

ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Кислотность почвы – это способность почвы проявлять свойства кислот. Она проявляется благодаря имеющимся в почве кислотам, обменно-поглощенным катионам водорода, а также катионам алюминия, способным при вытеснении из почвенного поглощающего комплекса (ППК) образовывать в почвенном растворе гидролитически кислые соли. Почвенный поглощающий комплекс – это совокупность высокодисперсных минеральных, органических и органо-минеральных частиц твердой фазы, способных поглощать, удерживать и обменивать молекулы, ионы, различные вещества и соединения. Основная доля поглотительной способности приходится на коллоиды (частицы размером менее 0,0001 мм).

В зависимости от места нахождения катионов водорода и алюминия кислотность почвы делится на актуальную (активную) кислотность почвенного раствора и потенциальную (скрытую) кислотность твердой фазы почвы, которая, в свою очередь, подразделяется на обменную и гидролитическую.

Кислотность выражается в миллиэквивалентах на 100 г почвы, а актуальная и обменная, кроме того, – в единицах pH – отрицательного логарифма активности ионов водорода (pH_{H_2O} и pH_{KCl} соответственно). Миллиэквивалент (мэкв) – тысячная доля грамм-эквивалента. При объемных определениях вычисление кислотности производят умножением числа миллилитров раствора, израсходованного на титрование, на молярность этого раствора. Для пересчета ионов в миллиэквиваленты массу иона в миллиграммах делят на эквивалентный вес. Например: масса Ca = 40 мг, эквивалентный вес = 20, что отвечает $40 / 20 = 2$ мэкв.

Актуальная кислотность обусловлена наличием в почвенном растворе водорастворимых органических кислот (щавелевой, лимонной, яблочной, фульвокислот), гидролитически кислых солей и др., прежде всего угольной кислоты, которая образуется в результате биологической деятельности в почве и диссоциирует на ионы H^+ и HCO_3^- , и раствор становится кислым за счет повышения концентрации ионов H^+ и накопления свободной угольной кислоты.

Кроме того, источником ионов H^+ могут быть гидролитически кислые соли алюминия: $AlCl_3 + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3H^+ + 3Cl^-$.

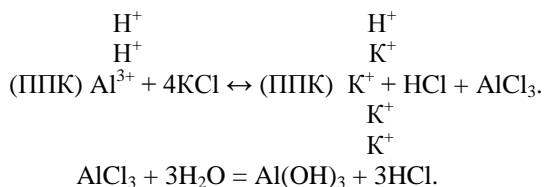
Связь между концентрацией ионов водорода и реакцией среды показана в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Значения pH и реакция среды

Концентрация ионов H^+ , г/л	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
pH	3	4	5	6	7	8	9	10
Реакция среды	Кислая		Слабо-кислая		Нейтральная	Слабо-щелочная		Щелочная

Потенциальная кислотность обусловлена наличием ионов H^+ и Al^{3+} в обменном состоянии в ППК. Она подразделяется на обменную и гидролитическую.

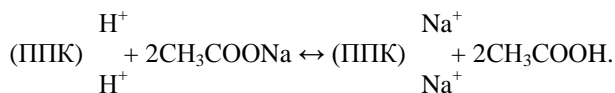
Обменной кислотностью почвы называют ту часть потенциальной кислотности, которая проявляется при взаимодействии почвы с раствором нейтральной соли (KCl). Реакция ее протекает по схеме



Кислота, образующаяся при вытеснении из почвы алюминия и обменного водорода, которые переходят в солевую вытяжку, составляет обменную кислотность.

Гидролитическая кислотность почвы. При обработке почвы раствором нейтральной соли выявляется не вся потенциальная кислотность. Более полно ионы водорода из ППК можно вытеснить раствором гидролитически щелочной соли, например уксуснокислого натрия (CH_3COONa). Щелочная реакция раствора этой соли является главной причиной более полного вытеснения обменного водорода из почвы.

Реакция протекает по схеме



Количество образовавшейся уксусной кислоты характеризует величину гидролитической кислотности и может рассматриваться как суммарная кислотность почвы, состоящая из актуальной и потенциальной.

В зависимости от pH водной или солевой вытяжки различают следующие уровни кислотности или щелочности почвы (табл. 2).

