

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЧВ ПО СТЕПЕНИ ЗАСОЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ СЕВЕРА ПРИКАСПИЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ)\*

**Н.И. Сотнева**

Засоление почв может оцениваться по результатам химических анализов: 1) водных вытяжек (при соотношении почва : вода = 1 : 5); 2) почвенных растворов, выделяемых при влажности, соответствующей полевой влагоемкости, и 3) фильтратов (экстрактов) из водонасыщенных паст. В полученных указанными методами растворах определяют состав и количество ионов, характеризующих засоление почв. По данным химических анализов проводится группировка почв по химизму и степени засоления. При этом критерии оценок засоления почв по водным вытяжкам (1:5), почвенным растворам и фильтратам из водонасыщенных паст различаются, так как указанными методами из почвы извлекается различное количество солей (Воробьева, 1998).

Методы извлечения солей из почвы и их химический анализ – достаточно длительная и трудоемкая работа. При почвенно-солевых съемках, а также при изучении режимов и процессов засоления-рассоления для получения статистически достоверных данных о засолении почв требуется проведение большого количества анализов. В связи с этим для массового определения засоления почв целесообразно использовать экспресс-методы. К числу таких методов можно отнести сокращенные водные вытяжки, в которых определяются лишь отдельные ионы, оценка засоления почв по электропроводности и по активности ионов (Руководство по лабораторным методам, 1990).

Целью нашей работы является обоснование возможности оценки степени засоления почв на основе данных, полученных экспресс-методами для территории севера Прикаспийской низменности Заволжья.

Засоление нами оценивалось: 1 – по содержанию отдельных ионов в водных вытяжках (1:5); 2 – по активности ионов ( $a_{Na^+}$ ,  $a_{Cl^-}$ ), измеряемых в водных вытяжках, в почвенных пастах и фильтратах из почвенных паст; 3 – по электропроводности водных вытяжек (1:5) и фильтратов (экстрактов) из водонасыщенных паст и непосредственно почвенных паст. Для обоснования возможности группировки почв по степени засоления необходимо было на массовом материале установить корре-

---

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 04-04-48197), руководитель проекта – Е.И. Панкова.

ляционную связь суммы токсичных солей в водной вытяжке и перечисленных выше показателей.

Необходимость выполнения данной работы возникла в связи с тем, что к настоящему времени накоплено большое количество анализов, характеризующих засоление почв территории Джаныбекского стационара, находящегося в указанном регионе. При этом разные авторы использовали различные методы и показатели для характеристики засоления почв. Сведения о засолении, полученные методом водных вытяжек (сумма солей, плотный остаток, содержание основных ионов, запасы солей (в т/га или  $\text{кг/м}^2$ ), приведены в работах 50-70-х гг. А.А. Роде, А.Ф. Большакова, Г.И. Максимюк и др. Характеристика засоления по электропроводности и активностям ионов, измеряемых в водных вытяжках, содержится в работе И.И. Толпешты, Т.А. Соколовой, М.Л. Сиземской (2000). В течение последних лет (2001-2002 гг.) нами была проведена методическая работа по сопряженной оценке засоления почв по токсичным солям, по содержанию отдельных ионов в водной вытяжке 1:5; а также в фильтрате (экстракте) из водонасыщенных паст. Кроме того, засоление оценивалось по активностям ионов, измеряемых в почвенных пастах, фильтратах из водонасыщенных паст и в водных вытяжках. Аналитическая работа выполнялась нами в лаборатории Джаныбекского стационара под руководством М.Л. Сиземской, а в отделе генезиса и мелиорации засоленных почв Почвенного института им. В.В. Докучаева под руководством Н.Б. Хитрова. Таким образом, было собрано большое количество данных о засолении почв, полученных разными методами. Однако сопоставление этих данных для разработки единой группировки почв по степени засоления почв ранее проведено не было. Эту задачу мы и планируем решить в данной работе.

Объектом исследования являлись почвы солонцового комплекса территории Джаныбекского стационара, расположенного на севере Прикаспийской низменности в Заволжье. Анализируемые почвы характеризуются разной степенью засоления – от незасоленных (темноцветные) до очень сильно засоленных солончаковых солонцов. Подробная характеристика засоления почв этого региона приведена в работе А.А. Роде и М.Н. Польского (1961).

Анализируемые почвы характеризуются тяжелосуглинистым и глинистым гранулометрическим составом, сумма обменных оснований составляет около 30 ммоль(+)/100 г. В составе обменных оснований солонцов высокий процент занимает натрий, а в темноцветных незасоленных почвах – кальций и магний. По химизму засоления почвы относятся преимущественно к сульфатно-натриевому типу.

Засоление почв оценивалось в 192 образцах. Определялось засоление методом водной вытяжки (1:5) (Воробьева, 1998); анализировался со-

став и содержание ионов ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Ион  $\text{Na}^+$  определяли по разности, но контролировали на пламенном фотометре; содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  – объемным методом с хромобариевой солью в модификации Комаровского (Гедройц, 1955). Параллельно в водной вытяжке оценивали активности ионов  $\text{pNa}$  ( $=-\lg a_{\text{Na}^+}$ ),  $\text{pCl}$  ( $=-\lg a_{\text{Cl}^-}$ ) и удельную электропроводность (ЕС). Измерение ЕС проводили кондуктомером КП-0,01 рабочий диапазон которого составляет от 0,001 до 100 дСм/м.

