



ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



ИЗМЕНЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРИ РЕЗКОЙ СМЕНЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Габбасова И.М.¹, Гукалов В.В.², Савич В.И.³,
Гарипов Т.Т.¹

¹ Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН

² Северо-Краснодарская с.-х. опытная станция

³ РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

E-mail: gimib@mail.ru

В серии модельных опытов на дерново-подзолистых почвах разной степени гидроморфизма и черноземе показано, что периоды переувлажнения и последующего иссушения почв приводят к резкому изменению ОВ условий среды и свойств, ее определяющих. Избыточное увлажнение почв ведет к снижению ОВП, увеличению количества закисного железа, аммиачного азота, количества анаэробных микроорганизмов. При смене избыточного увлажнения иссушением проявляется гистерезис, величина которого различна для отдельных почв и коррелирует с их буферными свойствами по отдельным показателям. Последовательное увлажнение и иссушение приводит к частично обратимым и необратимым изменениям свойств почв. Разомкнутость петли гистерезиса пропорциональна мере нестационарности состояния почв.

Ключевые слова: окислительно-восстановительное состояние почвы, гидрологический режим, гистерезис

DOI: [10.31163/2618-964X-2019-2-3-208-213](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-3-208-213)

THE CHANGE IN THE REDOX STATE OF THE SOIL WITH A SHARP CHANGE OF HYDROLOGICAL REGIME

Gabbasova I.M.¹, Gukalov V.V.², Savich V.I.³,
Garipov T.T.¹

¹ Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa

² North Krasnodar agricultural experimental station, Krasnodar

³ RSAU-MTAA named after K.A. Timiryazev, Moscow

E-mail: gimib@mail.ru

In a series of model experiments on sod-podzolic soils of varying degrees of hydromorphism and chernozem, it is shown that the periods of waterlogging and subsequent soil drying lead to a sharp change in the environmental conditions and properties that determine it. Excessive soil moisture leads to a decrease in ORP, an increase in the amount of ferrous iron, ammonia nitrogen, the number of anaerobic microorganisms. With the change of excessive moisture desiccation is manifested by hysteresis, the value of which is different for separate soil and correlated with their buffering properties of the individual indicators. Consistent moistening and drying leads to partially reversible and irreversible changes in soil properties. The openness of the hysteresis loop is proportional to the degree of unsteadiness of the soil state.

Keywords: redox state of soil, hydrological regime, hysteresis

Поступила в редакцию: 27.06.2019

ВВЕДЕНИЕ.

Резкая смена гидрологического режима почв – явление достаточно широко распространенное и может быть вызвано как природными (паводки, ливневые осадки, оползни и т.д.), так и антропогенными факторами (осушение, орошение, строительство водохранилищ и линейных сооружений и т.д.). Чередования условий увлажнения и иссушения почв за длительный промежуток времени в многолетнем и в вековом циклах (например, при изменении уровня Каспийского моря) приводят к эволюции почв, изменению их минералогического состава и гумусного состояния почв [Савич и др., 1977; Кауричев, Савич, 2003], при этом их метеочувствительность [Савич и др., 2017]. Так, для светло-каштановых легкосуглинистых карбонатных солонцеватых почв Терско-Кумской низменности, испытывающих влияние изменения уровня Каспийского моря, установлено, что при длительном иссушении территорий полугидроморфные почвы приобрели свойства автоморфных почв, и в них увеличилась степень упорядоченности вторичных минералов

[Котенко М.Е., 2011]. И наоборот, после строительства водохранилищ автоморфные почвы переходят в полугидроморфные и даже болотные [Филькин, 2011; Горохова, Куприянова, 2012; Григорьян, Кулагина, 2014]. Переувлажнение и иссушение почв – явление, регулярно происходящее в течение вегетационного периода в зависимости от конкретных метеоусловий, прежде всего с температурой и влажностью. Связанные с ними изменения свойств почв описываются замкнутыми и/или незамкнутыми петлями гистерезиса. Из наличия циклов таких изменений состоит весь почвообразовательный процесс, при этом степень разомкнутости петли соответствует степени нестационарности состояния почв и интенсивности их эволюции. Одним из показателей, чутко реагирующих на переувлажнение и иссушение, является буферная емкость почв в окислительно-восстановительном (ОВ) интервале, с которым тесно коррелирует гистерезис. Как правило, для пахотных почв он выше, чем для целинных. Так, например, для лесной дерново-подзолистой почвы площадь гистерезиса, по данным сезонной динамики Eh, составляла для слоя 4-14 см – 6,0 см² и для слоя 50-60 см – 2 см². в пахотной почве для слоя 0-10 см – 7,5 см²; для слоя 50-60 см – 4,0 см² [Савич и др., 2006].