Таблица 2. Уровни кислотности и щелочности почв (И. С. Кауричев)

pH_{KCl}	Уровень кислотности и щелочности почвы	Почвы
<4,5	Сильнокислая	Болотные, болотно-подзолистые, подзолистые, красноземы тропические
4,5–5,0	Кислая	Подзолистые, дерново-подзолистые, красноземы тропические
5,1–5,5	Слабокислая	То же
5,6–6,0	Близкая к нейтральной	Окультуренные дерново-подзолистые и красноземы, серые лесные
6,1–7,1	Нейтральная	Серые лесные, черноземы
7,2–7,5	Слабощелочная	Черноземы южные, каштановые, сероземы с признаками солонцеватости
7,7–8,5	Щелочная	Солонцы, солончаки
>8,5	Сильнощелочная	Содовые солонцы, солончаки

Примечание. Для кислых почв вытяжка 1 М раствора KCl (pH_{KCl}), для щелочных – водная вытяжка (pH_{H_2O}).

Градация почв по степени кислотности для почв Республики Беларусь приведена в табл. 3.

Таблица 3. Градация почв Республики Беларусь по степени кислотности

Группа	Степень кислотности	pH_{KCl}	
		Минеральные почвы	Торфяные почвы
I	Сильнокислые	<4,50	<4,00
II	Среднекислые	4,51–5,00	4,01–4,50
III	Кислые	5,01–5,50	4,50–5,00
IV	Слабокислые	5,51–6,00	5,01–5,50
V	Бликие к нейтральным	6,01–6,50	5,51–6,00
VI	Нейтральные	6,51–7,00	6,01–6,50
VII	Слабощелочные	>7,00	>6,50

1.1. Определение актуальной кислотности

Ход анализа. На теххимических весах отвешивают навеску почвы массой 10 г и переносят в стаканчик. К навеске прибавляют 25 мл воды (соотношение почвы и раствора равно 1:2,5). Содержимое стаканчика перемешивают стеклянной палочкой и оставляют на 5–10 мин. После отстаивания величину pH определяют на потенциометре и записывают ее значение.

Потенциометрическое измерение проводят после проверки рН-метра по буферному раствору.

Ополаскивают электроды дистиллированной водой, снимают лишние капли воды фильтровальной бумагой и опускают электроды в испытуемый раствор. Показания снимают с точностью до сотых.

По окончании работы электроды промывают и погружают в дистиллированную воду, закрыв пробкой вспомогательный электрод. Прибор выключают из сети.

1.2. Определение обменной кислотности

Ход анализа. На технохимических весах берут 10 г воздушно-сухой почвы, помещают ее в стаканчик вместимостью 50 мл и приливают 25 мл 1 М раствора KCl (для торфяных почв соотношение почвы и раствора равно 1:25). Содержимое стаканчика перемешивают стеклянной палочкой и оставляют на 5–10 мин. После отстаивания величину рН определяют на потенциометре и записывают ее значение.

Потенциометрическое измерение проводят после проверки рН-метра по буферному раствору.

Ополаскивают электроды дистиллированной водой, снимают лишние капли воды фильтровальной бумагой и опускают электроды в испытуемый раствор. Показания снимают с точностью до сотых.

По окончании работы электроды промывают и погружают в дистиллированную воду, закрыв пробкой вспомогательный электрод. Прибор выключают из сети.

1.3. Определение гидролитической кислотности почвы по Каппену методом титрования

Ход анализа. На технохимических весах отвешивают 20 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с ячейками диаметром 1 мм, и высыпают в колбу вместимостью 250 мл, приливают к почве 50 мл 1 М раствора CH_3COONa с рН 8,3–8,4 и взбалтывают в течение 1 ч. Суспензию отфильтровывают через складчатый фильтр, предварительно хорошо взболтав. Если фильтрат окажется мутным, то его перефильтровывают. Из прозрачного фильтрата берут пипеткой 25 мл и переносят в коническую колбу вместимостью 100 мл. Прибавляют 1–2 капли фенолфталеина и оттитровывают 0,1 М раствором NaOH до слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение 1 мин.

