

УДК 631.416

А. Т. ЦУРИКОВ

**АКТИВНОСТЬ КАЛЬЦИЯ, НАТРИЯ, ВОДОРОДА
В ПОЧВАХ ПРИ ХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ СОЛОНЦОВ**

В десятилетнем полевом опыте изучена динамика активности кальция, натрия, водорода и известкового потенциала. Делаются выводы о необходимости использования данных по определениям активности названных катионов наравне с показателями аналитической характеристики почв, которые получаются с использованием традиционных методов почвенно-агрохимических исследований.

Агрономические свойства солонцовых почв зависят от содержания в поглощенном состоянии таких катионов, как Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Содержание этих катионов в почвенном растворе учитывается общепринятыми методами химических анализов, в которых соотношение твердой и жидкой фаз значительно отличается от естественного состояния почв. Солевой состав почвенного раствора зависит не только от количества растворимых солей, но и от количества ионов, которые переходят в диффузный слой и интермицеллярный раствор в зависимости от состояния влажности почвы, прочности связей этих ионов с поверхностями коллоидов [6, 16]. Определение активностей ионов позволяет достоверно судить, например о характере засоления и степени солонцеватости почв, так как между названными состояниями в почвенном растворе и почвенном поглощающем комплексе существует тесная зависимость и устанавливается динамическое равновесие. Поэтому определение активной, а не аналитической концентрации этих элементов способствует более объективной оценке производительных возможностей почв [3, 4, 8—14, 15 и др.].

Почвы солонцовых комплексов центральночерноземных областей в этом отношении совершенно неизучены.

По центральночерноземным областям в 1975—1990 гг. предполагается провести химическую мелиорацию солонцов на площади 319 тыс. га, в том числе по Белгородской обл. — 12 тыс. га, Воронежской обл. — 272 тыс. га, Курской обл. — 10 тыс. га и Тамбовской обл. — 15 тыс. га [18].

В связи с этим в типичных условиях лесостепи мы изучили солонцовые почвы, в частности исследовали активности Ca^{2+} , Na^+ , H^+ и их динамику в процессе химической мелиорации этих почв.

Активность Ca^{2+} , Na^+ , H^+ в почвах определяли по методикам, разработанным Украинским НИИ почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского и рекомендованным для массового применения в почвенно-агрохимических исследованиях [3, 8—14]*. В почвенных образцах, увлажненных до состояния нижней границы текучести, активность кальция опре-

* Указанные методики содержат положения, нуждающиеся в дальнейшем обсуждении (Ред.)

деляли при помощи обратимого к ионам Ca^{++} мембранного электрода ЭМ-Са-01 с мембраной марки МК-40, активность ионов Na^{+} — с помощью электродов ЭСЛ-51-04 и активность ионов H^{+} — электродами ЭСЛ-41Г-04. Эти измерительные электроды, а также вспомогательный хлорсеребряный электрод ЭВЛ-1МЗ подключали к рН-метру ЛПУ-01 в сочетании с потенциометром постоянного тока КП-59 по компенсационной схеме измерений.

В исследованных почвах четко выделяется надсолонцовый гор. А, резко переходящий в плотный солонцовый гор. В₁ и затем в карбонатный иллювиальный гор. В₂. Глубже расположен горизонт массового скопления карбонатов В₃ и гор. ВС, содержащий гипс и легкорастворимые соли. Почвообразующей породой служит коричнево-бурая защебенная и засоленная глина, которая на глубине 200—250 см переходит в палеогеновые зеленовато-серые супеси и пески, ниже которых залегает серый бучакский песчаник. Средняя глубина вскипания отмечается с 36 см, видимые карбонаты — с 50 см, а заметные скопления гипса — с 86 см (табл. 1).

Солонцы характеризуются глинистым механическим составом, а комплексирующиеся с ними солонцеватые черноземы — тяжелосуглинистым. В пахотном горизонте солонцов среднее содержание поглощенного Na^{+} составляет 16%, в подпахотном иллювиальном горизонте — 21%. В целинном солонце в элювиальном горизонте оно составляет 19%, а в иллювиальном — 28% от емкости поглощения. Существенно различаются верхние горизонты солонцов по содержанию поглощенного кальция и другим физико-химическим показателям (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что генетические горизонты черноземных степных солонцов характеризуются резким различием по содержанию активного Ca^{++} . Минимум его отмечается в пахотном горизонте, в котором отсутствует воднорастворимый и мало содержание поглощенного Ca^{++} . Все это свидетельствует о дефиците Ca^{++} необходимого для развития культурных растений. Этот вывод подтверждается анализом содержания активной и других форм Ca^{++} в иллювиальном горизонте, где $p\text{Ca}$ во всех случаях определений превышает 2,0 единиц. Для черноземов показатель $p\text{Ca}$ становится еще выше. Только с глубины 60—70 см в профилях всех почв опытного стационара наблюдается резкое возрастание в почвенном растворе концентрации Ca^{++} . Максимум содержания активного кальция в профилях почв солонцового комплекса приходится на горизонт с наибольшим количеством гипса, где значения $p\text{Ca}$ составляют 1,7—1,9 единиц, и обычно совпадает с максимумом содержания воднорастворимого кальция.

Таким образом, почвы черноземно-солонцового комплекса имеют значительный дефицит Ca^{++} , что нарушает поступление в растения этого важного элемента. Для целей мелиорации солонцов необходимо знать степень обеспеченности их кальцием, однако в литературе отсутствуют подобные сведения [17].

