

## НАКОПЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ КАРБОНАТОВ И БИКАРБОНАТОВ В МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ГРУНТОВЫХ ВОДАХ И В ЗАСОЛЕННЫХ И СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВАХ Р. Н. Р.

Ал. МЭЯНУ и И. АКСЕНОВА

Центральный Научно-Исследовательский Сельскохозяйственный Институт  
Бухарест

Наиболее полные исследования, касающиеся количественных и качественных закономерностей накопления солей в грунтовых водах и почвах были проведены *Ковдой* в засушливых и полузасушливых зонах Советского Союза [1, 2, 4] и Китая [3]. В нашей стране подобного рода исследования проводились *Флоря* и сотруд. [6, 7, 9] в междуречье Кэлмэцуй — Бузэу, *Санду* [10] на обвалованном участке Кэлмэцуй — Гропень и *Обрежану, Мэяну* и *Аксеновой* в поймах рек Румынской равнины [5]. Хотя и отмечались особенности накопления щелочных карбонатов и бикарбонатов в водах и почвах, но специально эта проблема не была изучена.

В настоящей работе представлены первые полученные результаты относительно накопления этих солей в минерализованных грунтовых водах и в засоленных почвах Румынской Народной Республики.

### Метод исследования

Были взяты почвенные образцы и пробы грунтовых вод из 82 профилей засоленных и солонцовых почв Румынской и Тисской равнин, поймы и дельты Дуная; и в них определялись минеральный остаток кондуктометрическим методом, различные формы щелочности путем титрования вытяжки раствором серной кислоты, натрий и калий с помощью пламенного фотометра. Кроме того определялся объемный вес почвенных проб, взятых в цилиндрах объемом 100 см<sup>3</sup> с сохранением естественной структуры. Для всех изучавшихся профилей были рассчитаны запасы щелочных карбонатов и бикарбонатов для почвенных слоев в 0—20, 0—50 и 0—100 см.

Полученные аналитические данные были обработаны по методу корреляций в зависимости от природных зон (Табл. 1.), от типа засоления, от природы литологических отложений и представлены в виде графиков на рисунках 1.—7.

### Полученные результаты

#### 1. Накопление щелочных карбонатов и бикарбонатов в грунтовых водах

Проведенные ранее исследования показали, что в засушливых и полузасушливых зонах существуют тесные корреляции между глубиной залегания грунтовых вод и степенью их минерализации; а наши исследования,

Таблица 1.

Климатические показатели и почвы, характерные для почвенно-климатических зон изучаемого сектора

Почвенно-климатическая зона	Среднее годовое количество осадков [Р] (мм)	Средняя годовая температура [Т°] (С°)	Показатели засушливости по Де-Мартонне	Характерные зональные почвы
			$\frac{Р}{Т° + 10°}$	
Степь	370—500	10—11,4	15—24	Светло-бурые степные почвы и черноземы
Лесостепь	460—600	10—11,4	23—30	Выщелоченные черноземы
Лесная зона	540—620	10—11,0	28—31	Красновато-бурые и бурые лесные почвы

осуществленные недавно в поймах рек Румынской равнины, выявили и отчетливую дифференциацию этих корреляций по природным зонам [5] в том смысле, что наблюдается уменьшение общего содержания солей от степной зоны к лесной.

Накопление солей в почве — это не только количественный, но и качественный процесс, и различной степени минерализации грунтовых вод соответствуют определенные концентрации различных ионов. Ионы  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$ , по сравнению со всеми остальными ионами, ведут себя совершенно по иному. Так в то время, как концентрация ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и др. увеличивается по мере роста степени минерализации грунтовой воды, ионы  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  аккумулируются в гораздо больших количествах, чем остальные ионы, лишь до определенной степени минерализации грунтовой воды. При дальнейшем же её росте, содержание ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  резко снижается.

На рисунке 1. видно, что в минерализованных грунтовых водах лесной зоны и в некоторых карбонатных водах лесостепной зоны анион  $\text{CO}_3^{2-}$  накапливается в довольно больших количествах (2,6—2,9 мг-экв/л) при общем содержании солей в 1,6—2,0 г/л, а при более высокой степени минерализации, содержание этого аниона в водах резко уменьшается.