Гидролитическую кислотность вычисляют по приведенной в данном подразделе формуле, а результаты определения записывают в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Результаты определения гидролитической кислотности

Горизонт и глубина взятия образца, см	Навеска почвы, г	Количество NaOH, пошедшее на титрование, мл	Поправка к титру NaOH	Коэффициент гигроскопичности	Гидролитическая кислотность, мэкв/100 г
	<i>C</i>	<i>a</i>	K_{NaOH}	$K_{\text{H}_2\text{O}}$	$H_{\text{г}}$

$$H_{\text{г}} = \frac{a \cdot K_{\text{NaOH}} \cdot 100 \cdot 0,1 \cdot 1,75 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{C},$$

где $H_{\text{г}}$ – гидролитическая кислотность, мэкв/100 г почвы;

a – количество 0,1 М раствора NaOH, пошедшее на титрование, мл;

K_{NaOH} – поправка к титру;

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

0,1 – коэффициент пересчета в миллиэквиваленты;

1,75 – поправка на полноту вытеснения ионов H^+ ;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коэффициент гигроскопичности;

C – навеска воздушно-сухой почвы, соответствующая взятому для титрования объему фильтрата (10 г).

СУММА ОБМЕННЫХ ОСНОВАНИЙ

Почвенные коллоиды, благодаря наличию большой суммарной поверхности и электрического заряда, способны поглощать (сорбировать) из жидкой фазы (почвенного раствора) ионы. Преобладающая часть минеральных частиц и все органические коллоиды приобретают отрицательный заряд, поэтому поглощаются преимущественно катионы. Поглощенные катионы можно разделить на две группы: 1) обменные катионы оснований Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ и др.; 2) обменные катионы H^+ и Al^{3+} .

Поглощенные коллоидами катионы способны вступать в реакции обмена. Поэтому их называют обменными. Общее количество поглощенных катионов оснований, способных к обмену на катионы почвенного раствора, называется **суммой обменных оснований** и выражается в миллиэквивалентах на 100 г почвы.

Почвы, содержащие в поглощенном состоянии преимущественно катионы оснований (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ и др.), называются насыщенными основаниями.

Почвы, в которых наряду с основаниями в поглощенном состоянии находятся в значительных количествах ионы водорода и алюминия, называются ненасыщенными основаниями.

К первой группе почв относятся черноземы, каштановые, бурые почвы, сероземы, ко второй – дерново-подзолистые, серые лесные, красноземы, болотные почвы.

Состав обменных катионов оказывает большое влияние на агрономические свойства почвы. Почвы, насыщенные основаниями, имеют прочную структуру, благоприятную реакцию среды.

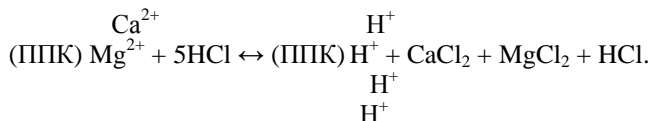
Определение состава и количества обменных катионов имеет важное значение в познании агрономических свойств почвы. В частности, оно дает возможность более тщательно подойти к решению вопроса о необходимости известкования кислых почв.

2.1. Определение суммы обменных оснований по методу Каппена – Гильковица

Принцип метода. Сумма обменных оснований определяется исходя из способности их вытесняться каким-либо другим катионом, находящимся в растворе или же введенным в раствор.

В кислых почвах сумма обменных оснований определяется по методу Каппена – Гильковица. В основу метода положено взаимодействие почвы с 0,1 М раствором HCl . Образующиеся при диссоциации HCl водородные ионы вытесняют из поглощенного состояния основания (Ca^{2+} , Mg^{2+} и др.). Зная количество соляной кислоты до взаимодействия с почвой и после взаимодействия, вычисляют сумму обменных оснований.

Реакция взаимодействия HCl с поглощающим комплексом протекает по схеме



Ход анализа. Из воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с ячейками диаметром 1 мм, берут навеску массой 20 г и переносят в колбу вместимостью 250 мл. К почве приливают 100 мл 0,1 М раствора HCl , содержимое взбалтывают в течение 1 ч на ротаторе и

оставляют на сутки. Через сутки содержимое колбы отфильтровывают через складчатый фильтр. Берут пипеткой 50 мл фильтрата в коническую колбу вместимостью 200 мл и кипятят в течение 1–2 мин для удаления CO_2 . В горячий фильтрат прибавляют 2–3 капли фенолфталеина и оттитровывают 0,1 М раствором NaOH до слабо-розовой окраски.

