

ПУТИ МОБИЛИЗАЦИИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВЫ И ВЛИЯНИЕ ЭТОГО ПРОЦЕССА НА УРОЖАЙНОСТЬ

Л. А. ХРИСТЕВА, доктор сельскохозяйственных наук,
Н. В. ЛУКЬЯНЕНКО

Сейчас можно считать твердо установленным фактом, что растворимые формы гуминовых кислот обладают физиологически активными свойствами, благодаря чему внесение их в почву повышает урожайность ряда сельскохозяйственных культур. Однако есть все основания полагать, что агрономического эффекта можно добиться и путем превращения гуминовых кислот самой почвы в физиологически активное состояние.

Так как только при растворении гуминовая кислота становится способной проявлять свои биологически активные свойства, что, по нашему мнению, связано с усвоением ее растением, мы считаем возможным назвать этот процесс мобилизацией.

Общеизвестно, что гуминовые кислоты с одновалентными металлами образуют растворимые соединения, а с двухвалентными и выше — нерастворимые. Очевидно, на разных почвах и, прежде всего, в зависимости от состава поглощенных катионов, гуматы могут находиться в различных по растворимости формах. В случае преобладания кальция в составе поглощающего комплекса растворимость гуминовых кислот будет падать, а при наличии натрия, калия и аммония — увеличиваться. Это, бесспорно, должно оказывать влияние на жизнедеятельность растений и микрофлоры, что и было впервые замечено К. К. Гедройцем [1].

По этому вопросу он писал: «Достаточно хоть несколько повысить растворимость гумуса, чтобы эти вещества стали доступнее микроорганизмам почвы, что в свою очередь вызовет усиление аммонификации и нитрификации. Такое повышение растворимости может быть вызвано заменой небольшого количества поглощенного кальция чернозема водородом и натрием».

Разбирая значение солонцеватости для жизни растений, он говорил: «Можно почти с уверенностью сказать, что очень слабая степень солонцеватости не вредна, по крайней мере многим культурам». Не имея в своем распоряжении прямых опытов, Гедройц для подтверждения мысли о положительном значении для роста растений малых количеств натрия в поглощенном комплексе ссылается на такие явления, как роскошное развитие и темно-зеленый цвет ботвы у сахарной свеклы и накопление больших количеств нитратов на слабосолонцеватых почвах. Дальше в этой работе К. К. Гедройц пишет: «Введение в почвенный поглощающий комплекс, насыщенный исключительно кальцием и магнием, небольшого количества натрия для создания слабой солонцеватости может быть достигнуто внесением в почву любой натриевой соли».

Исходя из учения Гедройца и современных представлений о биологическом значении растворимых гуматов, можно высказать такие предположения: внесение в почву одновалентных металлов должно привести к мобилизации гуминовых кислот почвы, т. е. к образованию растворимых, а следовательно, и физиологически активных их форм. Это, в свою очередь, должно стимулировать рост и развитие растений, жизнедеятельность микрофлоры и, в конечном счете, привести к повышению урожайности аналогично тому, как и при внесении в почву гуминовых удобрений. Исходя из этой рабочей гипотезы были проведены опыты как в вегетационных сосудах, так и в поле. Приведем результаты опытов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Укороченный вегетационный опыт был заложен в сосудах емкостью 1 кг почвы (обыкновенный чернозем) в 3-кратной повторности в двух сериях по схеме: контроль, NaCl, NaHCO₃, гумат натрия, NH₄OH и то же по фону аммиачной селитры. Норма этих удобрений, которые мы рассматриваем как средство мобилизации почвенного гумуса, устанавливалась из расчета 0,01 грамм-эквивалента на 1 кг почвы. Аммиачная селитра давалась по 0,14 г азота на сосуд, что соответствует количеству азота, внесенного с аммиачной водой.

Гумат натрия вносился из расчета 2 мл 1,5-процентного раствора.

Опыт был заложен 26 апреля 1960 года, и затем первая серия оставалась в парующем состоянии, а вторая 10 мая была засеяна кукурузой гибрида ВИР 42. После появления всходов сделали прорывку и оставили на сосуд 12 растений. Убрали опыт 7 июня.

Результаты наблюдений над динамикой подвижных форм гуминовых кислот в парующих сосудах представлены в таблице 1, а поглощенного аммиака и водорастворимых нитратов — в таблице 2.