Многократное промораживание почв в большей степени разрушает минералы, по сравнению с однократным, что приводит и к увеличению водорастворимых соединений кальция и железа. Так, по полученным нами данным, в составе замерзшей воды при 1-кратном, 3-кратном и 5-кратном промораживании хорошо гумусированной почвы содержание железа составляло 0,13; 0,18 и 0,23 мг/л, кальция – соответственно 49,6; 58,3 и 58,3 мг/л. Для слабо гумусированной почвы содержание водорастворимого Fe при 1, 3 и 5-кратном промораживании составляло 0,21, 0,46 и 0,31 мг/л; Ca – соответственно 16,3; 25,7 и 15,9 мг/л.

Очередность изменения внешних условий развития почв приводит к изменению их свойств, процессов, режимов и эволюции и, как следствие, плодородия и особенностей сельскохозяйственного использования. Однако по данной проблеме исследования очень немногочисленны.

Целью работы явилось изучение влияния чередования переувлажнения и иссушения на окислительно-восстановительное состояние почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований были выбраны дерново-подзолистые почвы разной степени гидроморфности и черноземы, в которых была проведена серия модельных опытов по чередованию условий увлажнения и иссушения. Схемы опытов приведены в таблицах и тексте. Реакцию почвенного раствора и окислительно-восстановительный потенциал почв определяли потенциометрически, содержание окисного и закисного железа методом Казариновой-Окниной в модификации Коптевой, аммиачного азота – с реактивом Неслера, нитратный азот – спектрофотометрически [Савич, 2015; Савич и др., 2016, Хабиров и др., 2001].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, при резкой смене гидрологического режима, а именно избыточном увлажнении почв в условиях непромывного типа водного режима и при последующем иссушении значение рН изменяется. Направление и величина сдвига зависят от свойств

почвы. Например, после 2 циклов переувлажнения и иссушения почв величина рН в дерново-подзолистой почве возросла с 5,8 до 6,3, а в дерново-подзолистой глеевой почве и в черноземе – уменьшилась соответственно с 5,0 до 4,4 и с 7,3 до 6,6. Большое агрономическое значение имеет скорость изменения рН разных почв при затоплении и иссушении $\Delta pH/\Delta t$. Чернозем выщелоченный, в отличие от дерново-подзолистых почв, обладает высокой буферностью, но через 2 цикла увлажнения-иссушения буферность в кислом интервале у изученных почв выровнялась. В дерново-подзолистых глеевых почвах, по сравнению с дерново-подзолистыми, подщелачивание почв при затоплении меньше в первом цикле и больше во втором. При подсушивании в оглеенных почвах подкисление выражено в меньшей степени, учитывая ΔpH во времени, но больше по абсолютным значениям рН. Изменение рН при подсушивании составляет в 1-ом цикле иссушения у автоморфной почвы – 0,7, у полугидроморфной – 0,3; во 2-ом цикле соответственно – 0,9 и 0,7. Восстановительные процессы быстрее возникают и интенсивнее развиваются в гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы и медленнее в выщелоченном черноземе (табл. 1). Так, в дерново-подзолистой почве уже на 19 день избыточного увлажнения окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) снизился до -28 мВ, а в выщелоченном черноземе – до 199 мВ. При последующем иссушении почв по истечении 17 дней в них еще преобладали восстановительные процессы, которые более ярко выражены в дерново-подзолистой почве. В этот период продолжалось снижение Eh до -198 мВ, что, очевидно, обусловлено проявлением гистерезиса. Дальнейшее подсушивание почв привело к более быстрому увеличению ОВП дерново-подзолистой почвы, по сравнению с черноземом, что связано с большей буферной емкостью чернозема.

Таблица 1. Изменение ОВ состояния почв при чередовании увлажнения-иссушения

Условия увлажнения	Продолжительность увлажнения-иссушения	$\Delta Eh/\Delta t$,	$\Delta Eh/(Eh_0 \cdot \Delta t)$
Дерново-подзолистая			
60% ПВ	5 дней	105,7	0,19
> 100% ПВ	21 день	35,0	0,06
иссушение	17 дней	22,3	0,06
	21 день	11,1	0,02
Дерново-подзолистая оглеенная			
60% ПВ	5 дней	29,3	0,09
> 100% ПВ	21 день	13,0	0,02
иссушение	17 дней	6,0	0,04
	21 день	15,6	0,01
Чернозем			
60% ПВ	5 дней	82,9	0,16
> 100% ПВ	21 день	24,5	0,05
иссушение	17 дней	31,4	0,06
	21 день	5,3	0,01

Во втором цикле увлажнения-иссушения проявилась аналогичная закономерность, однако черноземы оказались более податливы окислению, чем дерново-подзолистые почвы. Разница в буферности к окислению и восстановлению между сравниваемыми почвами во втором цикле, по сравнению с первым, уменьшилась.

Почвы, находящиеся по своим свойствам в большем равновесии с факторами почвообразования, меньше изменяются в сезонной и годовой динамике. Так, для почв таежно-лесной зоны подзоны южной тайги в сильноподзолистой почве под ельником

площадь петли гистерезиса по величине rN_2 составила $18,5 \text{ см}^2$, а для дерново-подзолистой почвы под травяным лесом – $9,0 \text{ см}^2$.

Изменение при чередовании увлажнения и иссушения почв кислотно-основных и ОБ свойств, их микробиологической активности сопровождается и изменением содержания в почвах нитратного и аммиачного азота (табл. 2). Рассматривая динамику их содержания с точки зрения буферности, следует отметить, что при избыточном увлажнении в дерново-подзолистой почве содержание нитратного азота уменьшилось в 2,5 раза, а в черноземе – в 5 раз. При избыточном увлажнении почв уменьшается и активность нитратов.

Таблица 2. Изменение pNO_3 при избыточном увлажнении почв

Почва	Увлажнение	$\text{pNO}_3 = -\lg\text{NO}_3$ моль/л	
		начальная	через 6 дней
дерново-подзолистая	оптимальное	2,3	2,3
	избыточное	2,5	2,5
чернозем	оптимальное	1,7	1,7
	избыточное	2,9	4,8

При одновременном изменении влажности и температуры тренд изменения свойств почв описывается уравнениями регрессии. Так, величина изменения скорости накопления N-NO_3 мг/кг в зависимости от времени инкубации 7-45 дней в выщелоченном черноземе при 10° составляла $Y = 0,25X + 4,9$; а при 28° – $Y = 0,52X + 23,1$.

В работе [Хабилов и др., 2001] показано, что скорость поглощения O_2 карбонатными черноземами при 20° составляла 2.1 мкл/час на 1 г почвы, а при 40° – 4,3; выделение CO_2 – 3,4 и 6,4 мкл/час, уменьшаясь при 50°C (регрессии).

Таблица 3. Изменение содержания закисного и окисного железа (мг/100 г) при чередовании увлажнения и иссушения почв

Варианты последовательного влияния	Число дней с начала опыта	Почвы		
		дерново-подзолистая	дерново-подзолистая глеевая	чернозем выщелоченный
60% ПВ*	5	1,6/15,1	4,0/40,0	1,4/1,2
Увлажнение до 100% ПВ	23	5,0/16,6	12,4/38,9	2,7/1,7
	37	74,4/1,9	12,7/39,0	40,2/0,1
Подсушивание	54	122,8/5,6	13,9/26,3	75,8/0,7
	75	54,8/36,5	8,1/46,0	3,8/2,3
	106	19,1/37,6	13,9/31,6	2,0/1,3
Увлажнение > 100% ПВ	116	15,8/42,0	6,6/40,1	0,6/5,5
	136	59,0/21,9	17,2/31,7	1,2/2,0
Подсушивание	153	101,1/12,1	22,0/35,1	18,8/1,5
	171	26,0/29,7	17,9/31,2	4,4/3,1
	186	13,6/36,8	12,6/41,3	1,9/0,0

В числителе - FeO, в знаменателе – Fe₂O₃

Чередование условий увлажнения и иссушения привело к изменению в почвах содержания окисного и закисного железа (табл.3). При избыточном увлажнении почв содержание закисного железа и соотношение закисного железа к окисному возросло. Однако при чередовании циклов увлажнения и иссушения проявился гистерезис – запаздывание изменения содержания FeO, Fe₂O₃ от начала условий увлажнения и иссушения. При этом интенсивность изменения содержания соединений железа при смене условий увлажнения являются характерными для отдельных почв. Так, в дерново-подзолистой почве в условиях избыточного увлажнения содержание FeO возросло в 50 раз, а в черноземе – в 30 раз, но при

подсушивании оно легче изменилось в черноземе по сравнению с дерново-подзолистой почвой.

При избыточном увлажнении почв уменьшение отношения Fe_2O_3 / FeO коррелировало с увеличением суммы восстановленных веществ, а при иссушении почв такой связи не отмечалось вследствие проявления гистерезиса.

Содержание подвижных форм железа менялось и при промораживании почв [Савич и др., 2016]. Содержание легкоподвижных форм железа в мерзлотно-таежной почве при 60% ПВ и после промораживания при -15° составило при десорбции 0,05н HCl – 0,46 и 3,9 смоль(экв)/100 г, при десорбции 0,10н HCl соответственно – 1,73 и 4,24 смоль(экв)/100 г почв.

Многokратное промораживание почв в большей степени разрушает минералы, по сравнению с однократным, что приводит и к увеличению водорастворимых соединений кальция и железа. В составе замерзшей воды при 1, 3 и 5-кратном промораживании хорошо гумусированной почвы содержание железа составляло 0,13; 0,18 и 0,23 мг/л, кальция – соответственно 49,6; 58,3 и 58,3 мг/л. Для слабо гумусированной почвы содержание водорастворимого железа при 1, 3 и 5-кратном промораживании составляло 0,21, 0,46 и 0,31 мг/л; кальция – соответственно 16,3; 25,7 и 15,9 мг/л.

Рассматривая изменение при иссушении и увлажнении суммы восстановленных веществ, следует отметить две тенденции. В первые дни избыточного увлажнения сумма восстановленных веществ в большинстве случаев понижается. Это, видимо, связано с усилением микробиологической активности при увлажнении. При дальнейшем увлажнении наблюдается недостаток кислорода, и количество восстановленных веществ в большинстве случаев повышается. В отдельных случаях проявляется отставание следствия от причины. Это хорошо видно при рассмотрении суммы восстановленных веществ после 17 дней иссушения, когда зачастую она не падает, а все еще увеличивается.

Чередование условий увлажнения и иссушения приводит и к изменению гумусового состояния и минералогического состава почв. Данные термического и термовесового анализов показали увеличение в избыточно увлажненных почвах обводненности коллоидов, прочности связи воды, тенденцию к увеличению количества минералов типа 2:1; 2:2. Это явление сохраняется и при снятии условий избыточного увлажнения. Данные инфракрасной спектроскопии органического вещества, экстрагируемого 0,1н NaOH и 0,1н NaF, показали тенденцию к упрощению органического вещества избыточно увлажненных почв и сохранению этой тенденции при устранении условий избыточного увлажнения.

Таким образом, при последовательном увлажнении и иссушении почв происходит изменение свойств почв, которое зависит от градиента смены влажности, температуры, от гранулометрического и минералогического состава почв, степени гумусированности и сочетания этих свойств.

Периоды переувлажнения и последующего иссушения почв приводят к резкому изменению ОВ условий среды и свойств, ее определяющих. Избыточное увлажнение почв ведет к снижению ОВП, увеличению количества закисного железа, аммиачного азота, количества анаэробных микроорганизмов. При смене избыточного увлажнения иссушением проявляется гистерезис, величина которого различна для отдельных почв и коррелирует с их буферными свойствами по отдельным показателям.

Смена условий увлажнения почв влияет на протекающие в них процессы и режимы. Наличие гистерезиса и необратимых изменений свойств почв определяет генезис и

плодородие почв и должно учитываться при проектировании характера сельскохозяйственного использования в адаптивно-ландшафтных системах земледелия.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № 075-00326-19-00 по теме № АААА-А18-118022190102-3. Часть результатов была получена с использованием оборудования ЦКП «Агидель».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горохова И.Н., Куприянова Е.И. Оценка деградационных почвенных процессов в водоохраной зоне Иваньковского водохранилища по материалам аэрофотосъемки // Почвоведение. 2012. № 1. С. 95-105.
2. Григорьян Б.Р., Кулагина В.И. Диагностика и номенклатура песчаных аллювиальных почв в четырех классификационных системах на примере почв островов Куйбышевского водохранилища // Почвоведение. 2014. № 6. С. 677-684.
3. Кауричев И.С., Савич В.И. Генетическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв / Почвенные режимы и их агроэкологическая оценка. М.: изд-во МСХА. 2003. С. 87-115.
4. Котенко М.Е. Влияние процессов затопления и иссушения на минералогический состав светло-каштановых почв Терско-Кумской низменности // «Юг России: экология, развитие». 2011. №1. С. 138-142.
5. Савич В.И. Физико-химические основы плодородия почв. М., РГАУ-МСХА, 2015. 431 с.
6. Савич В.И., Белопухов С.Л., Гукалов В.В., Ефанова Е.М., Чилингарян Н.О. Оценка метеочувствительной системы почва-растение для корректировки моделей плодородия почв // Бутлеровские сообщения. 2017. Т. 51, № 8. С. 39-44.
7. Савич В.И., Котелева В.В., Калина Н.М. Гистерезис физико-химических свойств почв. Изв. ТСХА. 1977. Вып. 1. С. 87-98.
8. Савич В.И., Ларешин В.Г., Дубинок Н.Н., Габбасова И.М., Хесам Моуса. Мелиоративная и агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв. М.: изд-во РУДН, 2006. 484 с.
9. Савич В.И., Худяков О.И., Черников В.А., Гукалов В.В., Скрыбина Д.С. Свойства, процессы, режимы мерзлотно-таежных почв. М.: РГАУ-МСХА, 2016. 312 с.
10. Филькин Т.Г. О динамике процессов заболачивания на подтопленных берегах Камского водохранилища // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2011. № 3-4. С. 60-64.
11. Хабиров И.К., Габбасова И.М., Хазиев Ф.Х. Устойчивость почвенных процессов. Уфа. БГАУ, 2001. 328 с.