Сумму обменных оснований вычисляют по формуле

$$S = \frac{(a \cdot K_1 - b \cdot K_2) \cdot 100 \cdot 0,1 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{C},$$

где S – сумма обменных оснований, мэкв/100 г;

a – количество фильтрата, взятое для титрования, мл;

K_1 – поправка к титру 0,1 М раствора HCl;

b – количество 0,1 М раствора NaOH, пошедшее на титрование, мл;

K_2 – поправка к титру 0,1 М раствора NaOH;

0,1 – коэффициент пересчета в миллиэквиваленты;

C – навеска воздушно-сухой почвы, соответствующая взятому для титрования объему фильтрата, г.

Результаты определения записывают в табл. 8.

Т а б л и ц а 8. Результаты определения суммы обменных оснований

Количество фильтрата, взятого для анализа, мл	Навеска почвы, соответствующая объему фильтрата, г	Количество 0,1 М NaOH, пошедшее на титрование, мл	Поправка к титру		Коэффициент гигроскопичности $K_{\text{H}_2\text{O}}$	Сумма обменных оснований, мэкв/100 г
			0,1 М HCl	0,1 М NaOH		
a	C	b	K_1	K_2	$K_{\text{H}_2\text{O}}$	S

Определение емкости катионного обмена расчетным путем

Емкость катионного обмена наряду с лабораторным определением может быть рассчитана по формуле

$$\text{ЕКО} = S + H_r,$$

где ЕКО – емкость катионного обмена, мэкв/100 г почвы;

S – сумма обменных оснований, мэкв/100 г почвы;

H_r – гидролитическая кислотность, мэкв/100 г почвы.

ВЫЧИСЛЕНИЕ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕННОСТИ ПОЧВ ОСНОВАНИЯМИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВ

В ИЗВЕСТКОВАНИИ И РАСЧЕТ НОРМ ИЗВЕСТИ

Насыщение почвы обменными катионами имеет тесную связь с ее плодородием и физическими свойствами. Присутствие двухвалентных катионов обуславливает структуру почвы, наличие водорода и алюминия связано с ее кислотностью.

Доля участия в ППК обменных оснований определяется степенью насыщенности почв основаниями и рассчитывается по формуле

$$V = \frac{S}{\text{ЕКО}} \cdot 100,$$

где V – степень насыщенности почвы основаниями, %;

S – сумма обменных оснований, мэкв/100 г почвы;

ЕКО – емкость катионного обмена, мэкв/100 г почвы.

Степенью насыщенности почвы основаниями называется доля обменных катионов оснований, выраженная в процентах от общего числа всех поглощенных катионов почвы. Она показывает, какую часть емкости поглощения занимают обменные основания (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ и др.) и какую – H^+ и Al^{3+} . Величина степени насыщенности основаниями – важный показатель для характеристики поглотительной способности и степени кислотности почвы. Ее вычисление необходимо для определения потребности почв в известковании (табл. 11).

При насыщенности основаниями легких почв менее 65 % и тяжелых менее 75 % и при рН солевой вытяжки 5,1–5,5 кислотность почв считается средней и они известкуются наравне с почвами, имеющими рН солевой вытяжки 4,6–5,0; при этом же рН, если насыщенность основаниями легких почв более 65 % и тяжелых более 75 %, почвы считаются слабокислыми и известкуются при наличии извести и под культуры, особо чувствительные к кислотности (сахарную и столовую свеклу, клевер и др.).

Проведенные физико-химические анализы необходимы для решения одной из важнейших практических задач в зонах распространения кислых почв, а именно при определении доз извести в соответствии с особенностями почвы и возделываемых растений.

Т а б л и ц а 11. **Определение степени нуждаемости почв в известковании**

рН солево й вытяж ки	Степень насыщенности почв основаниями, %		Степень кислотности почвы	Очеред - ность известко вания	Примечание
	Песчан ые и супесч анные почвы	Суглин истые и глинис тые почвы			
<4,5	–	–	Сильная	1	Почвы известкуются при всех условиях
4,6–5,0	–	–	Средняя	2	
5,5–5,0	<65	<75	Средняя	2	
5,1–5,5	>65	>75	Слабая	3	Почвы известкуются при наличии дешевой извести
>5,5	–	–	Близка к нейтральной	4	Почвы обычно не известкуются

В табл. 12 представлены оптимальные параметры кислотности почв, а в табл. 13, 14 – средние дозы известковых удобрений (CaCO_3 , т/га).