На основе полевых опытов и сопоставления большого количества аналитических данных по содержанию различных форм кальция и его активности нами установлена ориентировочная шкала обеспеченности почв черноземно-солонцового комплекса кальцием по показателям его активности. Она имеет следующий вид: если $p\text{Ca} > 2,6$, то степень обеспеченности кальцием очень низкая; 2,4—2,6 — низкая; 2,2—2,4 — средняя; 2,0—2,2 — повышенная; 1,8—2,0 — высокая; $< 1,8$ — избыточная.

Внесение в солонцы кальциевых мелиорантов способствует в первую очередь увеличению активности ионов Ca^{++} в почвенном растворе. Это ясно прослеживается по данным определений активности Ca^{++} в пахотном горизонте солонцов мелкоделяночного полевого опыта (табл. 2) со следующей схемой: 1) контроль (солонец без удобрений); 2) гипс 8 т/га + N60P60; 3) мел 8 т/га + N60P60; 4) гипс 8 т/га + навоз

Таблица 1

Содержание в почвах черноземно-солонцового комплекса различных форм Са⁺⁺ и кальциевых солей

Номер разреза. Почва. Угодье	Глубина, см	pCa	aCa, мг-экв/л	Поглощенный Са ⁺⁺ , мг-экв/100 г	Воднорастворимый Са ⁺⁺ , мг-экв	CaSO ₄ ·2H ₂ O, %	CaCO ₃
1. Солонец черноземный степной мелкостволбчатый глинистый. Пашня	0—10	2,37	4,27	7,98	Нет	Нет	
	18—28	2,13	7,41	12,16	0,43	»	
	35—45	1,97	10,72	Не опр.	0,61	0,054	6,69
	50—60	1,88	13,18	»	0,12	0,075	14,30
	65—75	1,78	16,60	»	11,40	1,993	10,12
	100—110	1,91	12,30	»	0,24	0,125	3,32
7. Солонец черноземный степной корковостолбчатый глинистый. Пашня	0—7	2,29	5,13	8,03		Нет	
	10—20	2,12	7,59	9,21	0,10	»	
	25—35	1,92	12,02	Не опр.	Нет	0,111	8,86
	45—55	1,88	13,18	»	»	0,135	12,67
	60—70	1,74	18,20	»	10,75	2,419	6,22
	100—110	2,01	9,77	»	7,00	1,425	1,13
13. Солонец черноземный степной среднестолбчатый глинистый. Пашня	0—10	2,88	1,32	5,40	0,05	Нет	
	20—30	2,28	5,25	12,45	0,25	»	
	34—43	2,10	7,94	Не опр.	0,15	0,021	0,61
	44—54	2,11	7,76	»	0,10	0,068	5,33
	60—70	2,00	10,00	»	—	0,136	9,65
	80—90	1,94	11,48	»	0,25	0,143	5,88
	100—110	2,14	7,24	»	—	0,097	3,89
17. Чернозем обыкновенный (перерытый) слабосолонцеватый тяжелосуглинистый. Пашня	0—10	2,32	4,79	16,20	0,40	0,043	Нет
	16—26	2,26	5,49	19,70	0,60	0,025	1,00
	35—45	2,26	5,49	16,35	0,55	0,034	2,71
	70—80	2,26	5,49	Не опр.	0,15	0,068	5,33
	100—110	2,22	6,03	»	0,05	0,045	11,02
18. Чернозем обыкновенный сильносолонцеватый тяжелосуглинистый. Пашня	0—10	2,66	2,19	3,32	0,10	Нет	
	19—29	2,73	1,86	9,30	0,10	»	
	30—40	2,74	1,78	8,30	0,05	0,054	Нет
	45—55	2,71	1,95	12,90	0,05	0,045	»
	70—80	2,39	4,07	16,10	0,10	0,041	0,08
	100—110	2,35	4,47	14,70	0,55	0,095	3,67
19. Солонец черноземный степной мелкостволбчатый глинистый. Целина	0—6	2,55	2,82	4,75	0,50	Нет	
	15—25	2,21	6,17	9,30	0,25	»	
	35—45	1,92	12,02	Не опр.	0,25	0,167	6,69
	55—65	1,87	13,49	»	0,25	0,244	12,39
	70—80	1,82	15,14	»	2,75	0,512	6,88
	100—110	1,91	12,03	»	2,75	0,396	9,78

40 т/га; 5) мел 8 т/га + навоз 40 т/га; 6) мел 8 т/га + навоз 40 т/га + N60; 7) навоз 40 т/га; 8) Pс 2 т/га + N60P60; 9) Pс 3 т/га + N60P60; 10) Pс 3 т/га + навоз 40 т/га.

По значениям pCa табл. 2 легко можно заключить, что сразу после внесения всех мелиорантов (в конце июня 1964 г.) резко возросла активность катионов Са⁺⁺ в почвенном растворе и она сохранялась на достаточно высоком уровне по вариантам с внесением гипса и мела около 8 лет. По вариантам с внесением суперфосфата положительный эффект в активности Са⁺⁺ наблюдался только в первые 2 года, а с 1966 г. активность Са⁺⁺ в этом варианте зачастую была ниже, чем на контроле, свидетельствуя о низкой степени обеспеченности почвы активным Са⁺⁺. По-видимому, такое снижение активности Са⁺⁺ произошло из-за малой дозы Са-мелиоранта, а также вследствие биологического поглощения этого элемента и закрепления его в почвенном поглощающем комплексе [19—21].

