

УДК 631.417:632.115

ВЛИЯНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЕТА НА ПОДВИЖНОСТЬ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ И СВОЙСТВА ПОЧВЫ

© 2021 г. С. И. Новосёлов

Марийский государственный университет
424002 Йошкар-Ола, ул. Красноармейская 71, Марий Эл, Россия

E-mail: Serg.novoselov2011@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.05.2021 г.

После доработки 09.07.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Изучено влияние фотохимического воздействия световой энергии на изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы. Установлено, что под воздействием световой энергии в почве увеличивалось количество легкогидролизуемого азота и лабильных гумусовых веществ. В результате фотохимических реакций в составе лабильных гумусовых веществ снижалось содержание гуминовых кислот и повышалось — фульвокислот. Фотохимическое воздействие приводило к повышению в почве актуальной, обменной и гидролитической кислотности. Использование в севообороте отвальной обработки почвы и чистого пара снижало содержание гумуса и повышало почвенную кислотность. Полученные результаты свидетельствуют, что чем интенсивнее происходит обработка почвы и чем чаще она перемешивается, тем масштабнее разрушительное воздействие фотохимического фактора на гумус.

Ключевые слова: почва, световая энергия, лабильные гумусовые вещества, актуальная, обменная и гидролитическая кислотность.

DOI: 10.31857/S0002188121120097

ВВЕДЕНИЕ

Ценность почвы как средства сельскохозяйственного производства определяется ее способностью обеспечивать растения элементами питания, водой, воздухом, благоприятными условиями для произрастания. Эти свойства почвы формируют ее плодородие. В естественных условиях почвенное плодородие определяется генетическими особенностями и почвообразовательными процессами, а на обрабатываемых землях — и характером сельскохозяйственного использования. Сельскохозяйственная деятельность человека является глобальным фактором, влияющим на плодородие почвы и ее продуктивность. При распашке целинных земель изменяются физические, химические и биохимические свойства почвы, ускоряется круговорот биофильных элементов питания. Эти изменения не всегда носят положительный характер, поскольку в результате нерациональной деятельности человека могут приводить к деградации почв [1, 2].

Важным показателем плодородия почвы является содержание гумуса. Его образование и накопление зависит от типа почв, климатических условий, вида севооборотов, применяемой агро-

техники [3–8]. Увеличение содержания гумуса улучшает физические и агрохимические свойства почвы, ее биологическую активность, что приводит к повышению продуктивности агроценозов [9–11]. Потеря гумуса отрицательно сказывается на устойчивости почв к различным видам загрязнений, ведет к уменьшению биологического разнообразия [12, 13]. Дегумификация почв — это основной фактор ухудшения “здоровья почв” [14]. Исследованиями выявлено, что чистый пар снижает содержание гумуса в почве, применение поверхностной обработки почвы по сравнению с ежегодной вспашкой снижает темпы минерализации органического вещества [15, 16]. Внесение в севообороте органического вещества обеспечивает повышение микробиологической активности и увеличение содержания гумуса в почве [17]. Систематическое применение высоких доз минеральных удобрений может приводить к повышению почвенной кислотности и минерализации гумуса [18, 19]. Процесс минерализации органических соединений зависит от морфологических свойств почв, от происходящих в ней физико-химических и биохимических процессов [20–25]. Наименее изученным фактором, влияющим на

деструкцию гумусовых веществ в почве, является фотохимическое воздействие. Механизм фотохимического воздействия на почву недостаточно ясен и требует детального изучения. На данный период можно считать установленным, что на первом этапе воздействия света на почву он не является фактором окислительных процессов [26]. Очевидно, под воздействием фотонов света происходит разрыв химических связей, что приводит к частичному или полному разрушению гумусовых кислот и образованию веществ с меньшей молекулярной массой. Они более подвижны, не обладают свойствами гуминовых кислот и легко минерализуются почвенной микрофлорой. Цель работы – изучение воздействия световой энергии на подвижность гумусовых веществ и реакцию почвенной среды.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служила дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая почва. Исследование проводили с 2010 по 2018 г. в полевом, микрополевым и лабораторном опытах. Полевой и микрополевой опыты проводили на опытном поле, лабораторные – в агрохимической лаборатории Марийского государственного университета. В почве при закладке опыта в 2010 г. содержание гумуса составляло 1.9%, рН 6.1, H_T – 1.9 смоль/кг. Микрополевой опыт проводили в июне–июле при наступлении сухой и теплой погоды на поле с чистым паром. Площадь микроделанки составляла 0.56 м² (0.7 м × 0.8 м). Контролем являлась почва, находящаяся в естественном состоянии. Воздействие на почву солнечного света исключали путем закрытия ее белой тканью. Продолжительность эксперимента составляла 20 сут. В лаборатории для искусственного облучения почвы использовали ртутную лампу ДРЛ-400 и ультрафиолетовую лампу 30-UVC.