Т а б л и ц а 12. **Оптимальные параметры кислотности дерново-подзолистых почв и нормативы изменения рН от 1 т CaCO_3**

Почвы	Кислотность рН _{ксл}	Зона оптимума Среднее значение рН _{ксл}	Нормативы сдвига рН от 1 т CaCO_3
Суглинистые и глинистые	<4,5	<u>6,0–6,7</u> 6,4	0,10
	4,6–5,0		0,08
	5,1–5,5		0,07
	5,6–6,0		0,05
Супесчаные	<4,5	<u>5,8–6,2</u> 6,0	0,13
	4,6–5,0		0,10
	5,1–5,5		0,08
	5,6–6,0		0,06
Песчаные	<4,5	<u>5,6–5,8</u> 5,7	0,14
	4,6–5,0		0,11
	5,1–5,5		0,08
Торфяно- болотные	<4,5	<u>5,0–5,3</u> 5,1	0,06
	4,6–5,0		0,04

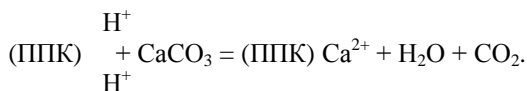
**Т а б л и ц а 13. Средние дозы известковых удобрений (CaCO₃, т/га)
для известкования пахотных почв, при залужении и перезалужении
сенокосов и пастбищ**

Гранулометрический состав пахотного горизонта	Содержание гумуса, %	pH _{KCl}							
		4,25 и менее	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00
Пески	<1,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	–	–
	1,5–3,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	–	–
	>3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–
Рыхлые супеси	<1,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	–
	1,5–3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	–
	>3,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–
Связные супеси	<2,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	2,5
	>2,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,0	4,5	4,0	3,0
Легкие и средние суглинки	<2,0	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,0	4,5	3,5
	>2,0	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0
Тяжелые суглинки и глины	Независимо от содержания гумуса	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0
Минеральные почвы сенокосов и пастбищ в целом	<3,0	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	3,5	3,0
	>3,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,0	3,5

**Т а б л и ц а 14. Средние нормы известковых удобрений (CaCO₃, т/га)
для известкования торфяно-болотных почв**

pH _{KCl} торфяного горизонта	CaCO ₃
3,00–3,35	14
3,36–3,75	12
3,76–4,15	10
4,16–4,45	8
4,46–4,65	6
4,66–4,85	5
4,86–5,00	3

Реакция взаимодействия извести с ППК, насыщенным ионами Н⁺, протекает по уравнению



Более точно полную дозу извести (CaCO_3 , т/га) можно определить по гидролитической кислотности с помощью формулы

$$\text{CaCO}_3 = H_{\Gamma} \cdot 1,5.$$

Указанная формула получается в результате следующих расчетов. Для нейтрализации 1 мэкв кислотности (вышеприведенных ионов H^+) на 100 г почвы согласно реакции требуется 1 мэкв, или 50 мг, CaCO_3 , а на 1 кг почвы – 500 мг CaCO_3 . Умножив эту величину на массу пахотного слоя 1 га, которую в среднем принимаем за 3 000 000 кг ($d_v = 1,5 \text{ г/см}^3$, мощность пахотного слоя $h = 20 \text{ см}$) и разделив на 1 000 000 000 для перевода миллиграммов в тонны, получаем:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{H_{\Gamma} \cdot 500 \cdot 3\,000\,000}{1\,000\,000\,000} = H_{\Gamma} \cdot 1,5.$$

Полученные результаты, т. е. величина H_{Γ} , умноженная на плотность сложения d_v данного слоя, заносят в табл. 15.

Т а б л и ц а 15. Результаты определения степени насыщенности почвы основаниями и расчета доз извести

Сумма обменных оснований, мэкв/100 г почвы	Гидролитическая кислотность, мэкв/100 г почвы	Степень насыщенности основаниями, %	Емкость катионного обмена, мэкв/100 г почвы	Плотность почвы, г/см ³	Мощность $A_{\text{об}}$, см	Масса пахотного слоя 1 га	Обменная кислотность	Доза CaCO_3 , т/га	
								по pH_{KCl}	по H_{Γ}
S	H_{Γ}	V	ЕКО	d_v	h	M	pH_{KCl}		

Различия в дозах извести для известкования почв, имеющих одинаковую величину pH_{KCl} , но различающихся по содержанию гумуса и гранулометрическому составу (табл. 13), объясняются тем, что песчаные и супесчаные почвы бедные гумусом, отличаются от суглинистых низкой емкостью поглощения и низкой буферной способностью, т. е. способностью противостоять изменению реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону.