

**МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ**

УДК 631.415

М. М. РАЗУМОВА

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ pH И СОСТАВА ПОГЛОЩЕННЫХ КАТИОНОВ В ОРОШАЕМЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ ЗАВОЛЖЬЯ**

При длительном орошении черноземов Заволжья при поливе водой бикарбонатного типа с периодическим появлением соды наблюдалось нарастание щелочности в орошаемых почвах. Повышение щелочности нарушало в черноземах стабильность почвенного поглощающего комплекса, обычный его состав, соотношение поглощенных катионов и энергию их поглощения.

К настоящему времени накоплен достаточно большой материал по изучению солевого режима почв в богарных условиях и тем более в связи с орошением. Солевой режим характеризуется обычно по водно-растворимым соединениям. Что же касается изучения состава почвенных поглощающих комплексов и динамических изменений, связанных с поглощенными основаниями, — эти процессы освещены в литературе меньше, и ясных представлений о поведении поглощенных катионов в почвах при интенсивной деятельности человека, в частности при орошении, пока нет.

Известно, что коллоидный комплекс представляет собой наиболее деятельную часть почвы, принимающую участие во всех сложных процессах почвообразования. Классическими работами К. К. Гедройца выделены основные типы почв по составу поглощенных катионов и показана возможность искусственного изменения сочетания адсорбированных ионов путем реакций обмена с целью повышения почвенного плодородия. Обмен катионов играет важную, если не определяющую роль в химизме почв, а относительное сочетание ведущих адсорбированных ионов Са, Mg, Na дает некоторое представление о степени плодородия почв. Принято считать, что свойства Са и Mg в почвах более или менее аналогичны [1]. К. К. Гедройцем установлена также последовательность в энергии поглощения коллоидными комплексами основных почвенных катионов. Ведущее место в этом отношении принадлежит кальцию, который характеризуется высокой способностью к внедрению в ППК и трудностью вытеснения из поглощенного состояния. Слабее выражена поглощательная способность магния и особенно натрия как одновалентного катиона. Попытки теоретически подойти к этому вопросу и математически вычислить энергию адсорбции ионов Са и Na при определенных условиях pH, главным образом в условиях щелочной среды [1], не всегда совпадает, как известно, с характером ионообменных соотношений Na : Са в природных почвах, не подчиняясь в некоторых случаях теоретическим расчетам.

В настоящем сообщении рассматриваются результаты многолетних исследований динамики поглощенных оснований в орошаемых черноземах Заволжья. С этой целью были исследованы черноземы террасовые, находящиеся в различной мелиоративной обстановке.

Предварительные многолетние исследования черноземов данного региона в богарных условиях показали, что в типичных, обыкновенных и тем более карбонатных черноземах поглощенный кальций в коллоидном комплексе, занимая ведущее место, может достигать 80 и 90% от суммы поглощенных оснований. Магний в соответствии с этим составляет 10—20%; что же касается поглощенного натрия, то содержание его в черноземах Заволжья, как мы уже ранее отмечали [7], не превышает 1% или полностью отсутствует. Длительное изучение состава поглощенных оснований (1944—1964) показало, что за 20 лет в почвах при неизменных условиях биогеоценоза никаких существенных изменений как в составе водно-растворимых соединений, так и в сочетании поглощенных оснований не произошло, при этом сохранялась нейтральная реакция среды и определенная устойчивость поглощенных кальция и магния. Типичная для черноземов реакция почвенного раствора в диапазоне рН 6,6—7,4, является, по-видимому, оптимальной средой для наиболее прочных адсорбционных связей кальция с ППК.

Таблица 1

Сезонная динамика рН в орошаемых черноземах Заволжья, 1966 г.