Таблица 1

Динамика подвижных гумусовых веществ в парующих сосудах
(В % на абсолютно сухую почву)

Варианты опыта	Гуминовые кислоты, растворимые в 0,02 н NaOH			Водорастворимый гумус		
	29 мая	7 июня	10 сентября	29 мая	7 июня	10 сентября
Контроль	0,174	0,13	0,062	0,074	0,018	0,012
NaCl	0,220	0,15	0,090	0,073	0,017	0,014
NaHCO ₃	0,353	0,16	0,102	0,069	0,017	0,015
Гумат натрия	0,138	0,16	0,095	0,120	0,019	0,011
NH ₄ OH	0,190	0,15	0,138	0,076	0,021	0,006
NH ₄ NO ₃	0,167	0,15	0,075	0,077	0,024	0,008
NH ₄ NO ₃ + NaCl	0,285	0,16	0,061	0,064	0,020	0,012
NH ₄ NO ₃ + NaHCO ₃	0,204	0,17	0,101	0,076	0,018	0,001
NH ₄ NO ₃ + гумат натрия	0,131	0,15	6,090	0,071	0,020	0,004

Примечание. Количество гумусовых веществ в растворе определялось по Кубель-Тиману.

Данные таблицы 1 показывают, что под влиянием солей натрия и водорастворимого аммиака количество подвижного гумуса резко увеличивается. Причем это наблюдается как на неудобренном фоне, так и по аммиачной селитре. Соль же азотной кислоты не только не увеличи-

чила подвижность гуминовых кислот, но даже уменьшила. Эта закономерность была особенно резко выражена на 35-й день опыта в вытяжке 0,02н NaOH.

Таблица 2

Динамика нитратов и аммиака в парующих сосудах

Варианты опыта	На 100 г абсолютно сухой почвы, мг					
	аммиак			нитраты		
	29 мая	7 июня	10 сентября	29 мая	7 июня	10 сентября
Контроль	5,10	2,71	2,84	18,56	12,48	6,79
NaCl	17,0	3,08	2,51	10,67	6,94	2,27
NaHCO ₃	14,14	3,07	2,87	16,87	13,84	6,13
Гумат натрия	8,74	2,95	2,48	16,87	13,0	6,44
NH ₄ OH	6,19	2,95	2,30	25,77	23,56	6,17
NH ₄ NO ₃	4,28	2,73	2,53	27,12	30,43	10,89
NH ₄ NO ₃ + NaCl	20,06	2,15	2,67	24,89	13,65	5,81
NH ₄ NO ₃ + NaHCO ₃	14,87	2,28	2,51	27,12	25,05	4,47
NH ₄ NO ₃ + гумат натрия	8,57	2,37	2,89	27,56	24,32	8,72

Примечание. Аммиак (вытяжка 0,5 н HCl) и нитраты определялись колориметрически.

Со временем эта закономерность сглаживается. Внесение гумата натрия в указанных дозах увеличило только водорастворимую форму гуминовых кислот в почве и даже понизило растворимую — в 0,02 п NaOH. Наиболее длительным на растворимость гумусовых веществ было влияние NH₄OH.

Данные таблицы 2 показывают, что под влиянием NaCl и NaHCO₃ в почве резко увеличивается содержание аммиачного азота. Причем это увеличение идет в общем параллельно увеличению подвижности гуминовых веществ в самой почве. Гумат натрия и аммиачная вода действуют в том же направлении, что и соли натрия, но гораздо слабее.

Что же касается влияния всех этих веществ на накопление нитратов, то здесь совершенно четко можно заметить угнетающее влияние солей натрия, особенно хлористого, и стимулирующее влияние аммиачной воды. Влияние же гумата натрия ясно выражено не было.

Отсюда можно сделать вывод, что растворимые гуматы, которые образуются в почве после внесения солей натрия, более резко влияют на ту микрофлору, которая накапливает NH₄, а не NO₃. Причем на нитрофицирующие бактерии, по-видимому, угнетающим образом действуют ионы хлора.

Тот факт, что параллельное внесение в почву готового гумата натрия (торфяного) оказывает менее резкое действие, чем введение в поглощающий комплекс натрия, очевидно, нужно объяснить тем, что гумат натрия частично коагулировал, а то количество, которое осталось в растворе, оказалось ниже стимулирующих концентраций. В общем же эти данные подтверждают мысль Гедройца, что введение малых количеств натрия в поглощающем комплексе улучшает азотный режим почвы, и мысль, что этот прием можно использовать для повышения подвижности гуминовых кислот самой почвы, т. е. их мобилизации.