Влияние фотохимического воздействия на групповой состав лабильных гумусовых веществ изучали в лабораторном опыте 1. Для облучения использовали воздушно-сухую почву, пропущенную через сито с отверстиями 0.5 мм. Облучение проводили в течение 100 ч. В процессе облучения почву несколько раз перемешивали. Для экстрагирования лабильных гумусовых веществ использовали вытяжку 0.1 н. NaOH. Содержание гуминовых кислот и фульвокислот определяли в соответствии с рекомендациями ВНИИА [6].

Влияние световой энергии на изменение реакции почвенной среды изучали с использованием лабораторной установки в опыте 2. Подготовку почвы проводили аналогично опыту 1. Время об-

лучения почвы составляло 150 ч. Контролем служила почва без облучения. Повторность лабораторных анализов была двукратной. Содержание в почве легкогидролизуемого азота определяли по Корнфилду, виды почвенной кислотности – рекомендуемыми агрохимическими методами [27].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение влияния световой энергии на почву, проведенное в условиях микрополевого опыта, показало, что во все годы исследования воздействие солнечного света повышало в верхней части пахотного слоя содержание легкогидролизуемого азота и лабильных органических веществ (табл. 1). В 2012 г. за 20 сут парования открытой почвы содержание легкогидролизуемого азота возросло с 79 до 87 мг/кг, подвижных органических веществ – с 0.198% до 0.224%. В почве, закрытой от солнечного воздействия белой тканью, эти изменения были менее значимыми. Концентрация легкогидролизуемого азота составила 0.84 мг/кг, лабильных органических веществ – 0.211%. В 2013 и 2014 гг. в течение эксперимента стояла теплая и сухая погода. В эти годы эффект от фотохимического воздействия был наибольшим. В 2013 г. содержание легкогидролизуемого азота в почве, закрытой от солнечного света в период парования, возросло с 87 до 90 мг/кг, в 2014 г. оно осталось без изменений и составило 83 мг/кг. Содержание лабильных органических веществ соответственно годам исследования составило 0.161 и 0.239%. В 2013 г. в открытой парующейся почве концентрация легкогидролизуемого азота возросла на 11 мг/кг (с 87 до 98 мг/кг), в 2014 г. – на 5 мг/кг (с 83 до 88 мг/кг). Количество лабильных органических веществ соответственно возросло с 0.154 до 0.176% и с 0.232 до 0.252%. В среднем за 3 года исследования за счет фотохимического воздействия в верхнем слое почвы содержание легкогидролизуемого азота повысилось на 5 мг/кг, лабильных органических веществ – на 0.013%.

Исследованиями, проведенными с облучением почвы в лабораторном опыте 1, было выявлено, что при фотохимическом воздействии на почву изменялось как количество лабильных органических веществ, так и соотношение гуминовых и фульвокислот. В облученной в течение 100 ч почве содержание углерода лабильных органических веществ возросло с 0.181 до 0.198%. При этом количество углерода гуминовых кислот снизилось на 0.059%, а количество углерода фульвокислот возросло на 0.076%. Соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ снизилось с 0.75 до 0.10.

Таблица 1. Содержание в парующей почве лабильных органических веществ и легкогидролизуемого азота, (микрореповый опыт, слой 0–2 см почвы)

Год	Вариант	N _{лг} (по Корнфилду), мг/кг		Лабильные органические вещества (0.1 н. NaOH), C _{ЛВ} , %	
		до закладки	через 20 сут парования	до закладки	через 20 сут парования
2012	Закрытая почва	79	84	0.198	0.211
	Открытая почва	79	87	0.198	0.224
2013	Закрытая почва	87	90	0.154	0.161
	Открытая почва	87	98	0.154	0.176
2014	Закрытая почва	83	83	0.232	0.239
	Открытая почва	83	88	0.232	0.252
В среднем	Закрытая почва	83	86	0.195	0.204
	Открытая почва	83	91	0.195	0.217

Образовавшиеся под воздействием световой энергии лабильные органические вещества с пониженным содержанием гуминовых кислот и повышенным – фульвокислот изменяли реакцию почвенной среды (табл. 2). После 150 ч облучения произошло подкисление почвы. Актуальная кислотность почвы изменилась с рН 6.34 до 6.16, обменная – с рН 5.94 до 5.84, гидролитическая кислотность возросла с 1.64 до 1.94 смоль/кг.