В засушливые годы (1968, 1972) по всем вариантам с мелиорантами, исключая варианты с мелом за 1972 г., в сравнении с контролем также

Таблица 2

Показатели динамики активности кальция по вариантам опыта в разные годы и сроки наблюдений

Год, месяц	В а р и а н т									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1964 VI	2,37	2,66	2,48	2,48	2,46	2,60	2,60	2,63	2,73	2,64
	4,27	2,19	3,31	3,31	3,47	2,51	2,51	2,34	1,86	2,20
	2,63	2,18	2,28	2,00	2,17	2,16	2,20	2,28	2,31	1,18
VIII	2,34	6,61	5,25	10,00	6,76	6,92	6,31	5,25	4,90	6,61
	2,30	2,05	2,23	2,16	6,22	2,03	2,30	2,35	2,27	2,29
X	5,01	8,91	5,89	6,92	6,03	9,33	5,01	4,47	5,37	5,13
	2,42	2,09	2,20	2,21	2,21	2,15	2,25	2,18	2,01	2,12
1965 IV	3,80	8,13	6,31	6,17	6,17	7,08	5,62	6,61	9,77	7,59
	2,43	2,07	2,20	2,02	2,21	2,25	2,43	2,31	2,12	2,37
VII	3,71	8,51	6,31	9,55	6,17	5,62	3,71	4,90	7,59	4,27
	2,65	2,02	2,22	2,32	2,19	2,13	2,25	2,29	2,17	2,33
X	2,24	9,55	6,03	4,79	6,46	7,41	5,62	5,13	6,76	4,68
	2,59	2,30	2,35	2,14	2,34	2,27	2,40	2,49	2,44	2,40
1966 IV	2,57	5,01	4,47	7,24	4,57	5,37	3,98	3,24	3,63	3,98
	2,51	2,29	2,39	2,37	2,32	2,33	2,42	2,51	2,57	2,53
VII	3,09	5,13	4,07	4,27	4,79	4,68	3,80	3,09	2,69	2,95
	2,40	2,35	2,36	2,22	2,31	2,28	2,34	2,47	2,57	2,43
X	3,98	4,47	4,35	6,03	4,90	5,13	4,57	3,39	2,69	3,71
	2,50	2,39	2,24	2,32	2,28	2,27	2,35	2,55	2,50	2,54
1967 VII	3,16	4,07	5,75	4,79	5,25	5,37	4,47	2,82	3,16	2,83
	2,31	2,42	2,39	2,51	2,43	2,44	2,45	2,48	2,62	2,53
1968 VII	4,90	3,80	5,13	3,09	3,71	3,63	3,55	3,24	2,40	2,95
	2,40	2,39	2,37	2,38	2,26	2,30	2,26	2,40	2,40	2,42
1970 VII	3,98	4,07	4,27	4,17	5,49	5,01	5,49	3,98	3,98	3,80
	2,30	2,25	2,16	2,24	2,16	2,15	2,18	2,40	2,23	2,14
1971 VII	5,01	5,62	6,92	5,75	6,92	7,08	6,61	3,98	5,89	7,24
	2,27	2,28	2,20	2,33	2,15	2,13	2,23	2,23	2,33	2,29
1972 VII	5,37	5,25	6,31	4,68	7,08	7,41	5,89	5,89	4,68	5,13
	2,50	2,24	2,28	2,27	2,40	2,48	2,53	2,50	2,53	2,50
1973 VII	3,16	5,75	5,25	5,37	3,98	3,31	2,95	3,16	2,95	3,16

Примечание. Для каждого срока верхняя строка — рСа, нижняя — содержание активного кальция в мг·эquiv/л.

заметно снижение активности Са⁺⁺ в почвенном растворе, очевидно, вследствие закрепления Са⁺⁺ в почвенном поглощающем комплексе.

Данные по содержанию активного Са⁺⁺, выраженные в мг·эquiv/л, также свидетельствуют о том, что наибольшая активность Са⁺⁺ наблюдалась по вариантам с гипсом, особенно в первые 2 года после внесения мелиоранта. В последующие годы наблюдений обнаружено снижение концентрации этого элемента в почвенном растворе, причем показатели активности Са⁺⁺ по вариантам с мелиорантами незначительно отличались от контрольного. По вариантам с суперфосфатом в последние годы наблюдений отмечается выравнивание концентрации Са⁺⁺ по сравнению с контролем. Что же касается вариантов с мелом, то по ним не наблюдалось резкого снижения активности Са⁺⁺ в течение десятилетнего периода наблюдений.

Помимо самих мелиорантов на активность Са⁺⁺ оказывали влияние по крайней мере еще четыре других фактора: 1) воздействие растений по-

средством выноса Ca^{2+} в качестве элемента пищи; 2) климатические условия, что заметно при сопоставлении табличных данных по срокам наблюдений; 3) перепашка поля и связанное с ней перемешивание элювиального и иллювиального горизонтов, имеющих различные показатели активности Ca^{2+} ; 4) закрепление Ca^{2+} в почвенном поглощающем комплексе. Низкая активность ионов Ca^{2+} в пахотном горизонте степных черноземных солонцов наряду с пониженным содержанием обменных катионов Ca^{2+} является одной из важных причин низкого плодородия этих почв. Данные по определению активности Ca^{2+} в солонцах позволяют сделать конкретные заключения о необходимости внесения в эти почвы кальциевых веществ, а также об очередности и дозах внесения таких мелиорантов.

Опираясь на приведенную шкалу обеспеченности почв активным кальцием, учитывая динамику $p\text{Ca}$, а также физико-химические свойства мелиорируемых почв и величины урожая культур в опыте, определенное можно заключить, что средние дозы мелиорантов, примененные в опыте и рассчитанные по величине содержания в почве поглощенного натрия, являются недостаточными для данных почв. Кальций относительно быстро расходуется из такого количества мелиоранта.

