

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур
.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

УДК 633.853 : 631.82

**Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания
сельскохозяйственных культур**

*Ушаков Р.Н.¹, Виноградов Д.В.^{1,2}, Макарова М.П.¹, Ручкина А.В.¹, Поминчук Ю.А.³,
Гогмачадзе Г.Д.⁴, Лебедев И.М.¹*

*¹Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева*

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

*³Рязанский государственный медицинский университет
имени академика И.П. Павлова*

⁴АгроЭкоИнфо

Аннотация

В статье приведены исследования, в основе которых лежат полевые многолетние стационарные опыты проведенные на агротехнологической опытной станции УНИЦ «Агротехнопарк» по изучению комплексного окультуривания серой лесной почвы тяжелосуглинистой почвы. Наиболее благоприятным фосфатным режимом обладает почва с относительно высокими буферными свойствами, обусловленными не поглощением фосфора твердой фазой, а его десорбцией. Выявлено, что если общая за интервалы рН емкость буферности к подкислению лежит в диапазоне 9 – 11 мМ-экв/100 г, то достигается средний уровень устойчивости почвы. При этом поглощенных оснований должно быть не менее 20 мг-экв/100 г. Не рекомендуется снижение емкости буферности к подкислению до значений менее 9 мМ-экв/100 г. В длительных опытах с калийными удобрениями установлены достоверные прибавки урожайности сельскохозяйственных растений, которые колебались в зависимости от вида удобрения и ротации в пределах 1,8 – 6,5 ц/га з.ед. В среднем за 8 ротаций прибавка составила 5,0 ц/га з.ед. На варианте без удобрений продуктивность севооборота составила около 24 ц/га з.ед.

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур
.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

Ключевые слова: СЕРАЯ ЛЕСНАЯ ПОЧВА, БУФЕРНОСТЬ, НЕЧЕРНОЗЕМНАЯ ЗОНА, УРОЖАЙНОСТЬ, ОРГАНИЧЕСКОЕ УДОБРЕНИЕ, ПЛОДОРОДИЕ

Введение

Проблема устойчивости почв широко обсуждается в научной литературе [1-4]. В данных работах указывается актуальность проблемы, приводится обоснование понятия устойчивости почвы, различные аспекты ее оценки [5-8].

В агропочвах Рязанской области среднее значение подвижного фосфора составляет около 11 мг/100 г почвы с наибольшими величинами (больше 10 мг/100 г) в дерново-подзолистых и светлых серых лесных почвах. В черноземах выщелоченных и оподзоленных содержание фосфора в большинстве случаев не превышает 10 мг/100г. На почвы со средним содержанием фосфора приходится 36%, повышенное – 18%. Каждое пятое поле с очень низким и низким содержанием фосфора [9-13].

Средневзвешенное содержание обменного калия в пахотных почвах области варьирует от 8 до 14 мг/100 г. На долю почв с I и II классами обеспеченности приходится 28%, на III класс – 32%.

На долю кислых почв приходится около 73%, из них сильнокислых почв – 4%, среднекислых – 26%, слабокислых – 42%. В некоторых районах с выщелоченными и оподзоленными черноземами доля почв с рН ниже 5,5 ед. доходит до 80-90% [14, 15].

Средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах не превышает 4,5% и колеблется от 1,7-1,9% в дерново-подзолистых почвах до 5% в черноземах выщелоченных и оподзоленных. На долю почв с содержанием гумуса от 4 до 6% приходится около 36%, от 1,5 до 2,0% - 18%. По сравнению с прошлыми годами гумусовое состояние почв ухудшилось.

На серых лесных почвах хорошо выращивать зерновые и масличные культуры, которые показывают стабильно высокие урожаи при условии тщательного соблюдения технологии [16-21]. В условиях Нечерноземной зоны на серых лесных почвах в структуру севооборотов включают такие культуры как рапс яровой, подсолнечник, лен масличный, картофель, и зерновые [22-29].

Для определения меры устойчивости почв необходима разработка соответствующих моделей плодородия. Современные модели в большей степени

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

указывают на уровни плодородия в соответствии с продуктивностью сельскохозяйственных растений. В качестве дополнений к существующим моделям предлагается физико-химический блок, отражающий устойчивость почв. Под физико-химическим блоком мы понимаем набор некоторых физико-химических показателей, отражающих межфазовые взаимодействия в почве – буферная способность к подкислению, тяжелым металлам, калийная и фосфатная буферность. Предложенная модель является ориентировочной для агросерой почвы ввиду вариации ее свойств в пространстве и во времени [30-34].