Почва	Глубина, см	IV	V	VI	VII	VIII	X
Чернозем террасовый карбонатный. Учхоз СХИ	0—20	7,3	7,3	7,5	7,4	7,6	7,8
	30—40	7,4	7,5	7,5	7,4	7,8	7,8
	60—70	7,8	7,5	7,4	7,4	7,7	7,8
	100—110	7,8	7,5	7,4	7,5	8,0	8,0
	180—210	7,9	7,9	7,8	7,5	8,0	8,0
Чернозем обыкновенный террасовый. Совхоз «Кряж»	0—20	7,8	Не опр.	7,4	7,4	7,3	7,6
	50—60	8,0	»	7,5	7,5	7,3	7,5
	90—100	8,0	»	7,6	7,5	7,3	7,5
	130—140	8,0	»	7,6	7,6	7,6	7,6
	185—200	8,0	»	7,7	7,7	8,0	8,0

Но в настоящее время на многих черноземах Заволжья применяют орошение. Некоторые компоненты биогеоценоза в связи с этим неминуемо должны изменяться. В первую очередь и наиболее заметно при орошении нарушается геохимическая и гидрохимическая обстановка мелиорируемой местности. Поступление в почву «земной» оросительной воды с достаточно высоким содержанием солей различного состава и концентрации периодически изменяет водно-солевой режим черноземов [7, 8]. В результате сложных реакций взаимобмена в поливной воде и почвенном растворе неминуемо изменяется не только состав почвенного раствора, но и его концентрация и реакция среды. Многие исследователи отмечают изменение реакции почвы при орошении, особенно с тенденцией подщелачивания. По К. К. Гедройцу процесс подщелачивания происходит в результате катионного обмена между кальцием раствора и натрием поглощающего комплекса, в результате чего появляется сода, обуславливающая щелочную реакцию. Однако появление щелочности, как показали наши многолетние наблюдения, может происходить и в незасоленных почвах.

Как видно по данным табл. 1, в черноземе карбонатном, расположенном на рисской террасе реки Б. Кинель при глубоком залегании грунтовых вод (ниже 6 м) и поливе водой бикарбонатного типа с минерализацией от 0,5 до 1,5 г/л в летний период наблюдались динамические из-

менения рН с усилением щелочности. Нужно отметить, что в межполивной период в условиях высоких летних температур на поверхности почвы вследствие испарения выкристаллизовывается солевая, бурно вскипающая корочка. Аналитически в ней обнаруживаются соли щелочных и щелочно-земельных металлов в виде карбонатов и сульфатов. При последующих поливах из солевого налета в раствор в первую очередь переходят все легкорастворимые соединения в виде соды, сульфата натрия и бикарбонатов щелочных металлов. Растворяясь и поступая в почву с фильтрующей водой, эти щелочные соли могут в какой-то степени повысить реакцию почвы и обусловить сезонную динамику рН. Как видно из табл. 1, в течение поливного сезона рН в орошаемых черноземах медленно увеличивается и при недостатке осенне-зимне-весенних осадков может длительно сохраняться, что и отмечалось в черноземе обыкновенном на полях совхоза «Кряж» (табл. 1). Почва вышла из-под снега с повышенной щелочностью и только после проведения весеннего вегетационного полива опресненной речной водой избыток щелочных солей несколько промывается, что снижает реакцию почвенного раствора до слабощелочной.

Многолетние исследования водно-солевого режима и реакции почвенного раствора орошаемых черноземов данной зоны позволили наблюдать аналогичные явления повышения щелочности после длительного полива в различных почвенных разностях (табл. 2). Это наблюдалось в черно-

Таблица 2

Усиление щелочности по годам в орошаемых черноземах (по изменению рН)

Глубина, см	Учхоз СХИ					Кутулукский совхоз				Совхоз «Неприк»		
	чернозем карбонатный					чернозем обыкновенный				лугово-черноземная почва		
	до орошения	1964	1965	1966	1968	до орошения	1964	1965	1968	до орошения	1970	1971
0—20	7,0	7,0	7,1	7,3	7,5	6,8	7,0	6,8	7,6	6,4	6,9	7,5
30—40	7,1	7,1	7,2	7,4	7,8	6,8	7,1	6,9	7,5	6,3	7,0	7,3
60—70	7,2	7,2	7,2	7,8	7,7	7,0	6,9	7,1	7,8	6,5	6,9	6,9
100—120	7,2	7,2	7,2	7,8	8,0	7,0	7,2	7,5	7,8	6,9	7,2	7,2
120—140	7,3	7,4	7,3	7,9	8,0	7,9	7,5	7,5	8,0	7,0	7,9	7,9

земе карбонатном учхоза СХИ после 12 лет орошения, в лугово-черноземных почвах совхоза «Неприк», величина рН в которых увеличилась с 6,4 до 7,5 в пахотном слое и до 8,0 в нижней части гумусовой толщи; и наиболее широко процессы подщелачивания наблюдались на Кутулукском массиве, особенно в период поднятия грунтовых вод выше критического уровня и полива водой, содержащей соду.

По мере накопления солей в почвенном растворе и усиления щелочности в черноземах наблюдаются изменения и в почвенном поглощающем комплексе. В первую очередь черноземы теряют стабильность, прочность коллоидного комплекса и устойчивость основных поглощенных катионов кальция и магния. Если кальций, как уже ранее отмечалось, наиболее устойчив и прочно связан с коллоидным комплексом в условиях нейтральной или близкой к нейтральной среде, т. е. в пределах рН 6,6—7,4, то при увеличении щелочности выше 7,5 связи его с ППК почвы постепенно ослабевают, он с меньшей силой удерживается коллоидами почвы и, как наблюдалось в почвах совхоза «Кряж», начинает вытесняться из поглощенного состояния. Соотношение его с магнием изменяется до 65 : 35% и даже меньше (вместо 80 : 20 до орошения). Одновременно с этим процессом вытеснения кальция в условиях той же слабощелочной реакции среды повышается адсорбционная способность магния. Интен-

Таблица 3

Динамические изменения состава поглощенных оснований в орошаемых черноземах Кутулуковского массива, % от суммы поглощенных оснований

Год	Разрез 6					Разрез 7				Разрез 5			
	глубина, см	Σ, мг-экв	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ, мг-экв	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ, мг-экв	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>
1964	0—10	46,8	85,0	9,6	5,4	45,2	76,4	19,6	4,0	43,6	80,7	18,3	1,0
	20—30	38,3	89,8	4,2	6,0	45,7	70,0	22,7	7,3	37,2	80,6	18,2	1,2
	40—50	28,4	45,0	33,0	22,0	42,0	68,3	22,8	8,8	29,0	58,0	40,7	1,3
	60—70	29,9	38,6	49,3	11,9	37,1	43,2	37,9	18,1	26,8	23,9	74,0	1,5
	80—90	27,0	20,7	77,0	7,0	35,8	16,7	55,8	27,5	19,0	37,0	63,0	He опр.
1965	0—10	32,3	48,9	44,3	6,7	45,6	75,4	15,8	8,9	36,8	89,3	8,6	2,1
	20—30	39,5	58,7	24,3	17,0	42,7	76,8	14,2	8,0	29,5	78,6	19,2	2,2
	40—50	35,4	31,0	30,0	39,0	35,3	72,5	20,4	7,0	28,6	72,7	25,1	2,2
	60—70	22,6	38,5	50,0	11,5	34,5	41,7	30,0	28,3	27,5	78,5	20,3	1,2
	80—90	33,7	33,2	61,0	5,1	27,7	43,3	29,3	27,4	27,5	72,7	23,2	4,0
1968	0—10	54,8	73,0	17,5	9,5	42,0	38,0	56,0	6,0	48,6	90,5	8,2	1,3
	20—30					He опр.				42,6	67,0	32,0	1,0
	40—50	52,3	39,8	53,3	6,9	27,5	58,0	32,0	10,0		He опр.		
	60—70					He опр.				31,3	84,3	15,2	0,5
	80—90	30,6	45,7	45,7	8,6	33,0	92,0	2,5	5,5	34,5	62,0	37,7	0,3

сивность внедрения магния по мере повышения щелочности до pH 7,5 и выше все более возрастает, он входит в поглощенное состояние, нарушая былое соотношение основных катионов в диффузном слое коллоидов, и в некоторых случаях довольно резко. Такие явления наблюдались на орошаемых массивах в различных почвенных разностях под различными культурами (табл. 3, 4). Трудно усмотреть какую-либо закономерность в соотношениях кальция и магния по профилю почв. По-видимому, все эти сложные процессы обуславливаются не одним каким-то фактором, а комплексом взаимодействующих реакций, происходящих при действии фильтрующихся вод, несущих растворимые соли, особенно щелочных и щелочно-земельных металлов различных концентраций.

Таблица 4

Состав поглощенных оснований в орошаемых черноземах совхоза «Неприк», 1970—1972 гг.

Номер разреза	Глубина, см	Σ, мг-экв	% от суммы				Емкость поглощения, мг-экв
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	гидролитическая кислотность	
21	0—10	59,2	57,0	43,0	Нет	0,3	59,5
	20—30	40,8	51,7	48,3	»	0,5	41,3
	40—50	36,0	77,0	23,0	»	0,3	36,3
	60—70	29,6	54,0	46,0	»	0,2	29,8
	80—90	31,2	66,0	34,0	»	0,1	31,4
	100—110	27,2	29,0	71,0	»	0,1	27,3
22	0—20	34,4	67,0	33,0	Нет	1,2	35,6
23	0—20	37,6	67,0	32,0	»	0,4	38,0
12	0—20	34,0	60,0	40,0	»	0,3	34,3
14	0—20	30,4	69,0	31,0	»	0,6	31,0
4	0—10	40,8	78,4	19,6	2,0	1,1	41,9
	20—30	40,1	87,7	9,9	2,4	1,9	42,0
	35—40	35,2	77,0	20,4	2,6	2,3	37,5
	40—50	35,9	70,1	27,8	2,1	2,1	38,0
	60—70	31,9	65,1	32,5	2,6	0,6	32,5
	80—90	37,4	33,4	42,6	4,0	0,3	37,7
	100—105	32,5	59,0	39,3	1,7	0,2	32,7
	120—130	25,0	90,0	9,6	0,4	0,2	25,2

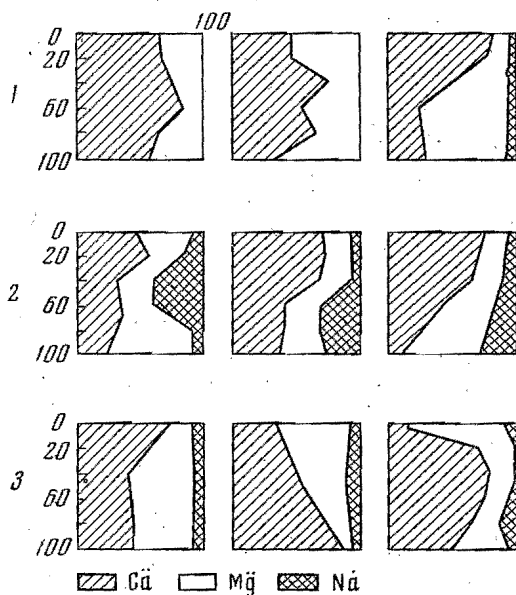
Но несмотря на отсутствие закономерности в распределении поглощенных катионов Ca и Mg по профилю почв и в количественном их соотношении, можно выделить одну ясную и характерную особенность в их поведении: адсорбционные свойства кальция и магния в черноземах при орошении неравноценны, их энергия поглощения изменяется с изменением реакции среды. Связь кальция с коллоидным комплексом при повышении щелочности ослабевает, в то время как энергия магния к поглощению в тех же условиях среды возрастает. Очевидно, относительно возрастающее вторжение магния в коллоидный комплекс черноземов позволяет квалифицировать этот процесс как начальный период осолонцевания (рисунок, 1).

Нами проведено изучение влияния магниезальных солей на черноземы. Объектом эксперимента был чернозем карбонатный, обладающий наиболее высокой буферностью. Для полива были использованы растворы, часто наблюдающиеся в составе природных вод Заволжья. С целью более ясного выявления их воздействия на почвы концентрация растворов была принята заведомо сильной, то есть 0,1 М. После полива растворами магниезальных солей, так же как и после действия растворов соды и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, в фильтрате была выявлена фенолфталеиновая щелочность и растворимые гуматы. Последующее определение гумуса в черноземе карбонатном показало, что потери его из почвы при поливе рас-

творами магниальных солей происходят в несколько меньшей степени в сравнении с действием соды и сернокислого натрия, но в достаточно ощутимых количествах:

	Исходная почва	H <sub>2</sub> O (контроль)	NaCl	MgSO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Содержание гумуса после опыта, %	6,7	6,6	6,1	5,1	4,7	3,9

Как видно из приведенного ряда, действие на чернозем карбонатный магниальных солей не ограничивается только обменными реакциями, а сопровождается более глубокими изменениями в коллоидном комплексе. Снижается устойчивость гуматов, последние, частично переходя в золеобразное состояние, выходят в раствор, обуславливая дальнейшие процессы ухудшения морфологических свойств почв. Визуально в почве уве-



Эволюция осолонцевания орошаемых черноземов Заволжья

1 — начальный период осолонцевания, 2 — завершающий период осолонцевания, 3 — период рассоления

личивается распыленность вследствие распада структурных отдельных частей и повышается уплотненность при увлажнении. Отрицательное действие магния на черноземы проявляется уже при повышении его в поглощенном состоянии до 30—40% от суммы поглощенных оснований. Такие почвы наблюдаются на полях совхозов «Кряж», «Неприк» и локально на Кутулукском орошаемом массиве.

Более резкие нарушения в составе катионов ППК наблюдались нами при вторичном засолении черноземов. Поднятие грунтовых вод на Кутулукском массиве и полив водой с периодическим содержанием соды [7, 8] обусловили накопление солей в почвенном растворе и последующее смещение реакции среды до щелочной (рН выше 8). При таких условиях повышается энергия поглощения катиона натрия. Внедрение натрия в диффузную оболочку коллоидов завершает процесс осолонцевания черноземов (рисунок, 2, табл. 3). Солонцовый горизонт, как видно, располагается в черноземах при максимальном засолении на разных глубинах — в черноземе выщелоченном в гор. В<sub>1</sub>, в черноземе обыкновенном несколько ниже, т. е. с глубины 70—80 см. При этом осолонцевание черноземов сопровождается вторжением не только натрия в

поглощенное состояние, но и магния при снижении поглощенного кальция до 30—40% от суммы поглощенных оснований. Сумма натрия и магния вместе составляет в черноземе выщелоченном 55—62,3%, из которых на натрий приходится при максимальном засолении до 39%. Соотношение поглощенных катионов Ca : Mg : Na изменяется и составляет при осолонцевании (при максимальном засолении) в черноземе выщелоченном 31 : 30 : 39, в черноземе обыкновенном 43,3 : 29,3 : 27,4 вместо 80 : 20 до орошения. Менее резкие изменения в составе поглощенных оснований наблюдались в орошаемых черноземах совхоза «Неприк», однако содержание поглощенного магния было также высокое (табл. 4).

В последующие годы с улучшением мелиоративного состояния массива, снижением грунтовых вод, и промывом вследствие этого воднорастворимых солей происходит смещение реакции среды до слабощелочной. Этот процесс рассоления сопровождается изменениями и в составе поглощенных оснований в почвенном поглощающем комплексе. Вытесняется из поглощенного состояния в первую очередь натрий как одновалентный катион, обладающий наиболее высокой энергией гидратации. Некоторое количество его задерживается в поглощенном состоянии (не более 2—10% от суммы поглощенных катионов). Что же касается поглощенного магния, то на данной стадии развития почвообразовательного процесса он устойчиво держится в поглощенном состоянии, увеличивая в некоторых горизонтах свои связи с ППК до более высоких показателей (табл. 3, 4). Очевидно, на данном этапе развития почвы ее можно отнести к магниезально-солонцеватым с малым содержанием поглощенного натрия.