Давая объяснение улучшению азотного режима в почве, содержащей нитраты, Гедройц предполагал, что его следует объяснить лучшим усвоением микроорганизмами растворимого гумуса. Однако прекрасно поставленные по этому вопросу опыты Кудриной [3] показали, что

растворимые гуматы действительно усиливают жизнедеятельность микрофлоры почвы, в том числе и связанных азотным обменом, но они в большинстве случаев не являются для них источником углеродной пищи, а действуют главным образом как стимуляторы роста.

Данные о влиянии этих удобрений на образование сухой массы кукурузы и динамику почвенных компонентов при условии выращивания растений в этих сосудах приведены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние некоторых гумусдиспергирующих веществ на вес сухой массы кукурузы и накопление аммиака, нитратов и подвижных гуминовых кислот в почве

Вид удобрения	Абсолютно сухого вещества на сосуд, г		На 100 г абсолютно сухой почвы, мг			
	всего	в том числе корней	аммиака	нитратов	гумусовых веществ, растворимых в	
					0,02n NaOH	H ₂ O
Контроль — без удобрения	13,14	5,17	2,69	8,37	0,14	0,018
NaCl	15,45	6,25	3,16	4,65	0,13	0,029
NaHCO ₃	13,78	5,57	3,06	10,31	0,16	0,018
Гумат натрия	12,51	5,85	3,91	8,05	0,14	0,020
NH ₄ OH	15,45	6,25	3,45	17,25	0,18	0,020
NH ₄ NO ₃	14,28	5,14	2,28	19,84	0,10	0,019
NH ₄ NO ₃ + NaCl	18,64	5,50	3,52	13,88	0,19	0,022
NH ₄ NO ₃ + NaHCO ₃	14,28	5,09	2,28	18,29	0,16	0,023
NH ₄ NO ₃ + гумат натрия	16,30	5,57	2,47	17,73	0,18	0,017

Данные таблицы 3 показывают, что произрастание растений в значительной мере нивелировало влияние гумусдиспергирующих веществ на содержание в почве аммиака, нитратов и подвижность гуминовых кислот. Наиболее заметным в этих условиях было воздействие аммиачной воды.

Что же касается влияния этих веществ на накопление сухого вещества, то его можно считать установленным. Наиболее эффективной с этой точки зрения оказалась поваренная соль, а затем аммиачная вода, последнее место занимает сода.

Что же касается гумата натрия, то в условиях данного опыта он был эффективным только при условии внесения его на фоне азотного удобрения. Это вполне закономерно, так как нами еще в 1947 году [2] было установлено, что недостаток азота в питательной среде лимитирует действие растворимых гуматов. Запасов же азота в одном килограмме почвы для роста двенадцати растений в течение почти месяца хватить не могло.

Рассмотрим теперь результаты полевых опытов.

Полевые опыты проводились с кукурузой на зерно при обычном сроке посева и при выращивании ее как пожнивной культуры при орошении на зеленую массу.

В опыте с кукурузой на зерно, который проводился в 1959 году, в качестве мобилизующих почвенный гумус веществ испытывались NaCl и Na₂CO₃. Вносились они локально вручную одновременно с посадкой кукурузы из расчета 0,5 г NaCl и 0,25 г Na₂CO₃ на гнездо.

Внесение этих удобрений локально применялось потому, что такой способ позволяет свести к минимуму их дозу, а следовательно, и отрицательное действие катиона натрия на физические свойства почвы

(на гектар вносится всего 10—12 кг NaCl), и создать стимулирующую концентрацию растворимых гуматов в зоне развития молодых корешков, т. е. тогда, когда растения особенно хорошо реагируют на их влияние.

Этот опыт был заложен в учебном хозяйстве Днепропетровского сельскохозяйственного института. Почва — обыкновенный чернозем с содержанием гумуса 3,8%. Предшественник — суданка. Посадка — квадратно-гнездовая по яблечной вспашке. Посев — 9 мая, уборка — 5 октября. Размер учетной делянки — 50 м². Повторность 4-кратная.

В результате получен урожай початков кукурузы (в ц/га): на контроле — 61,75, по NaCl — 71,25, по Na₂CO₃ — 68,5. Этот опыт нужно рассматривать как рекогносцировочный, но полученные данные говорят о целесообразности дальнейшего изучения этого вопроса, особенно на сильно гумусированных почвах.

Здесь следует указать, что еще М. А. Егоров [4] показал, что внесение в почву поваренной соли под сахарную свеклу повышало ее урожай и сахаристость. В вегетационных опытах с ячменем этим же исследователем было показано, что замена ⁹/₁₀ нормы калия в питательной среде на натрий ни к каким вредным последствиям для развития ячменя не приводила. Аналогичные результаты были получены на Долгопрудной агрохимической станции.