Показано, что под воздействием световой энергии в почве происходило снижение содержания гуминовых кислот и образование фульвокислот, что привело к повышению актуальной, обменной и гидролитической кислотности. Подтверждают вышесказанное и результаты, полученные в стационарном полевом опыте. Мониторинг агрохимических показателей почвы в конце 2-й ротации 4-польных севооборотов показал зависимость между их изменениями и агротехникой возделывания. Максимальные изменения в содержании гумуса, обменной и гидролитической кислотности произошли в почве севооборота с чистым паром при использовании ежегодной отвальной вспашки. Содержание гумуса в почве снизилось на 0.12% (с 1.90 до 1.78%). Обменная кислотность повысилась на 0.2 ед. рН (с 6.1 до 5.9), гидролитическая кислотность – на 0.3 смоль/кг (с 1.9 до 2.2 смоль/кг). В почве с комбинированной обработкой в севообороте с чистым паром содержание гумуса снизилось на 0.08%, обменная кислотность возросла на 0.1 ед. рН, гидролитическая кислотность – на 0.2 смоль/кг.

Содержание гумуса в почве севооборота с занятым паром и отвальной основной обработкой почвы составило 1.80%, при применении комбинированной обработки – 1.83%. Обменная кис-

лотность при примененных обработках почвы за 8 лет не изменилась и составила 6.1 ед. рН, гидролитическая кислотность возросла при применении комбинированной обработки почвы до 2.0, при использовании ежегодной вспашки – до 2.1 смоль/кг.

Использование в севообороте отвальной обработки почвы и чистого пара, которые обеспечивали наибольшее воздействие световой энергии на почву, ускоряло процессы деструкции гумуса, что приводило к повышению почвенной кислотности. Аналогичные результаты были получены в исследовании [28]: “... интенсивная обработка пашни без компенсирующего внесения органического вещества вела к уменьшению общего количества гумуса в дерново-подзолистой почве, где концентрация гумуса снизилась за 25 лет с 1.90 в исходной почве до 1.34%. При этом происходило разрушение сложных по составу и ценных по свойствам гуминовых кислот и накопление гумусовых веществ кислой природы”. Полученные результаты объясняют причины снижения содер-

Таблица 2. Влияние световой энергии на реакцию почвенной среды (лабораторный опыт 2)

Вариант	Виды кислотности		
	актуальная рН _{H₂O}	обменная рН _{KCl}	гидролитическая (CH ₃ COONa), смоль/кг
До облучения (контроль)	6.34	5.94	1.64
После облучения	6.16	5.84	1.94
HCP ₀₅	0.15	0.09	0.12

жания гумуса и изменения реакции среды в сторону подкисления в опытах с многолетним парованием, а также изменения агрохимических показателей почвы в длительных стационарных опытах.

Проведенными исследованиями выявлено, что под воздействием световой энергии в почве повышалось содержание легкогидролизуемого азота и лабильных гумусовых веществ. Снижение концентрации гуминовых кислот и увеличение концентрации фульвокислот приводило к повышению почвенной кислотности. Изменение реакции среды обрабатываемых почв зависело не только от выноса урожаями сельскохозяйственных культур обменных катионов, эрозионных процессов, но и от фотохимического воздействия на почву. Поскольку фотохимическое влияние — явление поверхностное, то его эффект зависит от количества механических воздействий с вовлечением на поверхность все новых и новых слоев почвы. Чем интенсивнее происходит обработка почвы, чем чаще она перемешивается, тем масштабнее проявляется разрушительное воздействие фотохимического фактора на состояние гумуса.

ВЫВОДЫ

1. Под воздействием солнечного света в слое 0—2 см почвы повышалось содержание легкогидролизуемого азота и лабильных органических веществ.

2. При фотохимическом воздействии на почву изменялся групповой состав лабильных органических веществ. В облученной в течение 100 ч почве содержание углерода гуминовых кислот снизилось на 0.0595%, а количество углерода фульвокислот возросло на 0.0764%. Соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ снизилось с 0.75 до 0.10.

3. Образовавшиеся под воздействием световой энергии лабильные органические вещества с пониженным содержанием гуминовых кислот и повышенным — фульвокислот повышали в почве актуальную, обменную и гидrolитическую кислотность.

4. Использование ежегодной отвальной вспашки в качестве основной обработки почвы и введение в севооборот чистого пара активизировало процессы деструкции гумусовых веществ и повышало почвенную кислотность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 109—121.

2. FAOSTAT — 2017. <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/GL>

3. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лонес де Гереню В.О., Телеснина В.М. Содержание углерода в залежных почвах различных природно-климатических зон европейской части России // Ноосфера. 2017. № 1. С. 128—142.

4. Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф. Географические закономерности распределения и обновления легко-разлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда европейской части России // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1071—1078.

5. Семенов В.М., Козум Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 232 с.

6. Chan K.Y. Soil particulate organic carbon under different land use and management // Soil Use Manag. 2001. V. 17. № 4. P. 217—221. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2001.tb00030.x>

7. Corsi S., Friedrich T., Kassam A., Pisante M., J. de Moraes Sá. Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: Integrated crop management. Rome: FAO, 2012. V. 16. 88 p.