Объекты и методы

В основе исследований лежат полевые многолетние стационарные опыты, проведенные на агротехнологической опытной станции Рязанского ГАТУ по изучению комплексного окультуривания серой лесной тяжелосуглинистой почвы (опыт 1 – органоминеральная система удобрений, ОМСУ), влияния разных форм азотных удобрений (опыт 2), фосфорных и калийных удобрений. В опыте 2 практиковалась минеральная система удобрений (МСУ). Опыты были заложены более 40 лет назад.

В указанных опытах испытывали разные формы, дозы минеральных удобрений, изучали их влияние на основные агрохимические показатели почвы, урожайность сельскохозяйственных растений. За длительное время проведения опытов сложилась определенная пространственная вариабельность агрохимических и физико-химических свойств в общем массиве данных, которую мы впервые использовали для разработки модели устойчивости плодородия агросерой тяжелосуглинистой почвы.

Дозы удобрений в опыте 2 показаны в табл. 1.

Таблица 1. Схема доз удобрений в опытах с минеральными удобрениями

№	Яровая пшеница, ячмень			Картофель			Вика + овес			Озимая пшеница		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	–	60	60	–	100	100	–	60	60	–	–	–
3	60	60	60	100	100	100	30	60	60	–	–	–
4	60	–	60	80	–	40	30	–	60	60	–	60
5	60	60	60	80	40	40	30	60	60	60	60	60
6	60	60	–	60	60	–	30	60	–	60	60	–
7	60	60	60	60	60	60	30	60	60	60	60	60

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Примечание: 1 – вариант без удобрений; 2 – фон РК (суперфосфат простой + хлористый калий); 3 – фон РК + N (разные формы азотных удобрений); 4 – фон НК (аммиачная селитра + 40 % калийная соль); 5 – фон НК + P (разные формы фосфорных удобрений); 6 – фон NP (аммиачная селитра + суперфосфат простой); 7 – фон NP (разные формы калийных удобрений).

Схема опыта включала два варианта: без удобрений – контроль (неплодородная почва) и с навозом (плодородная почва). Для этого в течение пяти лет в агросерую почву ежегодно вносили подстилочный навоз КРС из расчета 40 т/га. Контрольный вариант представляла почва, в которую за последние 10 лет удобрения не вносили. Опыт заложен в 3–х кратной повторности методом рандомизации. Размер делянок 300 м². Вариант с плодородной почвой отражает высокий потенциал устойчивости к неблагоприятным воздействиям и в сравнительном анализе позволяет объективно оценить и лучше понять природу формирования этого явления.

Общие агрохимические свойства агросерой почвы показаны в таблице 2.

Таблица 2. Агрохимические свойства агросерой почвы в опытах (0-20 см)

Система удобрения	Гумус, %	P ₂ O ₅ _{подв} ,	K ₂ O _{обм} ,	pH _{обм}	N _г	Ca ²⁺ +Mg ²⁺
		мг/100 г			мг-экв/100 г	
система удобрения						
Опыт 1						
Без удобрений (контроль 1)	2,1 ± 0,2	12,3 ± 0,9	14,4 ± 0,9	5,7 ± 0,1	2,6 ± 0,1	24,1 ± 0,3
Органо-минеральная	3,0 ± 0,2	32,0 ± 0,4	24,1 ± 0,4	5,9 ± 0,2	1,9 ± 0,01	26,0 ± 0,4
Опыт 2						
Без удобрений (контроль 2)	2,2 ± 0,3	7,3 ± 0,4	8,6 ± 0,4	5,5 ± 0,2	3,0 ± 0,1	22,6 ± 0,4

В исследованиях емкости буферности к подкислению (ЕБк), кроме контроля, вариантами были: на фосфорно-калийном фоне – хлористый аммоний (фон РК+Nx); кальциевая селитра (фон РК + Nскц), на азотно-калийном фоне – суперфосфат двойной (фон НК+Pсд). В исследованиях буферности к загрязнению выбрали комплекс минеральных удобрений, включающий аммиачную селитру, калийную соль и суперфосфат двойной. Данные удобрения использованы в опытах по изучению потенциальной буферной способности к фосфору (PBC^P) и к калию (PBC^K).

В опытах определяли: гумус – по Тюрину; обменную кислотность (pH_{обм}) – на pHметре ЛПУ–0,1; подвижный фосфор (P₂O₅_{подв}) и обменный калий (K₂O_{обм}) – по Кирсанову.

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Фосфор подвижный ($P_{2O_{5\text{подв}}}$) определяли по Кирсанову и по методу Карпинского и Замятиной в вытяжке 0,015 М K_2SO_4 .