Поваренная соль в качестве удобрения под сахарную свеклу с успехом изучалась «опытной сетью» сахарозаводчиков.

Положительное влияние натрия на сахарную свеклу полностью подтвердилось также в опытах ВНИС на Украине и в географической сети НИУИФ. Эти данные согласуются также с данными, полученными в Англии.

Положительное влияние солей натрия замечено, как отмечает Турчин [5], на кормовой и столовой свекле, люцерне, капусте, репе, турнепсе, а также на льне [6].

Что же касается взглядов на природу эффективности натриевых солей в качестве удобрения, то большинство авторов полагает, что его роль сводится к улучшению калийного питания растений как за счет вытеснения его из адсорбированного состояния в протоплазме, так и за счет реакции натрия с поглощающим комплексом почвы. Ф. В. Турчин [7], считает, что в питании некоторых растений натрий играет самостоятельную роль.

Не отрицая всех указанных положений, полученные результаты в наших опытах мы все же склонны объяснить образование физиологически активных форм гуминовых кислот, так как кукуруза в наших условиях, как правило, не нуждается в калийных удобрениях и не проявляет специфической потребности к натрию. Образование же растворимых форм гуминовых кислот под влиянием внесения солей натрия, как уже говорилось, установлено прямым опытом.

Опыты с пожнивной кукурузой ставились также в учебном хозяйстве Днепропетровского сельскохозяйственного института в 1958, 1959 и 1960 годах. В этих опытах в качестве вещества, диспергирующего почвенные гуминовые кислоты, использовали аммиачную воду. Так как аммиачная вода является одновременно и азотным удобрением, ее вносили в виде подкормки из расчета 20 кг/га азота.

Для того чтобы установить, зависит ли прибавка урожая при внесении аммиачной воды и от мобилизующего действия на гуминовые кислоты иона аммония или только от улучшения азотного питания, в

схему опыта включили варианты — аммиачная селитра, аммиачная селитра + гумат натрия и просто гумат натрия.

Во все годы опытов предшественником были овощные культуры, под которые вносили навоз и минеральные удобрения.

Кукуруза ВИР 42 высевалась по зяблевой вспашке рядковым способом с междурядьями 45 см. Размер делянки — 50 м². Повторность 5-кратная. Р опыта в 1958 году не вычислялась, в 1959 году была — 2,8%, в 1960 г. — 3,01 процента.

Удобрения вносились вручную перед поливом. Гумат натрия из расчета 60 л/га 1-процентного раствора. Поливная норма воды — 150—250 м³ на гектар.

В 1958 году посев провели 11 июля, подкормку — 6 сентября, уборку — 25 октября. Лето этого года отличалось пониженными температурами и после подкормки сейчас же выпали дожди, а 18 сентября был заморозок.

В 1959 году кукурузу сеяли 10 июля, подкормку провели 22 августа, уборку — 25 сентября. Во второй половине лета стояла теплая неждливая погода.

Сеяли кукурузу в 1960 году 16 июля, подкармливали — 16 августа, убирали — 6 октября. Температура во время вегетации кукурузы была ниже многолетней и в это время выпало много осадков — только в одном августе 213 мм.

Данные урожая по этим опытам представлены в таблице 4.

Таблица 4

Влияние подкормок на урожай пожнивной кукурузы при орошении
(По данным полевых опытов)

Варианты опыта	1958 г.			1959 г.			1960 г.		
	Урожай зеленой массы кукурузы, ц/га	Прибавка		Урожай зеленой массы кукурузы, ц/га	Прибавка		Урожай зеленой массы кукурузы, ц/га	Прибавка	
		ц/га	%		ц/га	%		ц/га	%
Контроль—без удобрений	196	—	—	425	—	—	232	—	—
Подкормка гуматом натрия	183	-13	-6,6	480	+55	+12,9	—	—	—
Подкормка N ₂₀ P ₂₀ (азот в виде NH ₄ NO ₃)	204	+8	+4,1	469	+44	+10,4	273	+41	+17,6
Подкормка N ₂₀ P ₂₀ +гумат натрия (азот в виде NH ₄ NO ₃)	217	+21	+8,5	514	+89	+20,8	290	+58	+24,9
Подкормка N ₂₀ P ₂₀ (азот в виде NH ₄ OH)	221	+25	+12,4	513	+88	+20,7	245	+13	+5,2

Эти данные показывают, что в 1958 и 1959 годах аммиачная вода давала эффект лучший, чем аммиачная селитра, и только в 1960 году, который отличался исключительно обильными осадками во второй половине лета, была менее эффективной, чем селитра. Совместное внесение аммиачной селитры с гуматом натрия повышало ее эффективность во все годы, причем это было лучше всего заметно в 1959 году, который был особенно благоприятным как для развития кукурузы, так и для действия гумата натрия. Следует подчеркнуть, что именно в этом году эффективность аммиачной воды была равна суммарной прибавке урожая от совместного применения селитры и гумата натрия.