В грунтовых водах лесостепной зоны максимальная концентрация аниона  $\text{CO}_3^{2-}$  колеблется от 2,0 до 2,6 мг-экв/л при степени минерализации равной примерно 6 г/л, а затем снижается до 1 мг-экв/л в водах, имеющих общее содержание солей, превышающее 14—15 г/л (Рис. 2.).

Очень важно отметить присутствие этого иона почти исключительно во всех минерализованных водах лесостепной и лесной зон, и только лишь спорадическое появление его в некоторых водах степной зоны.

Что касается взаимосвязи между процентным содержанием этого аниона и степенью минерализации грунтовых вод, то на рисунке 2. видно существование тесной корреляции между этими величинами, однако дифференцировать кривые по различным природным зонам не представляется возможным. Но необходимо отметить, что, в то же самое время, на одной и той же кривой можно различить пределы накопления аниона  $\text{CO}_3^{2-}$  для этих зон. Так, в грунтовых водах лесостепной зоны в долине реки Кэлмэуей, максимальное

процентное содержание аниона  $\text{CO}_3^{2-}$  равняется 2,1% при степени минерализации этих вод свыше 9 г/л солей. В остальной части лесостепной зоны содержание  $\text{CO}_3^{2-}$  может превысить 40%, а в лесной зоне 47%, от общего содержания солей в грунтовой воде, в то время, как общее содержание солей в водах бывает ниже 2 г/л (Рис. 2, Табл. 2.). Эти данные свидетельствуют о том, что в грунтовых водах степной зоны анион  $\text{CO}_3^{2-}$  практически не аккумулируется, в лесостепной зоне он в некоторых случаях может содержаться в больших количествах, а в лесной зоне отчетливо видно, что этот анион является преобладающим.

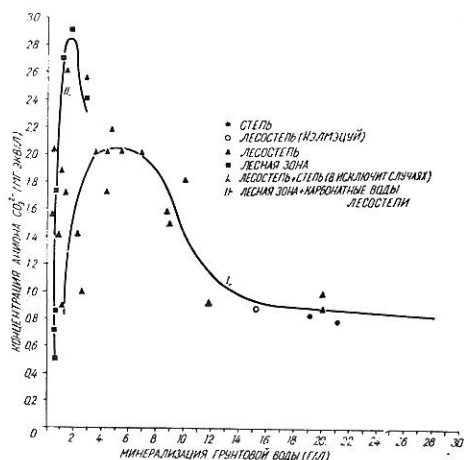


Рис. 1.

Корреляция между степенью минерализации грунтовых вод (г/л) и концентрацией аниона  $\text{CO}_3^{2-}$  (мг-экв/л)

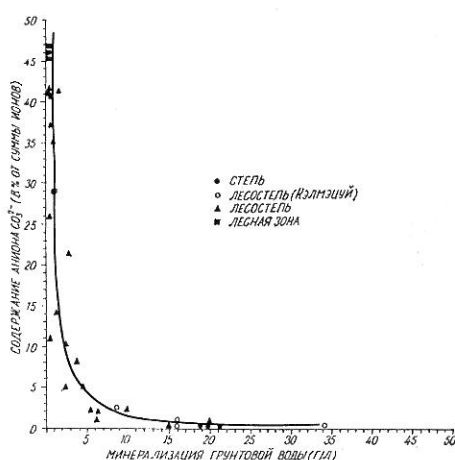


Рис. 2.