В результате осолонцевания происходит ухудшение физических свойств, которые квалифицируются как «физическая солонцеватость», не восстанавливаются одновременно с процессом вытеснения натрия из поглощенного состояния и могут длительно сохраняться в почвах следующей стадии их развития. Если вытеснение натрия из поглощенного состояния при орошении происходит в более укороченные сроки, то восстановление былых положительных физических свойств черноземов, как известно, будет чрезвычайно длительным. Магниезально-засоленные или осолонцованные почвы имеют низкое плодородие за счет недостатка кальция для питания растений и плохих физических свойств.

### Выводы

1. При длительном орошении черноземов в условиях засушливого За-волжья и поливе водой бикарбонатного типа с периодическим появлением соды в черноземах происходят изменения реакции почвенного раствора с нарастанием щелочности. Повышение щелочности нарушает в черноземах стабильность коллоидного комплекса, состав и соотношение поглощенных катионов в ППК и энергию их адсорбции. Наибольшая устойчивость кальция в поглощенном состоянии наблюдается в диапазоне рН 6,6—7,4. Одновременно с этим магний входит в поглощенное состояние, ухудшая химические и физические свойства почвы.

Соотношение поглощенных катионов в ППК при максимальном осолонцевании выражено трехчленной формулой, т. е. Ca : Mg : Na. В черноземе выщелоченном, как 31,0 : 30,0 : 39,0, в черноземе обыкновенном, как 30,0 : 28,3 : 27,5 и меньшие нарушения наблюдались в составе почвенного поглощающего комплекса в черноземе карбонатном.

2. С улучшением мелиоративных условий, вымыванием воднорастворимых солей и снижением щелочности протекает процесс рассолонцевания. В первую очередь из поглощенного состояния выпадает натрий. Почва после вытеснения натрия остается магниезально-солонцеватой с малым содержанием поглощенного натрия, но с повышенным содержанием адсорбированного магния. Выпадение натрия из поглощенного состояния

не восстановило былого соотношения катионов кальция и магния и не улучшило физических свойств черноземов. «Физическая солонцеватость» сохраняется и на данной стадии развития почвы. Так, магниально-солонцеватую почву с малым содержанием поглощенного натрия можно считать реликтом бывшего когда-то засоления черноземов.

3. Орошение может в некоторых случаях изменять не только направление, но и интенсивность процессов почвообразования. Сохранение и предупреждение неблагоприятных процессов должно быть главной задачей орошаемого земледелия.

#### Литература

1. Бэбок К. Явления обмена в щелочных почвах. Почвы аридной зоны как объект орошения. «Наука», 1968.
2. Гедройц К. К. Избранные сочинения, т. 1. Сельхозгиз, 1955.
3. Горбунов Н. И. Поглощительная способность почв. Изд. АН СССР, 1955.
4. Ковда В. А., Шаврыгин П. И., Гевельсон Т. А. Динамика щелочности в почвенных растворах при поливе. Почвоведение, 1944, № 2.
5. Ковда В. А. и др. Качество оросительной воды. В сб.: Почвы аридной зоны как объект орошения. «Наука», 1968.
6. Лебедев В. И. Об основных факторах, определяющих явления поглощения и обмена ионов в почвах. Почвоведение, № 6, 1958.
7. Разумова М. М. Изменение черноземов при орошении солоноватыми водами в Куйбышевском Заволжье. Почвоведение, 1973, № 8.
8. Разумова М. М. Влияние орошения на солевой режим террасовых черноземов Заволжья. Почвоведение, 1970, № 11.
9. Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение. Сельхозгиз, 1956.

Куйбышевский  
СХИ

Дата поступления  
22.II.1976 г.

---

М. М. RAZUMOVA

#### DYNAMIC CHANGES OF pH AND COMPOSITION OF ADSORBED CATIONS IN IRRIGATED CHERNOZEMS OF THE TRANSVOLGA AREA

Under dry transvolga climate the long lasting irrigation of chernozems with water of a bicarbonate type and a periodical appearance of sodium carbonate an increase in alkalinity of irrigated soils was observed. The increased alkalinity disturbed the usual composition of cations in soil adsorbing complex of chernozems and changed adsorbing properties and the energy of adsorption of the main cations — calcium, magnesium and sodium.

---