Все это подтверждает мысль о том, что природа эффективности аммиачной воды как удобрения определяется и тем, что при внесении

ее в почву там образуются растворимые гуминовые кислоты, т. е. они переходят в физиологически активное состояние и стимулируют как рост и развитие растений, так и жизнедеятельность микрофлоры. Пониженную эффективность аммиачной воды в 1960 году, очевидно, нужно объяснить тем, что гуматы аммония, которые образовались в почве, вымывались обильными дождями в более глубокие горизонты и таким образом из главной сферы развития корней выводились и растворимые гуматы, и азотная пища.

Все эти выводы в общем подтверждаются и данными анализа растений, которые приведены в таблице 5.

Таблица 5

Влияние подкормок на содержание в зеленой массе кукурузы белка и сахаров (В % на сухое вещество)

Варианты опыта	1959 г.			1960 г.		
	белка	моно-сахаров	сумма сахаров	белка	моно-сахаров	сумма сахаров
Контроль (без удобрений)	8,9	3,4	17,0	12,25	2,04	2,70
Подкормка гуматом натрия	8,0	5,0	22,0	—	—	—
Подкормка NH_4NO_3 (N_{20} по фону P_{20})	9,9	4,6	23,0	12,25	2,42	2,95
Подкормка NH_4NO_3 (N_{20} по фону P_{20}) + гумат натрия	9,3	4,3	21,5	12,5	2,15	3,15
Подкормка NH_4OH (N_{20} по фону P_{20})	9,1	4,0	20,8	9,5	1,92	2,35

Эти результаты показывают, что в год с более высокими температурами и лучшей инсоляцией, каким был 1959, гуматы натрия и аммиачная вода способствовали накоплению углеводов, что при наличии достаточного количества азота в почве приводило и к увеличению содержания белка.

В 1960 году картина была иная. Зеленая масса кукурузы в этом году отличалась более высоким содержанием белка и более низким углеводов. Действие удобрений, в том числе и гумата натрия, было менее заметным. Этот результат, очевидно, нужно объяснить так: белок является наиболее важной частью тела растений, поэтому организм прежде всего расходует углеводы на его синтез. В то же время условия года — малая инсоляция и низкая температура — не способствовали фотосинтезу, вследствие чего темп накопления углеводов отставал от их расхода, что и привело к относительному увеличению содержания белка в сухой массе. Здесь же нужно отметить, что действие растворимых гуматов на растение включает в себя повышенную трату углеводов на дыхание, а это в условиях, ограничивавших фотосинтез, часто приводит даже к понижению урожая.

ВЫВОДЫ

1. Введение в почву гумусдиспергирующих веществ, таких как соли натрия и аммиачная вода, увеличивает подвижность гуминовых кислот в почве и переводит их в физиологически активное состояние.

2. Действие этих веществ на урожай зависит от свойств почвы и метеорологических условий.

3. Применение этих веществ на черноземных почвах при наличии минеральной пищи в почве и при условиях, когда фотосинтез протекает нормально, повышает урожай кукурузы. Однако для практического использования этого приема требуется более детальное изучение.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Гедройц. Избранные сочинения, т. 3, Сельхозгиз, 1955. «Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция».
2. Л. А. Христева. Доклады ВАСХНИЛ. В-10, 1947. «Влияние гуминовых кислот на рост растений при различном соотношении питательных веществ в начале развития».
3. Е. С. Кудрина. «Влияние гуминовой кислоты на некоторые группы почвенных микроорганизмов и ее значение для этих организмов как источника питательных веществ», Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева АН СССР, т. XXXVIII, 1951.
4. Егоров М. А. Вопросы удобрения почв, Харьков, 1919.
- Ф. Ф. Турчин. Натриевые удобрения. Справочник по минеральным удобрениям, М., 1960.
6. А. Н. Навалихин. «Хозяин», 1900 г., № 12 (цитировано по М. А. Егорову «Вопросы удобрения почв»).
7. Ф. В. Турчин. О природе действия удобрений, 1936, М., Сельхозгиз.

Проблемная лаборатория по гуминовым удобрениям при Днепропетровском сельскохозяйственном институте.