

УДК 631.452

Информационно-энергетическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв, генезис и плодородие почв

Савич В.И.¹, Ефимов О.Е.¹, Гукалов В.В.², Колесник А.Н.¹, Седых В.А.³, Беляева С.А.¹

¹ РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

² Северо-Кубанская с/х опытная станция

³ Научно-исследовательский институт ФСИН России

Аннотация

Оглеение почв в значительной степени увеличивает содержание в них подвижных соединений железа и марганца, снижает величины Eh в мв. Внесение в почву окислителей CaCO₃, MnO₂, KMnO₄ позволяет повысить Eh почв, уменьшить содержание подвижных соединений Fe в почвах. К аналогичному эффекту приводит внесение в почву железобактериальных микроорганизмов. Доказывается необходимость оценки скорости падения Eh почв при избыточном увлажнении для уточнения систем севооборотов, обработки и удобрений.

Ключевые слова: АНАЭРОБИОЗИС, ОГЛЕЕНИЕ, ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

Цели и задачи исследования

Целью исследования являлась оценка влияния анаэробнобиозиса на плодородие почв, чему посвящен ряд исследований [1-6].

В задачи исследования входила оценка влияния развития анаэробнобиозиса на плодородие почв [7-8], прогноз развития восстановительных процессов [6], оценка путей оптимизации плодородия почв при развитии в них оглеения [1, 8, 9].

Объекты исследования

Объектом исследования выбраны дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы

разной степени оглеения [8].

Методика исследования состояла в оценке Eh почв, содержания подвижных соединений Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, Pb, в оценке изменения развития анаэробнозиса при внесении в почву $KMnO_4$, $CaCO_3$, $MgCO_3$ [8].

Экспериментальная часть

1. Влияние развития анаэробнозиса на плодородие почв

Окислительно-восстановительное состояние почв в значительной степени определяет генезис и плодородие почв. Развитие в почвах избыточного увлажнения и анаэробнозиса приводит к появлению в почвах избыточного количества подвижного алюминия (до 200 мг/100 г), закисного железа и марганца, к увеличению выше допустимых норм концентрации углекислого газа, сероводорода, метана, к уменьшению количества нитратов и к ухудшению структурного состояния почв. Эти изменения сопровождаются ухудшением состояния растений и их гибелью.

Как правило, эти явления развиваются на почвах более тяжелого гранулометрического состава, при близком залегании грунтовых вод на выположенных склонах. При интенсивном ведении сельскохозяйственного производства необходимо прогнозирование этих процессов с целью более обоснованного выбора пригодных для выращивания культур, для корректировки составляющих систем земледелия.

Содержание подвижных форм железа и марганца в почвах увеличивается при оглеении почв. Это иллюстрируют данные таблицы 1.

Таблица 1. Содержание подвижных форм поливалентных катионов в дерново-подзолистых почвах Мичуринского сада МСХА (вытяжка $CH_3COONH_4cpH = 4,8$), мг/л

Почва	Fe	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Pb
дерново-подзолистая, P-1 Ап	7,0	33,4	61,1	2,3	4,0	0,14	0,4
A ₂	5,3	22,8	34,1	0,6	0,6	0,05	7,6
B ₁	11,0	36,7	60,7	0,7	0,6	0,08	0,1
B ₂	8,8	36,6	61,0	0,4	0,9	0,07	0,1
P-3 Ап	1,2	49,9	59,9	1,0	10,9	0,02	0,2
A ₂ B _g	16,2	27,0	21,1	0,4	3,9	0,08	0,3
B _{1g}	28,0	38,6	62,0	0,4	4,2	0,06	0,2
B _{2g}	8,9	38,0	62,0	0,3	3,3	0,05	0,2

Почва	Fe	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Pb
дерново-подзолистая хорошо окультуренная	7,3	34,6	59,0	0,4	3,2	0,04	0,1
Ап	6,4	42,4	59,4	0,3	9,5	0,02	0,1
А ₁	14,3	41,4	58,3	1,4	3,2	0,03	0,1
А ₂ В	11,5	36,4	56,6	1,2	2,6	0,03	0,2
В _g	73,2	33,1	62,0	0,9	0,7	0,03	0,2
ВС _g							

Аналогичные данные получены и для почв полевого севооборота (табл. 2).