Корреляция между степенью минерализации грунтовых вод (г/л) и процентным содержанием аниона  $\text{CO}_3^{2-}$  (% от суммы ионов)

Что касается аниона  $\text{HCO}_3^-$ , то на рисунках 3. и 4. видно, что накопление его в минерализованных грунтовых водах протекает в основном, подобно накоплению аниона  $\text{CO}_3^{2-}$ , отличаясь, однако, от последнего как с точки зрения количества, так и с точки зрения присутствия его в грунтовых водах всех природных зон. На рисунке 3. представлены три кривые накопления этого аниона. Первая кривая включает в себя грунтовые воды степной зоны, которые отличаются самой высокой минерализацией и которые по характеру засоления являются хлоридными или сульфатно-хлоридными. Эти воды наиболее типичны для степной зоны и для зон, окружающих солевые озера. Максимальная встречающаяся здесь концентрация  $\text{HCO}_3^-$  около 10 мг-экв/л при общем содержании солей колеблющемся от 5—6 до 30—35 г/л. Вторая кривая включает в себя остальные грунтовые воды степной зоны. На этой кривой видно, что максимальное накопление аниона  $\text{HCO}_3^-$  (около 15 мг-экв/л) имеет место при степени минерализации вод в 4—5 г/л, а затем уменьшается ниже 4 мг-экв/л при содержании в водах свыше 15 г/л солей.

Третья кривая соответствует грунтовым водам лесостепной и лесной зон, где максимальное количество  $\text{HCO}_3^-$  достигает 20 мг-экв/л при степени

Таблица

Колебание содержания  $\text{CO}_3^{2-}$ - и  $\text{HCO}_3^-$  в минерализованных

Природная зона	Минерализованные грунтовые воды				
	Минеральный остаток (г/л)	мг-экв/л		% от суммы ионов	
		$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
Степь (долина реки Кэлмэцуй, приморская дельта, соседние с солевыми озерами территории)	2,1—45,0	0,0—1,3*	6,0—10,3	0,0—3,0*	0,3—10,5
Степь	1,8—31,0	0,0	1,9—15,0	0,0	0,3—14,5
Лесостепь	0,7—20,1	0,0—2,6	2,3—20,0	0,5—41,5	0,4—44,0
Лесная зона	0,5—1,4	0,5—2,9	5,0—12,0	29,0—47,0	26,0—48,3

их минерализации, равной 2 г/л, снижаясь затем ниже 4 мг-экв/л, если степень минерализации воды превышает 5—6 г/л солей (Рис. 3, Табл. 2.).

Что касается взаимосвязи между степенью минерализации грунтовых вод и процентным содержанием  $\text{HCO}_3^-$ , то из рисунка 4. следует, что между этими величинами существует тесная связь при отсутствии, однако, ясной

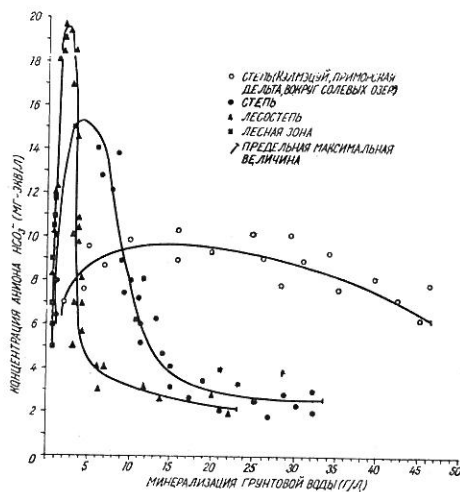


Рис. 3.

Корреляция между степенью минерализации грунтовых вод (г/л) и концентрацией аниона  $\text{HCO}_3^-$  (мг-экв/л)

2.

грунтовых водах и в засоленных и солонцовых почвах

Глубина (см)	Засоленные и солонцовые почвы			
	г-экв/м <sup>3</sup>		% от суммы ионов	
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
0—20	0,0—0,7	1,3—4,2	0,0—2,1*	1,0—6,1
0—50	0,0—2,8*	3,4—5,8	0,0—1,3*	0,6—5,0
0—100	0,0—2,8	5,9—9,1	0,0—0,9	0,4—2,2
0—20	0,0	0,8—4,7	0,0	1,0—13,4
0—50	0,0	2,5—12,3	0,0	1,0—19,0
0—100	0,0	2,0—22,0	0,0	1,2—8,0
0—20	0,0—3,7	0,8—15,4	0,0—6,1	1,7—46,0
0—50	0,0—5,8	2,2—38,1	0,0—8,0	4,3—46,0
0—100	0,0—15,5	5,2—67,0	0,0—10,9	1,5—45,0
0—20	0,0—1,8	0,3—8,6	0,0—2,6	16,0—48,0
0—50	0,0—2,9	7,8—16,0	0,0—3,6	16,0—41,0
0—100	0,0—6,7	17,0—33,1	0,0—10,5	20,0—43,0

\* Данные, касающиеся грунтовых вод и почв лесостепной зоны долины Кэлмэцуй

дифференциации по природным зонам, как и в случае аниона CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Но и на этой кривой также можно различить пределы колебаний содержания аниона HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> в различных природных зонах в зависимости от степени минерализации грунтовых вод (Табл. 2.).