Исследование ионообменной адсорбции катионов меди, цинка, кадмия и свинца проводили в статических условиях. Буферность к тяжелым металлам (ПБС™) определяли по методу Т.А. Соколовой и др. (1991).

Для статистической обработки экспериментальных данных методами дисперсионного, корреляционного, регрессионного и других видов статистического анализа (Дмитриев, 1995; Доспехов, 1979; Ивойлов, 2000) использовался программный комплекс «STATISTICA».

Результаты и обсуждение

Устойчивость к подкислению. Установлена зависимость ЕБк от содержания поглощенных оснований – $Y = 7,7 + 3,6X$ ($r = 0,77$), обменной кислотности ($pH_{\text{обм}}$) – $Y = -122,5 + 39,3X$ ($r = 0,89$), актуальной кислотности (pH_{H_2O}) – $Y = -170,4 + 39,5X$ ($r = 0,90$), гидролитической кислотности – $Y = 134,4 - 12,4X$ ($r = -0,85$) (табл. 3).

Таблица 3. Емкость буферности (мМ-экв/100 г) серой лесной почвы в зависимости от применения удобрений

Вариант	Интервалы значений pH								Общая буферность
	7,0-6,5	6,5-6,0	6,0-5,5	5,5-5,0	5,0-4,5	4,5-4,0	4,0-3,5	3,5-3,0	
Без удобрений	нет	0,25 (3)	0,38 (5)	0,63 (8)	0,88 (12)	1,25 (16)	1,75 (23)	2,50 (33)	7,63 (100)
НК+Рсд	нет	нет	0,38 (5)	0,63 (8)	1,00 (13)	1,25 (17)	1,73 (23)	2,56 (35)	7,42 (100)
С-П+в.н.у.+ Ог-20	0,38 (4)	0,50 (5)	0,75 (7)	1,13 (10)	1,25 (12)	1,75 (16)	2,23 (21)	2,81 (26)	10,8 (100)
РК+Nx	нет	нет	нет	нет	нет	0,63 (15)	1,36 (33)	2,18 (52)	4,17 (100)
РК+Nскц	0,10 (1)	0,40 (4)	0,50 (6)	0,75 (8)	1,00 (11)	1,38 (16)	1,88 (21)	2,88 (32)	8,89 (100)
НСР ₀₅									0,8

Примечание: в скобках указаны проценты.

Как видно из табл. 3, в тех вариантах, где происходило увеличение содержания обменного кальция и магния повышалась и общая ЕБк. Например, наивысшее значение

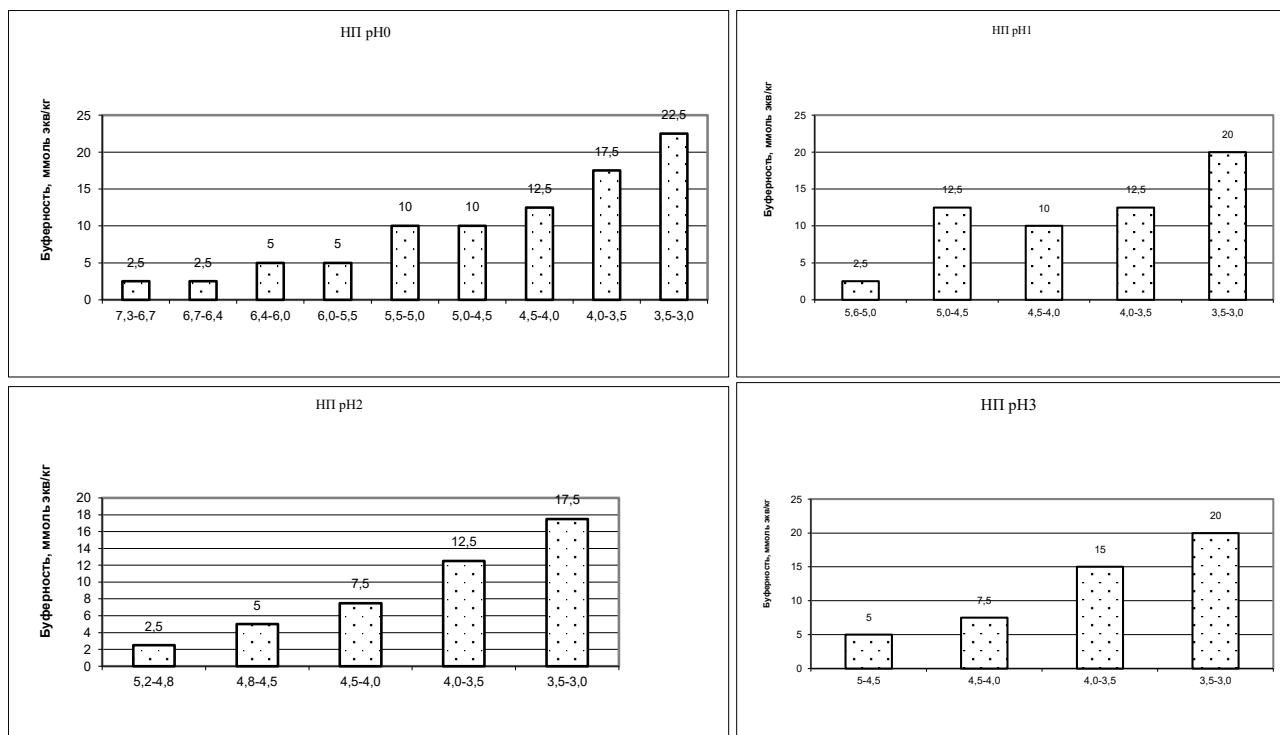
Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

данных элементов было достигнуто при комплексном окультуривании почвы – в сумме 29,5 мг-экв./100 г, поэтому здесь же начальная точка титрования рН составила 7,15; как итог, общая ЕБк – 10,8 мМ-экв/100 г.

Несколько лучшие условия для нейтрализации ионов водорода сложились в контрольном варианте, что объясняется действием механизмов нейтрализации в области карбонатной и силикатной буферных зон.

Наихудшие буферные возможности почвы складываются при длительном использовании аммиачной селитры, что связано не только с подкислением почвы (в течение последних 20 лет известь не вносили), но и с выносом из верхнего слоя илистых фракций. По этой причине общая ЕБк составила всего 4,17 мМ-экв/100 г. В неплодородной и плодородной почвах, несмотря на близкие для них значения НТТ (рН 7,3 – 7,4), показатель общей буферности к подкислению между вариантами различался на 30 мМ-экв/кг (рис. 1).



Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

 Электронный научно-производственный журнал
 «АгроЭкоИнфо»

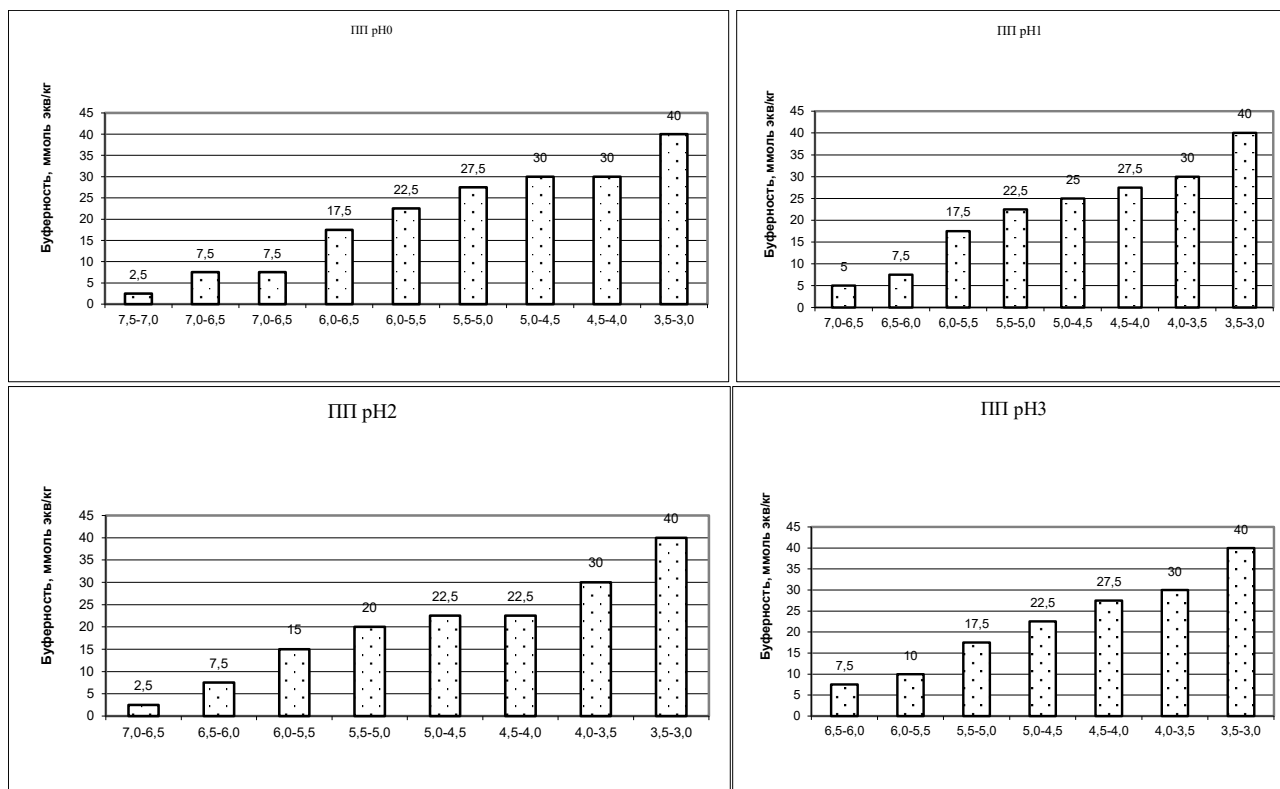


Рис. 1. Емкость буферности (мм-экв/кг) агросерой почвы в зависимости от уровня ее плодородия

После воздействия кислоты на почву ЕБк снизилась во всех вариантах, но в большей степени в неплодородной почве: при кислотных нагрузках 4,7; 11,9 и 30 М/100 г. ЕБк составила соответственно 57, 45 и 48 мм-экв/кг, плодородной – 175; 165 и 155 мм-экв/кг.

Проявление буферности зависит от начальной рН. Дополнительное воздействие на почву кислотой снизило значение рН. В большей степени снижение было в неплодородной агросерой почве: ΔрН составила при отмеченных выше нарастающих кислотных нагрузках 1,66; 2,07 и 2,25 рН, в плодородной почве – 0,52; 0,66 и 0,83 рН соответственно.

Зависимость значения ЕБк от НТТ после добавления кислоты для неплодородной почвы выражается следующим уравнением: $Y = -49,2 + 18,8X$; для плодородной – $Y = -281,9 + 66,8X$. Пользуясь этими уравнениями, прогнозируем значение буферности, если рН снизится до 5,0. В неокультуренной почве она будет 45 мм-экв/кг, в окультуренной – 52 мм-экв/кг. При кислотной нагрузке $4,7 \cdot 10^{-6}$ – $11,9 \cdot 10^{-6}$ М/100 г общая буферность в

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

неплодородной почве снизилась на 15, в плодородной – на 2,5 мМ-экв/кг. При нагрузке 30 10^{-6} М/100 г – на 25 и 10 мМ-экв/кг соответственно.

На наш взгляд, если общая за интервалы рН емкость буферности к подкислению лежит в диапазоне 9 – 11 мМ-экв/100 г, то достигается средний уровень устойчивости почвы.

Устойчивость калийного режима складывается при содержании гумуса в агросерой почве выше 2,5 %, $K_2O_{обм}$ не ниже 17 – 20 мг/100 г и $pH_{обм} > 5$. Увеличение содержания гумуса приводит к повышению AR_o и улучшению функционального состояния ППК. При содержании $K_2O_{обм}$ и $K_2O_{легк}$ в почве соответственно ниже 12 и 1 мг/100 г AR_o элемента крайне низкая ($0,5 - 0,7 \cdot 10^{-3}$ М/л). При возрастании количества $K_2O_{обм}$ в 2 раза значение AR_o увеличивается в 7 раз, – ΔK_o в 10 раз, PBC^k в 2,2 раза (табл. 4).

Таблица 4. Влияние содержания калия (мг/100 г) и гумуса (%) на компоненты калийной буферности агросерой почвы

Условие	$AR_o, \cdot 10^{-3}$ М/л	- $\Delta K_o,$ мг-экв/100 г	PBC^k
$K_2O_{обм}$			
$K_2O_{обм} \leq 12$	$\leq 0,5$	$\leq 0,01$	20
$20 > K_2O_{обм} > 12$	3,5	0,1	29
$K_2O_{легк} \cap$ гумус (Г)			
$20 > K_2O_{обм} > 12 \cap 3,5 > Г > 2,5$	4,5	0,20	44
$K_2O_{легк}, 0,002M CaCl_2$			
$K_2O_{легк} \leq 1$	$\leq 0,7$	$\leq 0,01$	14
$2 > K_2O_{легк} > 1$	1,3	0,04	31

Считается, что наиболее благоприятным фосфатным режимом обладает почва с относительно высокими буферными свойствами, обусловленными не поглощением фосфора твердой фазой, а его десорбцией. В наших исследованиях, проведенных на агросерых тяжелосуглинистых почвах, в 36 % случаев имело место одновременное повышение интенсивности фосфора в растворе и PBC^p относительно 25 мг/г. Оптимальные условия для этого были следующими: содержание гумуса в среднем 3,0 %; $pH_{обм}$ около 5,3 и концентрация $P_{равн}$ 0,15 мг/л. В 32 % случаев происходило снижение как PBC^p , так и Y_o при условии содержания гумуса ниже 2,5 %, $P_{равн}$ ниже 0,11 мг/л и

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

возрастания кислотности почвенного раствора до 4,6 рН_{обм}. Установлено, что если содержание Р_{равн} ≤ 0,11 мг/л, а гумуса ≤ 2,5 %, то Q₀ составит 0,68 мг/100г. Если величины отмеченных выше параметров увеличиваются соответственно до 0,15 мг/л и 3,5 %, то Q₀ возрастает до 1,35 мг/100 г, а РВСП – с 34 до 45 мл/г. Примем значения РВСП 34 – 45 мл/г, Q₀ – 0,6 – 1,3 мг/100 г и концентрации фосфора 0,1 – 0,2 за средний уровень устойчивости агросерой почвы меньшие значения – за низкий уровень.

Модель устойчивости агросерой почвы.

Конечной целью наших исследований было разработка модели плодородия агросерой тяжелосуглинистой почвы, отражающей ее устойчивость к неблагоприятным воздействиям. Современные модели плодородия в основном включают агрохимические, физические, биологические и другие показатели, которые позволяют оценить, спрогнозировать уровень продукционного процесса сельскохозяйственных растений. Наша модель указывает на условия необходимые для реализации устойчивого продукционного процесса.

При относительной активности калия ниже 2 М/л·10⁻³ (РВСК < 24), 2 – 4 М/л·10⁻³ (45 > РВСК > 24) и более 4 М/л·10⁻³ (РВСК < 24) достигаются соответственно низкий, средний и высокий уровни устойчивости серой лесной почвы.

При Р_{равн} в вытяжке 0,01 М СаCl₂, емкости десорбции и потенциальной буферной способности менее 0,1 мг/л, 0,7 мг Р/100 г и 34 мл/г соответственно степень устойчивости агросерой почвы расценивается как низкая. Средний уровень устойчивости обеспечивается при Р_{равн} от 0,1 до 0,2 мг/л, Q₀ – от 0,7 до 1,4 мг Р/100 г и РВСП – от 34 до 45 мл/г; высокий уровень устойчивости при Р_{равн} более 0,2 мг/л, Q₀ более 1,4 мг Р/100 г и РВСП более 45 мл/г.

Если общая за интервалы рН емкость буферности к подкислению лежит в диапазоне 9 – 11 мМ-экв/100 г, то достигается средний уровень устойчивости почвы. При этом поглощенных оснований должно быть не менее 20 мг-экв/100 г. Не рекомендуется снижение емкости буферности к подкислению до значений менее 9 мМ-экв/100 г.

В длительных опытах с калийными удобрениями установлены достоверные прибавки урожайности сельскохозяйственных растений, которые колебались в зависимости от вида удобрения и ротации в пределах 1,8 – 6,5 ц/га з.ед. В среднем за 8 ротаций прибавка составила 5,0 ц/га з.ед. На варианте без удобрений продуктивность

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

севооборота составила около 24 ц/га з.ед. Данные по урожайности согласуются с данными по калийному режиму агросерой почвы (табл. 5).

Таблица 5. Модель устойчивости плодородия агросерой тяжелосуглинистой почвы

Показатели	Единица измерения	Уровень устойчивости почвы		
		низкий	средний	высокий
		урожайность, т/га к. ед.		
		< 2,4	2,4 – 2,9	> 2,9
Общая за интервалы рН емкость буферности к подкислению (ЕБк)	мМ-экв/100 г	< 9	9 – 11	> 11
Поглощенные основания (Ca ²⁺ +Mg ²⁺)	мг-экв/100 г	< 20	20 – 25	> 25
Максимальная адсорбция (Q _{max}) по Ленгмюру:	мМ/кг			
Цинка		< 91	91 – 143	> 143
Меди		< 104	104 – 130	> 130
Кадмия		< 93		> 93
Свинца		< 61	61 – 132	> 132
Буферность к загрязнению по изотерме адсорбции в точки концентрации:				
		цинк		
5		< 4	4 – 7	> 7
10		< 2	2 – 4	> 4
	фактор	медь		
5	интенсив-	< 5	5 – 6	> 6
10	ности в	< 2	2 – 3	> 3
	мМ/л	кадмий		
5	фактор	< 4		> 4
10	емкости	< 2		> 2
	в мМ/кг	свинец		
5		< 2	2 – 6	> 6
10		< 1	1 – 4	> 4
Относительная активность калия (AR ₀)	М/л · 10 ⁻³	< 2	2 – 4	> 4
Потенциальная калийная буферность (РБСк)	Фактор емкости в	< 24	24 – 45	> 45
	мг-экв/100 г			
Равновесная концентрация фосфора Р _{равн} (в вытяжке 0,01 М СаСl ₂)	мг/л	< 0,1	0,1 – 0,2	> 0,2
Емкость десорбции (Q ₀)	мг Р/100 г	< 0,7	0,7 – 1,4	> 1,4
Потенциальная фосфатная буферность (РВСр)	мл/г	< 34	34 – 45	> 45

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Заключение

Таким образом, поэтому условно принимаем, что при продуктивности сельскохозяйственных растений менее 24 ц/га з.ед. уровень устойчивости агросерой почвы будет низкий. Средний уровень устойчивости обеспечивается при продуктивности от 24 до 29 ц/га з.ед., высокий – при более 29 ц/га з.ед. Аналогичная закономерность наблюдалась и в опыте с фосфорными удобрениями.

Количественной и качественной мерами реализации механизмов устойчивости являются предложенные в таблице 5 показатели, отражающие три уровня устойчивости почвы: относительно низкий, средний и высокий. Длительность полевых многолетних опытов и их схемы позволяют получить достоверный экспериментальный материал и в сравнительном изучении вариантов ранжировать как минимум три состояния указанных физико-химических параметров, а значит функционирования почвы, соответствующие условно низкому, среднему и высокому уровням устойчивости.

С учетом динамического состояния почв предложенная модель плодородия является ориентировочной для агросерой тяжелосуглинистой почвы.

Список использованных источников:

1. Габибов М.А., Виноградов Д.В., Бышов Н.В. Агрочвоведение // Учебник. Рязань, 2018. 326с.
2. Габибов М.А., Виноградов Д.В., Бышов Н.В. Растениеводство // Учебник ФГБОУ ВО РГАТУ. Рязань, 2019. 302с.
3. Щур А.В., Виноградов Д.В. и др. Отраслевая экология // Могилев-Рязань, 2016. 154с.
4. Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Головина Н.А. Физико-химический блок плодородия агросерой почвы // Агрохимический вестник. – 2013. – № 5. – С. 12-13.
5. Курчевский С.М., Виноградов Д.В. Улучшение малопродуктивных супесчаных дерново-подзолистых почв при внесении органо-минеральных удобрений и микробиологической добавки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2014. – № 1(21). – С. 47-51.
6. Щур А.В., Валько В.П., Виноградов Д.В. Влияние способов обработки почвы и внесения удобрений на численность и состав микроорганизмов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 41-44.
7. Щур А.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. [и др]. Радиоэкологическая

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====
 эффективность биологически активных препаратов в условиях Беларуси // АгроЭкоИнфо. 2015. № 5 (21). С. 6.

8. Соколов А.А., Лупова Е.И., Мазиров М.А., Виноградов Д.В. Мониторинг фитосанитарного состояния агроценозов в условиях Рязанской области // Владимирский земледелец, 2020. №4(94). С.46-52.

9. Иванов Е.С., Чёрная В.В., Виноградов Д.В. [и др]. Экологическое ресурсосведение // Рязань: ИП «Жуков В.Ю.», 2018. 514с.

10. Троц, Н.М. и др. Тяжелые металлы в агроландшафтах Самарской области // Кинель, 2018. 220с.

11. Захарова О.А., Морозова Н.И., Виноградов Д.В. СД и РВ в продукции растениеводства и животноводства // Рязань, 2010. 84с.

12. Захарова О.А., Виноградов Д.В. Экономическая эффективность почвозащитного севооборота при включении в него растений-гипераккумуляторов тяжелых металлов // В сб.: Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России. Матер. межд. науч.-практич. конф., 2009. С. 144-146.

13. Захарова О.А., Виноградов Д.В. Экологическое использование сельскохозяйственных культур почвозащитного севооборота в зоне техногенного загрязнения // Международный технико-экономический журнал. 2009. № 5. С. 71-72.

14. Дубровина О.А., Зубкова Т.В. Содержание свинца и кадмия в почве и органах растений сосны обыкновенной в лесопарковых зонах г. Ельца // Плодоводство и ягодоводство России. – 2019. – Том.57. – С.56-60.

15. Зубкова Т.В., Масина Т.А. Влияние экологических условий выращивания на фотосинтетический потенциал декоративных растений [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2021. - № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2021/st_115_annot.html

16. Зубкова Т.В., Дубровина О.А. Анализ содержания тяжелых металлов в однолетней хвое ели колючей (*Picea pungens*) и туи западной (*Thuja occidentalis*), произрастающих в разных функциональных зонах г. Ельца [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2020. - № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2020/st_316_annot.html

17. Shchur A., Valkho O. V., Vinogradov D., Valko V. Influence of Biologically Active Preparations on Caesium-137 Transition to Plants from Soil on the Territories Contaminated after Chernobyl Accident // Impact of Cesium on Plants and the Environment. – Switzerland : Springer International Publishing, 2017. – P. 51-70. – DOI 10.1007/978-3-319-41525-3_4.

18. Виноградов Д.В., Артемова Н.А. Методические рекомендации по возделыванию льна масличного в Рязанской области. – Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2010. – 26 с.

19. Виноградов Д. В. Научно-практические аспекты интродукции масличных

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
 Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
 к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

культур в южной части Нечерноземной зоны России // Интродукция растений: теоретические, методические и прикладные проблемы : Межд. конф. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2009. – С. 16-18.

20. Виноградов Д.В. Новая масличная культура для Рязанской области // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – № 4. – С. 32-34.

21. Виноградов Д.В. Особенности и перспективы возделывания масличных культур в условиях юга Нечерноземья // Перспективные направления исследований в селекции и технологии возделывания масличных культур : 5 межд. конф. молодых ученых и специалистов. – Краснодар: ВНИИМК им. В.С. Пустовойта, 2009. – С. 51-54.

22. Бышов Н.В., Виноградов Д.В., Стародубцев В.В. Агроэкологическая оценка возделывания масличных культур в зоне техногенного загрязнения агроландшафта // Почвы Азербайджана: генезис, мелиорация, рациональное использование и экология : Межд. науч. конф. Том 2. – Баку-Габала, 2012. – С. 855-859.

23. Виноградов Д. В. Особенности и перспективы использования льна масличного сорта Санлин // Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных культур. – Рязань, 2013. – С. 224-229.

24. Евсенина М.В., Сазонкин К.Д., Виноградов Д.В. Ограничивающие факторы плодородия почв в Рязанской области // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур : XXI Межд. науч.-практич. конф. – Горки: БГСХА, 2023. – С. 58-60.

25. Ильинский А.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. Экологическое обоснование способа агрохимической мелиорации почв в условиях техногенеза // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 1(31). – С. 18.

26. Vinogradov D.V., Vysotskaya E.A., Naumtseva K. V., Lupova E. I. Features of using modern multicomponent liquid fertilizers in white mustard agrocoenosis // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 422. – Voronezh: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012014.

27. Lupova E.I., Sazonkin K.D., Vinogradov D.V. Yield of winter rape in Ryazan region // IOP conference series: earth and environmental science : Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products. Vol. 723. – Smolensk, 2021. – P. 022031.

28. Лупова Е.И., Виноградов Д.В., Мастеров А.С. Совершенствование технологии возделывания сурепицы. – Рязань - Горки : ИП Жуков В.Ю., 2020. – 176 с.

29. Лупова Е.И., Виноградов Д.В. Влияние гуминового удобрения и доз минеральных удобрений на продуктивность ярового рапса // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 3(84). – С. 31-37.

30. Габибов М.А., Троц Н.М., Виноградов Д.В. Практикум по агрохимии. – Кинель : Самарский государственный аграрный университет, 2022. – 222 с.

31. Pityurina I.S., Vinogradov D.V., Lupova E.I., Evsenina M.V. Using the biologization

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д.,
Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы
к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур
.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

elements in potato cultivation technology // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture. – Smolensk: IOP PUBLISHING LTD, 2021. – P. 032047.

32. Зубкова Т. В., Виноградов Д.В. Влияние применения цеолита на урожайность рапса и качество масла, полученного из его семян // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5(199). – С. 23-29.

33. Виноградов Д.В., Макарова М.В., Лупова Е.И. Агроэкологическое действие осадка сточных вод и его смесей с цеолитом на агроценозы масличных культур // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 3. – С. 127-133.

34. Соколов А. А., Виноградов Д.В. Продуктивность ярового ячменя при использовании различной предпосевной обработки семян // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 1(29). – С. 47-50.

=====

Цитирование:

Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Макарова М.П., Ручкина А.В., Поминчук Ю.А., Гогмачадзе Г.Д., Лебедев И.М. Эколого-агрохимическая оценка устойчивости серой лесной почвы к неблагоприятному воздействию и ее плодородие для выращивания сельскохозяйственных культур [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/3/st_327.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202143327>.