Таблица 2. Содержание подвижных форм кальция, магния и поливалентных катионов в дерново-подзолистых среднесуглинистых автоморфных и оглеенных почвах (СНЗСООНН₄срН = 4,8), мг/л

Почва и горизонты	Fe	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Pb
автоморфная							
Ап	9,2±2,3	28,5±5,0	63,1	1,5±0,8	3,2±0,7	0,6±0,4	0,3±0,1
А ₂ ; А ₂ В	7,7±1,3	28,3±2,9	50,8±8,6	0,6	0,9±0,2	0,07±0,01	0,14±0,01
В	7,0±1,9	34,9±1,3	59,2±1,4	0,4±0,1	0,7±0,1	0,06±0,01	0,12±0,01
оглеенная							
АпА ₁	5,0±1,9	42,3±4,5	59,5±0,3	0,6±0,2	7,9±2,4	0,03±0,01	0,16±0,03
А _g ; А ₂ В _g	40,2±26,2	34,2±7,7	39,7±18,8	0,9±0,5	3,6±0,3	0,06±0,02	0,20±0,07
В _g	30,3±14,9	36,5±1,2	60,6±1,3	0,7±0,2	2,7±0,7	0,04±0,02	0,20±0,01

Как видно из представленных данных, в оглеенных горизонтах больше подвижных форм железа и марганца.

Окислительно-восстановительное состояние почв в значительной степени определяется ОВ емкостью почв, которая отличается в разных типах почв. В таблице 3 представлена окислительно-восстановительная емкость почв, оцененная с использованием метода потенциостатической кулонометрии на электродах из почвенно-угольной пасты в фоновом электролите 1н Н₂SO₄ при E_h = 100 мв.

Таблица 3. Окислительно-восстановительная емкость в восстановительном интервале

Почва	ОВ емкость, мг-экв/100 г
дерново-подзолистая	5,2
лугово-черноземная, оптимальная влажность	22,8
избыточная влажность	13,5

Как видно из представленных данных, большая ОВ емкость при E_h = 100 мв в лугово-черноземной почве.

При оглеении ОВ емкость почв в восстановительном интервале уменьшается. Более низкие значения ОВП чаще соответствуют большему содержанию закисного железа. Это иллюстрируют данные таблицы 4.

Таблица 4. Содержание подвижных форм железа и ОВП дерново-подзолистых почв

Горизонт	ОВП, мв по ХСЭ	Мг/100 г в 0,1н H ₂ SO ₄	
		Fe ²⁺ Fe ³⁺	
A _T	321,0±13,5	-	252,0
B ₁ ^g	318,0±15,6	35,3±20,4	198,7±33,3
B ₂ ^g	300,0±7,9	48,7±14,7	176,0±76,8

При этом в верхнем торфяном слое доля закисных соединений железа даже выше, чем в глеевых нижних горизонтах. В B₁^g эта доля равна 0,18, а в B₂^g – 0,28.

В соответствии с уравнением Нернста, величина E_h определяется E₀ и соотношением Fe³⁺/Fe²⁺. Однако в верхнем горизонте доля комплексных соединений значительно выше, чем в нижних при меньшем значении E₀. Это определяет и более низкие значения E_h в горизонтах A₁, A₂, чем в B. Аналогичные данные получены ранее и для других типов почв.

Оглеение почв приводит к снижению E_h и к увеличению интенсивности сизого тона горизонтов. Однако это менее проявляется для гумусовых горизонтов. Так, обработанные нами данные показали, что бурые пятна почв на глубине 3 см имели E_h = 603,5±23,4 мв, сизые пятна – 606,5±4,6 мв, а на глубине 30 см, где меньше проявлялось влияние гумусированности соответственно – 518,5±6,3 мв и 416,4±5,1 мв.

2. Прогноз развития восстановительных условий при избыточном увлажнении почв

Данные модельных опытов позволили составить картограммы появления неблагоприятных свойств почв при избыточном их увлажнении ранней весной и температуре до 10⁰. Это дополнительно определяет ограничения в типизации земель, помимо степени увлажнения, зродированности, гранулометрического состава, рН среды, крутизны экспозиции склонов.

По полученным нами данным, буферность почв в окислительно-восстановительном интервале (ΔE_h·100):(Δt·E_hисх) до 2,5% - очень большая; 2,5-5% - большая; 5-10% - средняя; 10-15% - низкая и более 15% - очень низкая. При наличии низкой буферности почва после затопления будет иметь неблагоприятный для роста с/х культур потенциал (<

200 мВ) менее, чем через 5 дней, а при наличии большой буферности – более, чем за 20 дней.

Однако, по полученным нами данным, эти величины зависят не только от крутизны склонов в катене, но и от степени их выпуклости, вогнутости и взаимосвязей свойств почв $\Delta X/\Delta Eh$; $\Delta X/\Delta pH$; $\Delta X/\Delta t$, где X – содержание подвижных Mn , Fe , NO_3 , фосфатов, $C_{гк}/C_{фк}$, коэффициент структурности, плотность почв. Как правило, содержание подвижных форм биофильных элементов и токсикантов в почве характеризуется изменением в 3-координатном графике: $\Delta X = f(\Delta Eh, \Delta pH)$.

Для прогноза интенсивности и скорости происходящих в почвах процессов необходимо определение $\Delta Eh/\Delta t$; $\Delta Eh/\Delta t^0$; при избыточном увлажнении почв, а также $\Delta Eh/\Delta pH$; $\Delta X/\Delta Eh$, ΔpH , где X – агрохимические, физико-химические и водно-физические показатели свойств почв. Однако, эти показатели являются характеристическими для отдельных почв.

По полученным нами данным при компостировании почв в условиях избытка влаги при непромывном типе водного режима в течение 10–60 дней величина $\Delta Eh/\Delta t$ достигала при 20^0 в пойменной почве величины $-2,8$ мВ/сутки, в торфяной почве $-3,8$; в лугово-черноземной почве -30 мВ/сутки. При этом Eh почв после компостирования их в условиях избытка влаги составляло 30–80 мВ.

Увеличение температуры компостирования почв от 20 до 40^0 приводило к снижению Eh почв. Увеличение продолжительности компостирования от 10 до 60 дней приводило к увеличению водорастворимого марганца в пойменной почве от 5,6 до 9,1 мг/л; в дерново-подзолистой слабоокультуренной – от 0,1 до 12,5 мг/л; в хорошо окультуренной – от 0,5 до 25,0 мг/л.

3. Пути оптимизации плодородия оглеенных почв

Восстановительные условия почв с экологической точки зрения приводят к появлению в почвах повышенных концентраций углекислого газа, сероводорода, метана, азота, аммиака, низкомолекулярных органических кислот, Fe^{2+} , Mn^{2+} .

От кислотного-основного и окислительно-восстановительного состояния почв зависят оптимумы свойств почв и величины предельно допустимых концентраций токсикантов. Это повышенные концентрации углекислого газа, сероводорода, закисных соединений Fe^{2+} , Mn^{2+} , переход NO_3 в N_2 , NH_3 , NH_4 , повышенное уплотнение почв.

Для оптимизации окислительно-восстановительных свойств почв, протекающих в них процессов и режимов необходимо регулирование водного и теплового режимов почв, применение регуляторов ОВ состояния почв.

Оптимизация плодородия почв избыточного увлажнения может быть достигнута внесением в почву окислителей и железобактериальных микроорганизмов. Это иллюстрируется данными таблицы 5.

Таблица 5. Изменение подвижности соединений железа в дерново-подзолистой почве под влиянием центров кристаллизации и осадкообразования *

Применяемый регулятор	ΔFe , мг/л	Применяемый регулятор	ΔFe , мг/л
$CaCO_3$	-7,5	железобактериальные микроорганизмы	-8,6
MnO_2	-1,1	железобактериальные микроорганизмы	+19,9

Примечание: * - в центре внесения регулятора, по сравнению с остальной массой почвы.

Как видно из представленных данных, регулирование процессов восстановления почв может быть проведено, как с использованием химических реагентов, так и при оптимизации определенных групп микроорганизмов.