Таким образом установлено, что воды, содержащие свыше 10—15 г/л солей очень бедны по количеству в них HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, воды со степенью минерали-

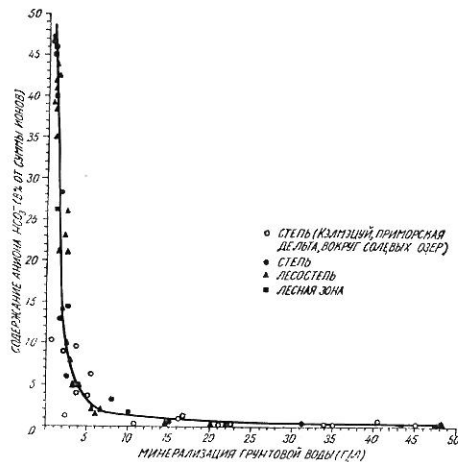


Рис. 4.

Корреляция между степенью минерализации грунтовых вод (г/л) и процентным содержанием аниона HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (% от суммы ионов)

зации от 3—4 до 10—15 г/л солей содержат максимум 10—15%  $\text{HCO}_3^-$ , а те воды, общее количество солей в которых меньше 2 г/л, обычно являются гидрокарбонатными и содержат свыше 20—30%  $\text{HCO}_3^-$  (Рис. 3, 4, Табл. 2.)

## 2. Накопление щелочных карбонатов и бикарбонатов в засоленных и солонцовых почвах

Благодаря факту, что часто источником солей в засоленных почвах является грунтовая вода, степень её минерализации и качественный состав солей оказывают большое влияние на характер засоления почвы.

Как и в случае грунтовых вод, накопление в почве различных солей протекает в зависимости от общего содержания в ней водорастворимых солей, а также и от природной зоны, в которой находится рассматриваемая почва. На рисунках 5.—7. видно, что между степенью засоленности почвы и содержанием в почвенном растворе  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  существуют тесные корреляции.

Как и в случае грунтовых вод, из этих рисунков в первую очередь следует, что самое большое накопление анионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  имеет место при незначительном общем содержании солей в почве. Наблюдается в то же время ясная дифференциация накопления этих анионов от одной природной зоны к другой в смысле уменьшения концентрации их от лесной зоны к степной при одной и той же степени засоленности. Как вытекает из выше-

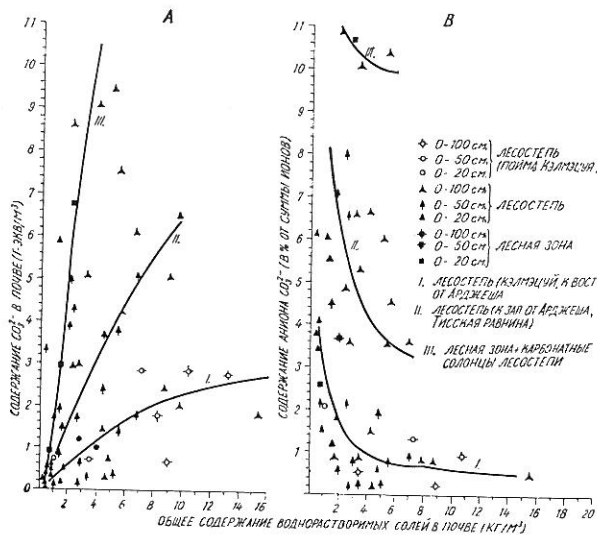


Рис. 5.

Корреляция между степенью засоленности почвы ( $\text{кг/м}^3$ ), концентрацией (А) и процентным содержанием (В) аниона  $\text{CO}_3^{2-}$

сказанного, этот факт находится в связи с увеличением щелочности грунтовых вод от степной зоны к лесной и определяется почвенно-генетическими процессами, и интенсивными процессами осолонцевания и выщелачивания почв в более влажных зонах при отсутствии кальция в почве.

При рассмотрении пунктов, находящихся в сфере кривых на рисунках 5. и 6. установлено, что между степенью засоленности почвы и процентным содержанием  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  существуют корреляции, которые зависят лишь количественно от толщины изучаемого слоя почвы и которые различаются по природным зонам в зависимости от геологических и геохимических особенностей почвообразующих пород и от типа соответствующей засоленной почвы.

Из данных представленных в таблице 2. видно, что запасы  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  в засоленных солонцовых почвах очень сильно варьируют от одной природной зоны к другой, в смысле увеличения их содержания от степной зоны к лесостепной для всех рассматриваемых глубин. В лесной зоне запасы  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  в почве снижаются благодаря общему небольшому содержанию солей в этих почвах. В процентном же отношении анионы  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  явно преобладают в почвах лесной зоны по сравнению со всеми остальными анионами, присутствующими в почве.

Кривые на рисунках 5А.—6, показывают, что эти корреляции не зависят в строгой зависимости только от почвенно-климатических зон, а зависят и от природы почвообразующих отложений и от глубины рассматриваемого почвенного слоя. Так, первая кривая (I.) на этом графике характерна для всех засоленных и солонцовых почв степной зоны, которые отличаются большим запасом в них солей, и по типу засоления являются преимущественно хлоридными или сульфато-хлоридными по всей глубине профиля. На этой кривой встречаются и некоторые почвенные пробы лесостепной

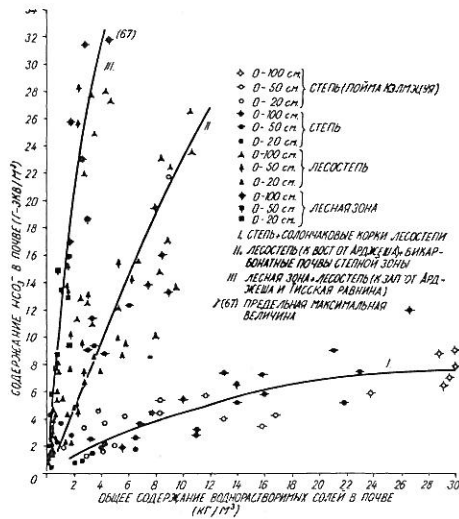


Рис. 6.

Корреляция между степенью засоленности почвы ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) и концентрацией аниона  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{г-экв}/\text{м}^3$ )

зоны (с глубины 0—20 см), которые представляют собой солевые корки хлоридных солончаков.

Вторая кривая (II.) типична для засоленных и солонцовых почв лесостепной зоны к востоку от реки Арджеш и для сектора Румынской равнины

между рекой Арджеш и Дельтой. Эти почвы сформировались на карбонатных отложениях, принесенных реками из Предкарпатья, для которого характерны карбонатные и соленосные осадочные материнские породы. Благодаря таким условиям, засоленные почвы степной зоны этого сектора содержат очень небольшое количество бикарбонатов, а почвы же лесостепи, хотя и не являются чисто гидрокарбонатными, но характеризуются хлоридно-гидрокарбонатным или сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатным типом засоления.

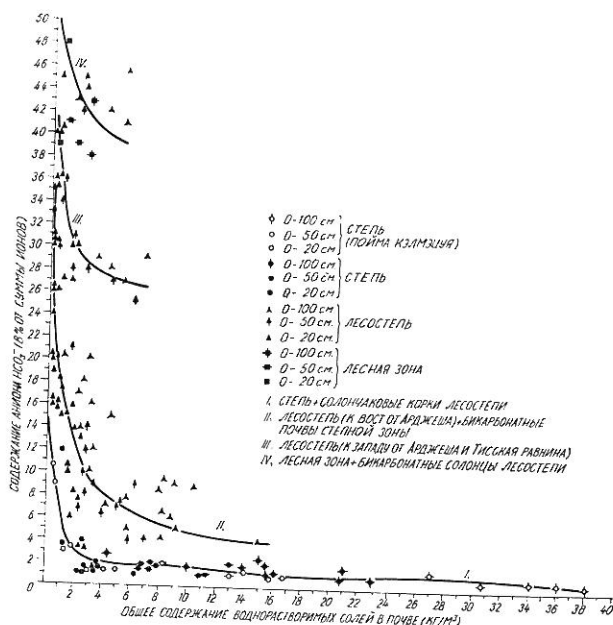


Рис. 7.

Корреляция между степенью засоленности почвы ( $\text{кг/м}^3$ ) и процентным содержанием аниона  $\text{HCO}_3^-$  (% от суммы ионов)

И наконец, засоленные почвы лесостепи к западу от Арджеша и на Тисской равнине, сформировавшиеся на отложениях, принесенных, в основном, с гор кристаллического сложения, являются по типу засоления главным образом, гидрокарбонатными и представлены вместе с засоленными почвами лесной зоны на третьей кривой (III.) на рисунке 5. А., 6.

Более интересные аспекты отражают кривые процентного содержания в почве этих анионов. На рисунках 5. В. и 7. видно, что между степенью засоленности почвы и процентным содержанием в ней  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  существуют корреляции, которые зависят лишь количественно от толщины почвенного слоя, но которые чаще различаются качественно не только по природным зонам, но и в зависимости от геологических и геохимических свойств почвообразующих пород и от типа соответствующей почвы. Установлено, например, что самое большое процентное содержание  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  наблюдается в содовых солонцах лесной и лесостепной зоны, несколько меньшее количество встречается в почвах лесостепи к западу от Арджеша и на



Тисской равнине, ещё меньшее — в засоленных почвах лесостепной зоны Бэрэгана (к востоку от Арджеша) и в некоторых бикарбонатных почвах степной зоны. Самые же маленькие количества содержатся в засоленных и солонцовых почвах степной зоны и в солевых корках ряда солончаков лесостепи. Следует отметить тот факт, что как видно на рис. 5. В. в случае аниона  $\text{CO}_3^{2-}$  оказалось возможным выделить только 3 кривых, а не четыре, как для аниона  $\text{HCO}_3^-$  (Рис. 7), благодаря тому, что в засоленных почвах степной зоны анион  $\text{CO}_3^{2-}$  практически отсутствует, как уже указывалось ранее.

Из всего вышеказанного следует, что точное определение щелочности засоленных и солонцовых почв и расчёт соответствующих корреляций делают возможным дифференцировать эти почвы по природным зонам и даже по гидрографическим бассейнам, чего нельзя осуществить путем индивидуального определения других анионов или катионов, содержащихся в почве или грунтовой воде. Если наряду с теоретическим значением этих дифференциаций принять во внимание и практическое значение этого иона в засоленных и солонцовых почвах (в связи с изменением щелочной реакции почвы и мелиорацией её путем внесения мелиорирующих средств), то следует, что как теоретическое, так и практическое значение его изучения в этих почвах является особенно важным.

#### Резюме

1. В отличие от других ионов, содержащихся в минерализованных грунтовых водах и в засоленных и солонцовых почвах, концентрация которых растет по мере увеличения общего содержания солей, накопление анионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  протекает в достаточно больших количествах лишь до определенной степени засоленности, после чего концентрация этих анионов сильно снижается.

2. Пределы концентрации анионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  в водах и почвах и степень минерализации, при которой накапливается максимальное их количество, меняются в зависимости от природной зоны.

3. В минерализованных грунтовых водах и в засоленных почвах степной зоны анион  $\text{CO}_3^{2-}$  появляется в редких случаях, а накопление его типично для грунтовых вод и почв лесостепной и лесной зоны.

4. Накопление щелочных карбонатов и бикарбонатов в почвах зависит не только от природной зоны, но и от минералогических и геохимических свойств почвообразующих пород, в том смысле, что в одной и той же природной зоне они накапливаются в больших количествах в почвах, сформировавшихся на некарбонатных породах, чем в почвах, сформировавшихся на соленосных и карбонатных материнских породах.