Проведенный учет выноса Ca^{2+} и Na^{+} показал, что на контроле с урожаями зерновых культур (озимой ржи, яровой пшеницы, ячменя и проса) вынос Ca^{2+} составил 22, а Na^{+} — 50 кг/га. По вариантам с гипсом вынос Ca^{2+} равнялся 54, а Na^{+} — 71 кг/га. По вариантам с мелом он был еще выше — 77 кг/га Ca^{2+} и 91 кг/га Na^{+} .

Если сделать сопоставление выноса Ca^{2+} урожаями из почвы контрольных делянок с выносом его из почвы на делянках с мелиорантами, то этот вынос по варианту гипсования составит 224%, а по варианту мелования — 849%. В этом случае вынос Na^{+} из почвы для варианта с гипсом по сравнению с выносом его из почвы контроля составит всего лишь 140%, а для варианта с мелованием — 179%.

Как видно из этих данных, на мелиорированных почвах темп увеличения выноса Ca^{2+} был значительно выше темпа выноса Na^{+} . По приведенным данным становится очевидной необходимость дополнительного внесения в солонцы кальциевых мелиорантов с целью поддержания и дальнейшего развития полученного мелиоративного эффекта.

В наблюдениях за ходом мелиоративного процесса изучены также поведение активного Na^{+} в почвенном растворе и реакция среды.

Определения активности Na^{+} в солонцах нами проводились в почвенной пасте (1:0,5), т. е. при состоянии увлажнения почвы, близком к естественному. Полученные таким путем данные по активности Na^{+} в почвах черноземно-солонцового комплекса вместе с показателями определенных других форм Na^{+} приведены в табл. 3.

Для солонцов характерно увеличение концентрации различных форм Na^{+} в почвенных профилях сверху вниз. Максимальные их количества приходится на гор. ВС, минимальные обнаруживаются в элювиальном горизонте, где активность Na^{+} сильно снижена. Анализ содержания различных форм Na^{+} в почвах черноземно-солонцового комплекса показывает, что при величине $p\text{Na} < 2,0$ отмечается избыточное содержание в почвенном растворе Na^{+} , вызывающего как признаки солонцеватости, так и появление морфологически резко выраженных солонцовых свойств.

Определение активности Na^{+} имеет важное значение в диагностике солонцов и солонцеватых почв и находит применение в почвенных исследованиях [4, 15]. Так, например, Зырин и Орлов [4, 5] по величине $p\text{Na}$ для каштановых почв и солонцов дают деление степени солонцеватости в следующих пределах: почвы несолонцеватые $\geq 3,0$; почвы слабосолонцеватые — 2,4—3,0; почвы среднесолонцеватые — 1,5—2,4; солонцы — $< 1,5$.

Таблица 3

Содержание в почвах черноземно-солонцового комплекса различных форм натрия

Номер разреза	Глубина, см	рNa	aNa, мг-эка/л	Поглощенный Na, мг-эка/100 г	Na, % от емкости поглощения	Na, мг-эка/100 г	
						подвижный	воднорастворимый
1	0—10	2,14	7,24	3,00	14,42	2,34	0,44
	18—28	1,70	19,95	7,92	24,75	7,87	0,96
	35—45	1,56	27,54	7,60	27,14	9,78	2,87
	50—60	1,34	45,71	5,60	25,92	10,26	4,94
	65—75	1,26	54,95		He опр.	10,04	7,19
	100—110	1,24	57,54		»	11,30	6,77
7	0—7	1,96	10,96	4,78	18,67	3,95	0,83
	10—20	1,81	15,49	7,56	23,33	7,52	0,40
	25—35	1,57	26,92	5,60	22,58	8,56	3,96
	45—55	1,42	38,02	4,40	22,00	9,13	5,44
	60—70	1,42	38,02		He опр.	9,34	5,30
	100—110	1,49	32,36		»	11,30	8,50
13	0—10	1,93	11,75	2,89	15,81	1,34	0,27
	20—30	1,63	23,44	6,37	19,30	5,56	0,77
	34—43	1,75	17,78	5,60	20,58	6,56	2,28
	44—54	1,55	28,18		He опр.	6,87	2,69
	60—70	1,54	28,34		»	7,17	3,73
	80—90	1,51	30,90		»	7,52	4,37
	100—110	1,30	50,12		»	7,87	4,94
17	0—10	2,80	1,58	1,60	6,45	0,13	0,08
	16—26	2,94	1,15		He опр.	0,11	0,13
	35—45	2,60	2,51		»	0,37	0,27
	70—80	1,91	12,30	2,40	11,32	2,26	1,19
	100—110	1,69	20,42	3,69	18,36	3,60	1,73
18	0—10	2,40	3,98	2,00	9,09	0,22	0,01
	19—29	2,36	4,36	2,40	12,50	0,24	0,03
	30—40	2,26	5,49	2,40	15,00	0,15	0,15
	45—55	2,10	7,94	3,20	15,68	0,45	0,08
	70—80	2,16	6,92	2,40	10,52	0,58	0,13
	100—110	2,30	5,01	—	—	0,47	0,36
19	0—6	2,16	6,92	3,20	19,04	1,04	0,31
	15—25	1,53	29,51	10,00	27,78	8,52	1,44
	35—45	1,30	50,12	8,40	30,43	16,21	4,90
	55—65	1,20	63,10	6,40	30,18	15,21	5,27
	70—80	1,14	72,44		He опр.	16,52	8,68
	100—110	1,16	69,18		»	16,91	9,80

Сопоставляя значения рNa с физико-химическими и морфологическими показателями степени солонцеватости, для почв черноземно-солонцового комплекса мы получили следующую шкалу солонцеватости по величине рNa: >2,9 — почвы несолонцеватые; 2,6—2,9 — слабосолонцеватые; 2,3—2,6 — среднесолонцеватые; 1,9—2,3 — сильносолонцеватые; <1,9 — солонцы. Придерживаясь такой градации степеней солонцеватости, точнее можно судить о ходе процессов рассоления и рассолонцевания, используя данные по динамике рNa (табл. 4). Ими можно руководствоваться и в оценке длительности мелиоративного эффекта.