8. Магдофф Ф., Вейль Р. Р. стратегии управления органическим веществом почвы // Органическое вещество почвы в устойчивом сельском хозяйстве. N.Y.: CRC Press, 2004. С. 45—65.

9. Минеев В.Г., Ремне Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат, 1990. 206 с.

10. Bayer C., Mielniczuck J., Amado T.J.C., Martin-Neto L., Fernandes S.B.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil // Soil Till. Res. 2000. V. 54. P. 101—109.

11. Krull E.S., Skjemstad J.O., Baldock J.A. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Australia, Glen Osmond: CSIRO, 2004. 129 p.

12. Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Паутова Н.Б. Дисперсное органическое вещество в необрабатываемых и пахотных почвах // Почвоведение. 2019. № 4. С. 440—450.

13. Cates A.M., Ruark M.D., Hedtcke J.L., Posner J.L. Long-term tillage, rotation and perennialization effects on particulate // Soil Till. Res. 2016. V. 155. P. 371—380. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.008>

14. Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю., Глинушкин А.П., Семенов А.М. Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества // Агрохимия. 2018. № 5. С. 83—100.

15. Новоселов С.И., Завалин А.А. Роль фотохимического фактора в деструкции гумусовых веществ почвы // Агрохимия. 2013. № 1. С. 59—64.

16. Franzluebbers A.J., Arshad M.A. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture // Soil Sci. Soc. Am. J. 1997. V. 61. № 5. P. 1382—1386. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100050014x>

17. *Paul E.A.* The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization // *Soil Biol. Biochem.* 2016. V. 98. P. 109–126. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.04.001>
18. *Шевцова Л.К.* Изменение гумусного состояния и азотного фонда основных типов почв при длительном применении различных систем удобрения: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: ВИУА, 1986. 36 с.
19. *Шеуджен А.Х.* Агробиогеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб. Майкоп: ООО “Полиграф-ЮГ”, 2018. 308 с.
20. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Тулина А.С.* Минерализуемость органического вещества и углеродсеквестрирующая емкость почв зонального ряда // *Почвоведение.* 2008. № 7. С. 819–832.
21. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Тулина А.С.* Стабилизация органического вещества в почве // *Агрохимия.* 2009. № 10. С. 77–96.
22. *Gosling P., Parsons N., Bending G.D.* What are the primary factors controlling the light fraction and particulate soil organic matter content of agricultural soils? // *Biol. Fertil. Soils.* 2013. V. 49. № 8. P. 1001–1014. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0791-9>
23. *Li J., Ramirez G.H., Kiani M., Quideau S., Smith E., Janzen H., Larney F., Puurveen D.* Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects // *Can. J. Soil Sci.* 2018. V. 98. P. 1–14. <https://doi.org/10.1139/cjss-2017-0127>
24. *Marriott E.E., Wander M.* Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems // *Soil Biol. Biochem.* 2006. V. 38. № 7. P. 1527–1536. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.009>
25. *Marriott E.E., Wander M.M.* Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70. № 3. P. 950–959. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0241>
26. *Novoselov S.I.* Influence of photochemical reactions on the content and transformation of mineral nitrogen in sod-podzol soil // *Key Engin. Materials ISSN: 1662-9795.* V. 781. P. 195–199. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.781.195
27. Практикум по агрохимии / Под ред. Ягодина Б.А. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
28. *Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Соснина И.Д.* Гумусное состояние и азотный фонд дерново-подзолистой почвы Предуралья в условиях интенсивного землепользования // *Агрохимия.* 2004. № 9. С. 21–25.

Effect of Photochemical Exposure Light on the Mobility of Humus Substances and Soil Properties

S. I. Novoselov

Mari State University

Krasnoarmeyskaya ul. 71, Yoshkar-Ola 424002, Mari El, Russia

E-mail: Serg.novoselov2011@yandex.ru

The influence of photochemical exposure to light energy on changes in agrochemical parameters in sod-podzolic soil (Glossic Retisol (Loamic, Aric)) was studied. It was found that under the influence of light energy, the amount of easily hydrolyzable nitrogen and labile humus substances in the soil increased. As a result of photochemical reactions in the composition of labile humic substances, the content of humic acids decreased and the content of fulvic acids increased. Photochemical exposure led to an increase in the actual, metabolic and hydrolytic acidity in the soil. The use of dump tillage and pure steam in crop rotation reduced the humus content and increased soil acidity. The results obtained indicate that the more intensively the soil is cultivated, the more often it is mixed, the greater the destructive effect of the photochemical factor on humus.

Key words: soil, light energy, humus, actual, exchange and hydrolytic acidity.