5. Накопление щелочных карбонатов и бикарбонатов в минерализованных грунтовых водах и в засоленных и солонцовых почвах дифференцируется в зависимости от климатических условий (интенсивность испарения, осадки) и от природы почвообразующих пород. Таким образом аналитическое определение этих анионов и установление корреляций, упомянутых в работе, делают возможным дифференцировать почвы по природным зонам и по гидрографическим бассейнам, чего нельзя осуществить при индивидуальном определении остальных ионов.

#### Литература

- [1] Ковда, В. А.: Происхождение и режим засоленных почв. II. А. Н. СССР. Москва, 1947.
- [2] Ковда, В. А.: Геохимия пустынь СССР. Докл. V. Международн. Конгр. Почвов. А. Н. СССР. Москва. 1954.
- [3] Ковда, В. А.: Очерки природы и почв Китая. А. Н. СССР. Москва. 1959.
- [4] Ковда, В. А.: Основы теории, практики, мелиорации и освоения засоленных почв аридной зоны. «Проблема засоления почв и водных источников». А. Н. СССР. Москва, 1960.

- [5] Обрежану, Г., Мэяну, А. и Аксенова, И.: Исследования по установлению агрохимических и почвенно-мелиоративных показателей для характеристики плодородия пойменных почв степной и лесостепной зон Дунайской равнины. Почвоведение. (6). 1964.
- [6] Флоря, Н.: О накоплении солей в грунтовых водах северо-восточной части Румынской равнины (участок между рекой Бузеу и долиной Кэлмэуца). Почвоведение. (7). 11—17. 1956.
- [7] Флоря, Н.: Некоторые особенности соленакопления северо-восточной части Румынской равнины. Почвоведение. (8). 11—17. 1958.
- [8] FLOREA, N.: Solurile R. P. R. Monografie geografica a R. P. R. Ed. Acad. R. P. R., Bucuresti. 1959.
- [9] FLOREA, N., STOICA, L. & IVANOV, N.: Consideratii asupra acumularii sarurilor in solurile din partea de NE a Cimpiei Romine (secturul dintre riul Buzau si Valea Calmatuului). Studii tehnice si economice, Com. Geol. Serie C. (11) 163—193. 1963.
- [10] SANDU, GH.: Adincimea critica a apei freaticе in legatura cu salinizarea solurilor din incinta indiguita Calmatui-Gropeni. Lucrare de dizertatie. Bucuresti. 1961

**Accumulation of Alkali Carbonates and Bicarbonates  
in the Mineralized Ground Waters and in the Salt-Affected Soils  
in the Rumanian People's Republic**

*A. MAIANU and I. AKSENOVA*

Central Agronomical Research Institute, Bucharest

**Summary**

1. The increase of the content of carbonates and bicarbonates — differently from that of other ions — in the mineralized ground-waters and in saline and alkali soils is strongly limited. While the increase of other ions' amount is parallel with the increase of the total salt concentration, the accumulation of the ions' carbonates and bicarbonates takes place to a well-defined level of salinity and over that level the concentration of these ions is sharply decreasing.

2. The limits of the concentration of anions, carbonates and bicarbonates in waters and soils as well as the degree of mineralization at which their accumulation reaches the maximum value are different, depending on the natural zones.

3. In the mineralized ground-waters and salt-affected soils of the steppe-zone, anions and carbonates can be rarely found, the accumulation of this ion is typical in the ground-waters and soils of the forest-steppe and forest-belt.

4. The accumulation of alkali carbonates and bicarbonates in the soils depends not only on the natural zone but also on the mineralogical and geochemical properties of the parent material.

5. The accumulation of alkali carbonates and bicarbonates in mineralized ground-waters and in salt-affected soils differs depending on the climatic conditions (the intensity of evaporation, rainfall, etc.) and on the nature of parent material. Therefore the analytical determination of these anions and the fixation of correlations dealt with in this paper make it possible to select the soils according to natural zones and hydrological basins.