурами $> 10^{\circ}C$ и $> 5^{\circ}C$. Таким образом, использование множественной корреляции позволило получить более тесную зависимость между изучаемыми признаками.

Тесная зависимость фиксировалась также между содержанием подвижных гумусовых веществ и периодом с температурами $> 10^{\circ}C$

(табл. 3). Пара показателей, а именно период с температурами $> 10^{\circ}C$ и сумма осадков за период с температурой $> 10^{\circ}C$, также обеспечили тесную зависимость. Связи между содержанием подвижного гумуса и другими климатическими показателями и их комбинациями оценивались как средние.

Средняя скорость накопления углерода гумуса под влиянием залежи составляет 0,072%, или $\approx 0,12\%$ гумуса в год. Для прогнозирования содержания гумуса в почве, пребывающей в залежном состоянии, с учетом климатических условий региона предложена математическая модель вида:

$$\Delta X = (-1,6107 + 0,01418 \times A - 0,0021 \times B) \times C, \quad (1)$$

где ΔX – содержание гумуса, % С;

A – период с $t > 5^{\circ}C$, дни;

B – сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}C$, мм;

C – срок пребывания почвы в залежи, год.

Средняя скорость накопления подвижных гумусовых веществ в условиях многолетней залежи равна 13,9 мг С/100 г почвы в год. Для прогнозирования данного показателя можно использовать математическую модель вида:

$$\Delta X = (-167,0420 + 1,8290 \times A - 0,0970 \times B) \times C, \quad (2)$$

где ΔX – содержание подвижных гумусовых веществ, мг/100 г почвы;

A – период с $t > 10^{\circ}C$, дни;

B – сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}C$, мм;

C – срок залежи, год.

Полагаем, что представленные модели могут быть использованы для практического применения в земледельческой зоне Красноярского края. Прежде всего для контроля и

прогнозирования содержания гумусовых веществ в почвах, находящихся длительное время в залежном состоянии, после залужения, и всевозможного рода рекультиваций.

За последние 20 лет в Красноярском крае стихийной консервации подверглось около миллиона гектаров пахотных земель [7], часть из которых в настоящее время вновь вовлекается в сельскохозяйственное производство. Используя предлагаемый подход, можно оперативно выявить сельскохозяйственные районы, где произошло наиболее полное восстановление почвенного плодородия, что позволит существенно сократить затраты на ведение агрохимического мониторинга.

Выводы

1. В залежных почвах земледельческой части Красноярского края тренд накопления содержания гумуса и подвижных гумусовых веществ составляет, соответственно, 0,072% С и 13,9 мг С/100 г почвы в год.

2. В условиях многолетней залежи содержание гумуса и подвижных гумусовых веществ тесно коррелирует с теплообеспеченностью и средне – с влагообеспеченностью. Пары показателей, характеризующих тепло- и влагообеспеченность, имеют тесную связь с содержанием гумуса ($R = 0,73$) и подвижных гумусовых веществ ($R = 0,69, 0,75$).

3. Предложены математические модели, позволяющие прогнозировать содержание гумуса и подвижных гумусовых веществ в почвах, находящихся длительное время в залежном состоянии.

Библиографический список

1. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. Вергейчик П.В., Шпедт А.А. Модель содержания гумуса в пахотных почвах Красноярского края с учетом климата // Девятое сибирское совещание по климатологическому мониторингу. – Томск, 2011. – С. 250-252.
3. Шпедт А.А., Мукина Л.Р. Трансформация органического вещества черноземов под влиянием многолетней залежи // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 3. – С. 16-19.
4. Романовская А.А. Органический углерод в почвах залежных земель России // Почвоведение. – 2006. – № 1. – С. 52-61.
5. Курганова И.Н. Изменение общего пула органического углерода в залежных почвах России в 1990-2004 гг. // Почвоведение. – 2010. – № 3. – С. 361-368.

6. Суханова Н.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Керимадзе В.В. Изменение содержания органического углерода и дыхательной активности чернозема обыкновенного под влиянием зарастания естественной растительностью // Гуминовые вещества в биосфере. – 2007. – С. 310-314.

7. 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 01.08.07 между Агентством сельского хозяйства администрации Красноярского края и ФГОУ ВПО КрасГАУ). – Красноярск, 2007. – 78 с.

References

1. Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv / pod red. A.V. Sokolova. – M.: Nauka, 1975. – 656 s.
2. Vergeichik P.V., Shpedt A.A. Model' soderzhaniya gumusa v pakhotnykh pochvakh Krasnoyarskogo kraya s uchetom klimata / Devyatoye sibirskoe soveshchanie po klimatologicheskomu monitoringu. – Tomsk, 2011. – S. 250-252.
3. Shpedt A.A., Mukina L.R. Transformatsiya organicheskogo veshchestva chernozemov pod vliyaniem mnogoletnei zalezhi // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. – 2008. – № 3. – S. 16-19.
4. Romanovskaya A.A. Organicheskii uglerod v pochvakh zaleznykh zemel' Rossii // Pochvovedenie. – 2006. – № 1. – S. 52-61.
5. Kurganova I.N. Izmenenie obshchego pula organicheskogo ugleroda v zaleznykh pochvakh Rossii v 1990-2004 gg. // Pochvovedenie. – 2010. – № 3. – S. 361-368.
6. Sukhanova N.I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kerimadze V.V. Izmenenie soderzhaniya organicheskogo ugleroda i dykhatel'noi aktivnosti chernozema obyknovennogo pod vliyaniem zarostaniya estestvennoi rastitel'nost'yu // Guminovye veshchestva v biosfere. – 2007. – S. 310-314.
7. Provedenie ekologo-ekonomicheskoi otsenki plodorodiya zaleznykh zemel' Krasnoyarskogo kraya i razrabotka meropriyatii po vosstanovleniyu ikh v pashnyu ili transformatsii v zalezh' / Zaklyuchitel'nyi otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote (dogovor № 92-18 ot 01.08.07. mezhdru Agentstvom sel'skogo khozyaistva administratsii Krasnoyarskogo kraya i FGOU VPO KrasGAU). – Krasnoyarsk, 2007. – 78 s.