При локальном внесении окислителей в почву окислительно-восстановительный потенциал увеличивается в зоне внесения и в значительно меньшей степени – с увеличением расстояния от зоны внесения. Это иллюстрируют данные таблицы 6.

Таблица 6. Распространение окисления по горизонтальной поверхности почвы

Увлажнение	Ряд от зоны внесения окислителя	E_h , мв по ХСЭ
избыточное	1	319,3±16,0
	2	262,0±14,0
	3	183,0±15,0
оптимальное	1	336,0±15,0
	2	267,0±12,0
	3	211,0±19,0

При внесении удобрений происходит волновое распространение окисления, восстановления почв в пространстве. Это иллюстрируется данными таблицы 7.

Таблица 7. Волновое распределение окисления в почве при внесении $KMnO_4$ (1 ряд) избыточная влажность, E_h мв по ХСЭ, $n = 8$

Почва	$E_h - 1$ ряд	$E_h - 2$ ряд	$E_h - 3$ ряд
дерново-подзолистая, контроль	175,6±19,0	121,8±11,0	94,3±2,6
дерново-подзолистая хорошо окультуренная	260,0±15,3	232,5±18,6	147,5±15,8

Заключение

Развитие анаэробных условий в почве приводит к значительному увеличению в ней соединений Fe, Mn, в т.ч. Fe²⁺, Mn²⁺, к снижению Eh в мв. При этом важное значение с агроэкологической точки зрения имеет скорость снижения Eh при оглеении почв и скорость увеличения в почве подвижных соединений железа и марганца. Внесение в почвы окислителей, железобактериальных микроорганизмов позволяет повысить Eh почв, что имеет важное значение для повышения плодородия почв.

Список использованных источников:

1. Борисов Б.А., Ефимов О.Е., Наумов В.Д., Прохоров А.А. Органическое вещество и агрегатное состояние чернозема выщелоченного и его полугидроморфного аналога [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_236.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202122236>.
2. Борисов Б.А., Рогожин Д.О., Ефимов О.Е. Сравнительная оценка состояния органического вещества и физических свойств чернозема обыкновенного при традиционной и нулевой обработке // Агротехнический вестник. – 2020. – № 3. – С. 7–10. – DOI: [10.24411/1029-2551-2020-10030](https://doi.org/10.24411/1029-2551-2020-10030).
3. Добровольский Г.В., Ковалева Н.О. Информационная функция почв в биосфере // Роль почв в биосфере // Тр. Института экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. — Т.10. — МАКС Пресс Москва, 2010. — С. 7–24.
4. Ефимов О.Е., Савич В.И., Гукалов В.В., Бородин К.С. Агроэкологическая оценка уплотнения почв // Плодородие. – 2021. – № 1(118). – С. 54–56. – DOI: [10.25680/S19948603.2021.118.15](https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.118.15).
5. Ефимов О.Е., Ефимов О.Е., Савич В.И., Наумов В.Д., Седых В.А., Каменных Н.Л., Колесник А.Н. Информационно-энергетическая оценка создания почв с заданными свойствами [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_506.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202125506>.
6. Хабиров И.К., Габбасова И.М., Хазиев Ф.Х. Устойчивость почвенных процессов. – Уфа: БГАУ, 2001. – 327 с.
7. Савич В.И., Смарыгин С.Н., Гукалов В.В. Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния в системе почва-растение // Известия ТСХА. - 2019. - № 4. - С. 19–25.
8. Савич В.И., Сюняев Н.К., Батанов Б.Н., Егоров Д.Н. Агрономическая оценка окислительно-восстановительного состояния и оглеения почв. - М.: РГАУ-МСХА, 2008. -

Савич В.И., Ефимов О.Е., Гукалов В.В., Колесник А.Н., Седых В.А., Беляева С.А. Информационно-энергетическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв, генезис и плодородие почв

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

271 с.

9. Сычев В.Г. и Аканова Н.И. Современные проблемы и перспективы химической мелиорации кислых почв // Плодородие. – 2019. - № 1. - С. 3–7.

Цитирование:

Савич В.И., Ефимов О.Е., Гукалов В.В., Колесник А.Н., Седых В.А., Беляева С.А. Информационно-энергетическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв, генезис и плодородие почв [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/1/st_101.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202141101>.