В присутствии кальциевых солей активность Na⁺ уменьшается вследствие антагонизма ионов Na⁺ и Ca²⁺, что подтверждается, например, данными табл. 3 по разрезу 17, где карбонаты Ca вовлечены в верхний горизонт посредством землероев. По свидетельству Зырина и Орлова [4, 5], влияние CaCO₃ на солонцы может становиться особенно заметным в присутствии Na-солей. Такое мелиорирующее влияние CaCO₃ значительно возрастает при увеличении концентрации NaCl. Так, активность ионов Na⁺ в 0,9 М NaCl + CaCO₃ составляет всего лишь 80% от его актив-

Таблица 4

Показатели динамики активности Na^+ по вариантам опыта в различные годы и сроки наблюдений

Год, месяц	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1964 VI	2,40	2,60	2,32	2,32	2,26	2,26	2,26	2,36	2,33	2,38
	3,98	2,51	4,79	4,79	5,49	5,49	5,49	4,36	4,69	4,17
	2,09	2,02	2,00	1,88	1,94	1,86	1,92	2,06	2,15	1,98
VIII	8,13	9,55	10,00	13,18	11,48	13,80	12,02	8,71	7,08	10,47
	1,92	1,81	1,91	1,85	1,96	1,81	1,88	2,00	1,99	1,93
X	12,02	15,49	12,30	14,13	10,96	15,49	13,18	10,00	10,23	11,75
	2,10	1,99	2,05	1,96	2,12	1,97	1,88	2,16	2,03	2,13
1965 IV	7,94	10,23	8,91	10,96	7,59	10,72	13,18	6,92	9,33	7,41
	2,10	1,97	2,14	1,94	2,18	2,08	1,98	2,23	2,16	2,16
VII	7,94	10,72	7,24	11,48	6,61	8,32	10,47	5,89	6,92	6,92
	2,07	1,85	2,00	1,88	2,03	1,94	1,88	1,93	1,87	1,94
X	8,51	14,13	10,00	13,18	9,33	11,48	13,18	11,75	13,49	11,48
	2,23	2,24	2,22	2,20	2,32	2,14	2,07	2,33	2,31	2,24
1966 IV	5,89	5,75	6,03	6,31	4,79	7,24	8,51	4,68	4,90	5,75
	2,14	2,46	2,24	2,28	2,18	2,15	2,07	2,32	2,35	2,31
VII	7,24	3,47	5,75	5,25	6,61	7,08	8,51	4,79	4,47	4,90
	2,16	2,38	2,20	2,30	2,21	2,17	1,98	2,32	2,33	2,34
X	6,92	4,17	6,31	5,01	6,17	6,76	10,47	4,79	4,68	4,57
	2,20	2,30	2,28	2,35	2,38	2,29	2,14	2,37	2,45	2,33
1967 VII	6,31	5,01	5,25	4,47	4,17	5,13	7,27	4,27	3,55	4,68
	2,23	2,29	2,18	2,35	2,16	2,04	1,96	2,10	2,33	2,21
1968 VII	5,89	5,13	6,61	4,47	6,92	9,12	10,96	7,94	4,68	6,17
	2,14	2,21	2,11	2,15	2,04	2,08	2,00	2,23	2,24	2,31
1970 VII	7,24	6,17	7,76	7,08	9,12	8,32	10,00	5,89	5,75	4,90
	2,01	2,15	2,06	2,13	2,07	2,07	1,91	2,11	2,10	2,09
1971 VII	9,77	7,08	8,71	7,41	8,51	8,51	12,30	7,76	7,94	8,13
	1,97	2,12	2,00	2,12	2,02	2,07	1,96	2,05	2,08	2,08
1972 VII	10,72	7,59	10,00	7,59	9,55	8,51	10,96	8,91	8,32	8,32
	2,13	2,24	2,22	2,20	2,37	2,32	2,05	2,25	2,29	2,29
1973 VII	7,41	5,75	6,03	6,11	4,27	4,79	8,91	5,62	5,13	5,13

Примечание. Для каждого срока верхняя строка — рNa, нижняя — содержание активного Na^+ в мг-экв/л.

ности в чистом растворе NaCl той же концентрации. Ту же закономерность они обнаружили и в том случае, когда в растворе NaCl присутствует CaSO_4 . При высоком содержании в почвенном растворе NaCl растворимость гипса резко повышается и он выносится водой. То же самое наблюдается для CaSO_4 в присутствии Na_2SO_4 и MgSO_4 . Растворимость CaCO_3 в присутствии NaCl возрастает примерно в 22 раза, а в присутствии Na_2SO_4 — в 50 и более раз [16]. Аналогичная обстановка создается в черноземных степных солонцах при внесении в них кальциевых мелиорантов. При внесении CaSO_4 или CaCO_3 в почвенном растворе солонцов уменьшается активность Na^+ . Этим вскрывается новая сторона мелиорирующего действия на солонцы наиболее доступных Са-мелиорантов. Появляющийся в почвенном растворе Ca^{2+} не только будет способствовать непосредственному снижению активности Na^+ , но и будет ослаблять влияние последнего на коллоидные свойства почвы, а также на процессы питания растений [4].

Уменьшение активности Na^+ в присутствии Са-мелиорантов отчетливо прослеживается в полевом опыте по химической мелиорации черноземных степных солонцов (табл. 4). В первое время после внесения кальциевых мелиорантов повысилась активность Na^+ в почвенном растворе вследствие энергичного вытеснения этого катиона из поглощающего комплекса и перехода его в свободное состояние. В дальнейшем, как видно, произошло закономерное снижение активности Na^+ под влиянием Са-гипса и Са-мела. Это особенно заметно, если сравнить данные по вариантам, где применялись Са-мелиоранты, с контролем.

В первые 2 года мелиорации активность Na^+ , выраженная концентрацией Na^+ в $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$, в пахотном горизонте по всем вариантам с мелиорантами была заметно выше, чем в последующие сроки. Это связано с энергичным рассолонцеванием под действием Са-мелиорантов. К апрелю 1966 г. в пахотном горизонте мелиорируемых солонцов по большинству вариантов (за исключением седьмого) установились такие показатели $p\text{Na}$, которые свидетельствуют о том, что в корнеобитаемой части почвы произошло устойчивое рассоление. Эти данные согласуются с результатами определений содержания в пахотном горизонте воднорастворимых веществ, подвижных и поглощенных форм Na^+ [19].

В связи с изложенным становится очевидным, что величина $p\text{Na}$ может быть использована не только как показатель объективной аналитической характеристики солонцов, но и для оценки эффективности приемов мелиорации этих почв.

Приведенные данные по определениям активностей Ca^{++} , Na^+ и их динамики используются нами для большей полноты суждений о процессах мелиорации солонцов наравне с показателями определения активности H^+ как в водно-солевых суспензиях, так и в пасте. При низких уровнях разбавления почвы водой (1 : 0,5) значения активных концентраций H^+ близки к истинному содержанию этих ионов в почве. Этого не наблюдается при большом разбавлении почвы водой в случае применения традиционных методов анализа.

Величина $p\text{H}$, как правило, возрастает с разбавлением, в связи с чем измерения при разбавлениях более 1 : 0,5 не могут характеризовать действительную реакцию почв. Более того, как указывают Крупский и др. [14], этот эффект подщелачивания, видимо, от гидролитического расщепления солей водой, различен для разных типов почв. При этом обнаружено, что степень подщелачивания колеблется в пределах от 0,2 до 0,95 единиц $p\text{H}$ [3].

Сравнение показателей $p\text{H}$ (табл. 5), определенных для элювиального горизонта солонцов в водной вытяжке и пасте, показало еще большее расхождение их (от 0,55 до 1,8 единиц). Велики они и для черноземов.

Наряду с определением активности ионов в почвах черноземно-солонцового комплекса важное значение имеет учет соотношения активностей в почвенном растворе таких ионов, как H^+ и Ca^{++} . В качестве одного из таких показателей рекомендуется использовать понятие известкового потенциала ($K_{\text{изв}}$) [3, 14], характеризующего запас кальция в почве. Математическим выражением для известкового потенциала является разность $p\text{H} - 0,5 p\text{Ca}$, которая связывает реакцию почвы с активностью в ней ионов Ca^{++} [3, 13]. Известковый потенциал характеризует энергетический уровень перехода Ca^{++} из твердой фазы почвы в почвенный раствор. Чем он меньше, тем больше затрудняется поступление последнего в почвенный раствор, а следовательно, и в растения. Поэтому показатели $p\text{H}$ и $p\text{Ca}$ в почвенном растворе могут служить не только для характеристики условий почвенного плодородия, но и дополнительным критерием для установления дифференцированных доз кальциевых мелиорантов.

Таблица 5

Содержание в почвах черноземно-солонцового комплекса ионов водорода и известковый потенциал

Номера разреза	Глубина, см	pH водный	pH солевой	pH в пасте	K _{изв}	H ⁺ гидролитической кислотности
1	0—10	6,6	5,0	5,60	4,42	4,41
	18—28	7,4	6,0	6,90	5,84	1,10
	35—45	8,5	7,2	7,85	6,87	0,45
	50—60	8,3	7,6	7,90	6,96	Не опр.
	65—75	7,7	7,5	7,70	6,81	»
7	0—7	7,2	7,15	6,65	5,50	2,05
	10—20	7,5	7,35	7,36	6,30	1,02
	25—35	8,0	7,65	8,11	7,15	0,07
	45—55	7,9	7,83	8,06	7,12	Не опр.
	60—70	7,5	7,75	7,90	7,03	»
13	0—10	7,05	5,0	5,25	3,81	5,17
	20—30	7,3	5,9	6,25	5,11	1,97
	34—43	7,9	7,55	7,50	6,45	0,17
	44—54	8,0	7,8	7,86	6,80	Не опр.
	60—70	7,95	7,88	7,86	6,86	»
17	0—10	7,4	6,7	6,40	5,24	2,91
	16—26	7,7	7,5	7,24	6,11	0,45
	35—45	7,85	7,66	7,40	6,27	0,33
	70—80	8,00	7,75	7,70	6,57	0,15
18	0—10	6,9	5,5	5,10	3,77	8,82
	19—29	6,8	4,6	4,74	3,38	9,76
	30—40	6,7	4,15	4,60	3,23	7,55
	45—55	6,7	4,05	4,87	3,52	6,30
	70—80	7,2	5,1	6,10	4,90	Не опр.
19	0—6	7,1	4,8	5,50	4,23	5,82
	15—25	7,8	6,0	7,10	6,00	1,32
	35—45	8,6	7,55	7,90	6,94	0,44
	55—65	8,6	7,78	8,00	7,07	Не опр.
	70—80	8,2	7,71	7,79	6,88	»

Таблица 6

Динамика pH почвенного раствора в пахотном горизонте солонцов по срокам наблюдений

Год, месяц	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1964 VI	5,43	5,24	5,24	5,24	5,60	5,37	5,37	5,43	5,30	5,16
	5,94	5,42	6,92	5,65	6,75	6,65	6,55	5,35	5,17	5,80
	5,45	5,30	6,67	5,79	6,98	6,79	6,44	5,67	5,39	5,90
1965 IV	5,43	5,16	6,40	5,27	6,82	6,52	5,83	5,31	5,21	5,27
	5,37	4,86	6,45	5,35	6,91	6,62	5,71	5,28	4,90	5,22
	5,52	5,48	6,80	5,83	7,09	7,01	6,47	5,96	5,83	6,09
1966 IV	5,12	4,65	6,26	5,74	6,68	6,78	6,11	5,60	5,37	6,32
	5,86	5,47	6,85	6,10	7,28	6,98	6,54	5,59	5,63	5,89
	5,73	5,55	6,52	5,92	6,81	6,92	6,27	6,00	5,60	6,09
1967 VII	5,31	5,39	6,81	5,30	6,79	6,58	5,82	5,30	5,57	5,80
1968 VII	5,35	5,32	6,37	5,70	6,63	6,78	5,56	5,30	5,30	5,50
1970 VII	5,19	5,16	6,15	5,73	6,56	6,57	5,65	5,33	5,13	5,59
1971 VII	5,18	5,09	6,27	5,40	6,63	6,52	5,70	5,11	5,19	5,71
1972 VII	5,22	5,28	6,17	5,56	6,75	6,76	5,71	5,26	5,34	5,56
1973 VII	5,39	5,13	6,25	5,85	6,61	6,69	6,32	5,41	5,59	5,76

Так, например, если в верхнем горизонте черноземных степных солонцов величина известкового потенциала составляет менее 6,0 единиц, то для почвы характерным явлением будет состояние дефицита по кальцию, что согласуется с физико-химическими и другими свойствами. Судя по массовым определениям рН и рСа, для этих почв ориентировочно можно придерживаться следующих пределов нуждаемости их в кальции: если известковый потенциал $>6,5$, то в почвенном растворе наблюдается избыток Са⁺⁺; при 6,5—6,0—слабая потребность в Са⁺⁺; 6,0—5,5—средняя потребность; 5,5—5,0—сильная потребность; 5,0—4,5—очень сильная потребность; 4,5—3,0—острая потребность в Са⁺⁺.

Используя эти показатели, можно получить объективное представление о ходе мелиорации солонцовых почв.

Таблица 7

Динамика известкового потенциала в пахотном горизонте солонцов

Год, месяц	В а р и а н т									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1964 VI	4,19	3,91	4,00	4,00	4,37	4,07	4,07	4,11	3,94	3,84
VIII	4,62	4,33	5,78	4,64	5,66	5,58	5,45	4,21	4,02	4,71
X	4,30	4,27	5,56	4,71	5,87	5,77	5,29	4,49	4,25	4,75
1965 IV	4,19	4,11	5,30	4,17	5,72	5,45	4,71	4,23	4,21	4,21
VII	4,16	3,82	5,35	4,34	5,81	5,50	4,50	4,14	3,84	4,04
X	4,22	4,47	5,69	4,67	5,99	5,95	5,35	4,86	4,75	4,92
1966 IV	3,83	3,50	5,08	4,67	5,51	5,65	4,91	4,35	4,15	5,12
VII	4,61	4,32	5,65	4,92	6,13	5,81	5,33	4,33	4,34	4,62
X	4,53	4,42	5,34	4,82	5,65	5,78	5,10	4,76	4,31	4,88
1967 VII	4,06	4,19	5,69	4,14	5,62	5,45	4,65	4,02	4,32	4,53
1968 VII	4,19	4,12	5,18	4,44	5,42	5,56	4,34	4,06	3,94	4,23
1970 VII	4,00	3,99	4,97	4,54	5,44	5,42	4,52	4,12	3,93	4,38
1971 VII	4,04	3,96	5,19	4,28	5,56	5,45	4,61	4,41	4,08	4,64
1972 VII	4,07	4,14	5,07	4,40	5,68	5,70	4,60	4,14	4,18	4,36
1973 VII	4,14	4,01	5,11	4,71	5,41	5,45	5,06	4,16	4,33	4,51

Как видно из данных табл. 6, по вариантам с внесением гипса и суперфосфата на минеральном фоне зачастую отмечается подкисление почвенного раствора. Заметно также, что величины рН по этим вариантам значительно меньше, чем по контрольному варианту.

Близкими к контрольным являются значения величин рН по таким же вариантам, но на органическом фоне, хотя здесь может заметно проявляться буферное влияние навоза.

По всем вариантам с применением мела отмечается резкое увеличение значений рН, не превышающих, однако, 7,28 единиц. В основном реакция почвенного раствора по ним характеризуется как нейтральная. В шестом варианте по сравнению с пятым прослеживается небольшое подкисляющее влияние сульфата аммония (N60) в течение только первых двух лет.

Из данных табл. 7 также можно сделать вывод о том, что варианты с мелом характеризуются повышенным известковым потенциалом по сравнению с контролем и другими вариантами. Это повышение известкового потенциала более стабильно на органическом фоне, при этом отмечаются закономерные явления, аналогичные тем, которые обнаружены при характеристике динамики рН почвенного раствора.

Таким образом, сопряженные определения активностей Ca^{2+} , Na^{+} , H^{+} и установление известкового потенциала в почвенном растворе служат для объективной характеристики плодородия почв применительно к истинным условиям роста и развития растений. Данные по определениям активностей дополняют общую характеристику почв черноземно-солонцового комплекса, получаемую по результатам определений других форм элементарного плодородия [22].

Рассмотрение этих же данных в динамике также является весьма удобной формой суждения с целью установления направленности и степени выраженности процесса мелиорации черноземных степных солонцов.

Поэтому новые методики Украинского НИИ почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского и получаемые посредством их данные желательно использовать для конкретизации тех выводов, которые делаются на основании применения традиционных методов почвенно-агрохимических исследований.

Литература

1. Алешин С. Н., Болдырев А. И. Определение поглощенного натрия в почвах при помощи натрий-стеклянного электрода. Почвоведение, 1962, № 1.
2. Градобов Н. Д., Парфенов А. И., Семендяева Н. В. Об активности натрия в солонцах Омской области. Научн. тр. ОмСХИ, т. 93, 1971.
3. Губарева Д. Н. Основные закономерности поведения кальция в оподзоленных почвах Украинской лесостепи. В сб.: Почва, плодородие, урожай. Минск, 1973.
4. Зырин Н. Г., Орлов Д. С. Методы определения активности ионов натрия в почвах и почвенных растворах. Вестн. МГУ. Сер. биол., почвовед., геол., геогр., № 1, 1958.
5. Зырин Н. Г., Орлов Д. С. Физико-химические методы исследования почв. Изд. МГУ, 1964.
6. Князева Н. В., Горбунов Н. И. Активность ионов натрия в суспензиях почв. Почвоведение, 1973, № 1.
7. Комарова Н. А., Крюков П. А. Определение активности ионов натрия в дисперсных системах. Коллоидный ж., т. 21, № 2, 1959.
8. Крупский Н. К., Александрова А. М., Губарева Д. Н. К вопросу об определении активности ионов кальция в почвах. В сб.: Агрохимия и почвоведение, вып. 6. Агрохимические свойства почв Украины. Киев, 1967.
9. Крупский Н. К., Александрова А. М., Лапкина Ю. И. Определение активности натрия в почве. В сб.: Химия, генезис и картография почв. «Наука», 1968.
10. Крупский Н. К., Александрова А. М., Лапкина Ю. И. Зависимость активности ионов натрия в почве от степени ее увлажнения. Почвоведение, 1968, № 3.
11. Крупский Н. К., Александрова А. М., Губарева Д. Н. К вопросу об определении рН почв. Почвоведение, 1969, № 4.
12. Крупский Н. К., Губарева Д. Н., Александрова А. М. Электрокинетические методы определения активности ионов в почвах. Электроды для определения в почвах активности ионов кальция. Агрохимия, 1974, № 11.
13. Крупский Н. К., Губарева Д. Н., Александрова А. М. Электрометрические методы определения активности ионов в почвах. Сообщ. VIII. Выбор стандартного состояния при определении активности ионов кальция в почвах. Агрохимия, 1974, № 12.
14. Крупский Н. К., Александрова А. М., Губарева Д. Н. Электрометрические методы определения активности ионов в почвах. Электрометрический метод определения известкового потенциала в почвах. Агрохимия, 1975, № 3.
15. Орлов Д. С., Цикурина Н. Н. Количественное определение натрия в почвах и почвенных растворах с помощью стеклянного электрода. Вестн. МГУ. Сер. 6, биол. и почвовед., № 2, 1962.
16. Панков М. А. Мелиоративное почвоведение. Ташкент, 1974.
17. Пак К. П. Солонцы СССР и их мелиорация. «Колос», 1975.
18. План мелиорации солонцовых почв на 1975—1990 гг. по данным союзных республик, краев и областей. М., 1973.
19. Дуриков А. Т. Изменение физико-химических свойств солонцов в опыте по совхозу «Елань-Коленовский» Воронежской области. Зап. ВСХИ им. К. Д. Глинки, т. 40. Воронеж, 1969.
20. Дуриков А. Т. Последствие кальциевых мелиорантов на степных черноземных солонцах. В сб.: Новое в мелиорации солонцов. Омск, 1973.
21. Дуриков А. Т. Баланс солевых элементов в системе почва — растение при химической мелиорации черноземных степных солонцов. Там же.
22. Дуриков А. Т. Плодородие черноземных степных солонцов и регулирование выноса питательных веществ. В сб.: Почвы Центрально-Черноземной зоны и пути повышения их плодородия. Научн. тр. Воронежск. СХИ, т. 78. Воронеж, 1975.

23. *Цыганов М. С., Цуриков А. Т., Тарасенко Н. М.* Опыт мелиорации солонцов мелом. В сб.: Почвы содового засоления и их мелиорация. Тр. Ин-та почвовед. и агрохим., вып. 6. Ереван, 1971.

Воронежский сельскохозяйственный институт им. К. Д. Глинка

Дата поступления
1.III.1976 г.

A. T. TZURIKOV

ACTIVITY OF CALCIUM, SODIUM AND HYDROGEN DURING CHEMICAL RECLAMATION OF SOLONETZES

In a ten year field experiment the dynamics of calcium, sodium, hydrogen and lime potential have been studied. Conclusions are drawn on the necessity of using the data on measuring the activity of the above cations parallel to analytical characteristics of the soil. The latter are obtained by using the routine methods of soil-agrochemical investigations.