Наряду с водной вытяжкой в тех же образцах анализировали фильтрат из водонасыщенной пасты, которую готовили согласно методике, изложенной в руководстве по лабораторным методам (1990) при влажности 40%. Получение паст контролировали с помощью балансирного конуса Васильева. В фильтрате из водонасыщенных паст измеряли активности ионов  $\text{pNa}$  ( $=-\lg a_{\text{Na}^+}$ ),  $\text{pCl}$  ( $=-\lg a_{\text{Cl}^-}$ ), удельную электропроводность и концентрацию ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . ЕС водных вытяжек и фильтратов приводили к общей температуре  $25^\circ\text{C}$  с помощью поправочных коэффициентов.

Непосредственно в пастах измеряли активности ионов ( $\text{pCl}$ ,  $\text{pNa}$ ) на иономере И-500. Измерение каждого показателя проводили в разных участках пасты в 2-3-кратной повторности при обязательном обмывании электрода после каждого измерения и тщательного перемешивания пасты. Полученные результаты анализов по содержанию отдельных ионов в водных вытяжках, фильтратах из паст и в пастах сопоставляли с суммой токсичных солей водных вытяжек, как основным показателем степени засоления почв.

Математическая обработка результатов анализа включала построение регрессионных уравнений с использованием стандартного пакета Excel. Значимость параметров регрессии оценивали с помощью критерия  $t$ -Стьюдента, достоверность уравнения регрессии – с помощью критерия  $F$ -Фишера.

**Обсуждение результатов исследования.** Было проанализировано 192 образца, в которых в водной вытяжке определялась сумма токсичных солей, параллельно засоление характеризовалось по показателям, полученным экспресс-методами.

В качестве эталонной группировки почв по степени засоления (с которой в дальнейшем проводилось сравнение) была принята классификация засоления по токсичным солям для почв сульфатного химизма засоления (табл.1) (Базилевич, Панкова, 1972), так как по нашим данным (Сотнева, 2002) в 90% случаев анализируемые почвы относятся к почвам преимущественно сульфатного засоления.

**Таблица 1.** Группировка почв по степени засоления (Базилевич, Панкова, 1972).

| Степень засоления почв  | Сумма токсичных солей, % |
|-------------------------|--------------------------|
| Незасоленные            | < 0,15                   |
| Слабозасоленные         | 0,15-0,3                 |
| Среднезасоленные        | 0,3-0,6                  |
| Сильнозасоленные        | 0,6-1,4 (1,0)*           |
| Очень сильно засоленные | > 1,4 (1,0)              |

В скобках указано значение для хлоридно-сульфатного типа засоления.

Принятая нами в качестве эталонной классификация почв по степени засоления сопоставлялась с региональной классификацией, предложенной Б.А. Зимовцом для почв солонцо вого комплекса севера Прикаспийской низменности (табл. 2).

Сопоставление уровней засоления по токсичным солям, принятых в обеих классификациях, показало их несомненное сходство. Группировка почв по степени засоления, предложенная Б.А. Зимовцом, опирается на экспериментальные материалы (Комарь, 1933; Зимовец, Кауричева, 1984 и др.), учитывающие уменьшение урожая пшеницы в изучаемом регионе в зависимости от степени засоления почв. При слабом засолении урожай снижается на 5-20%, при среднем – на 21-50%, при сильном – 51-80% и при очень сильном потери урожая составляют 80% (Зимовец, 1991).

Оценку почв по степени засоления предлагается проводить по токсичным солям, а не по общей сумме солей или плотному остатку водных вытяжек, так как эти показатели включают в себя наряду с токсичными солями, определяющими засоление почв, еще и гипс, частично переходящий в водную вытяжку (до 10-12 ммоль-экв/100 г –  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) и резко повышающий общую сумму солей. При этом гипс не определяет засоление почв, т.к. не является токсичным для растений. Расчет токсичных солей по данным анализа водной вытяжки проводился по методике Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой (1968).

Для оценки степени засоления почв по отдельным ионам ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) проводилось сопоставление содержания отдельных ионов с суммой токсичных солей (рис. 1). На основе регрессионного и корреляционного анализов сделан вывод, что содержание в водной вытяжке каждого из трех определяемых ионов является достаточно информативным показателем для оценки степени засоления почв. Однако наиболее точные результаты дает оценка степени засоления почв по содержанию  $\text{Na}^+$ ; менее точные – по  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  общему.

**Таблица 2.** Степень засоления тяжелосуглинистых солонцов и каштановых почв по содержанию токсичных солей в водных вытяжках (1:5) и почвенных растворах (при влажности 0,8 НВ) с учетом средних значений (M) и стандартного отклонения (S) (Зимовец, 1991). Сульфатный и хлоридно-сульфатный типы засоления

| Степень засоления            | n  | Водная вытяжка, Cl : SO <sub>4</sub> < 0,3-1 |      |  |      | Почвенный раствор, Cl : SO <sub>4</sub> < 0,5 |      |   |      |        |        |        |        |
|------------------------------|----|--|------|--|------|---|------|---|------|--------|--------|--------|--------|
|                              |    | сумма токсичных солей, %                     |      | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> моль-экв/100 г |      | сумма токсичных солей, %                      |      | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ммоль-экв/100 г |      |        |        |        |        |
|                              |    | M  | S    | M  | S    | M   | S    | M   | S    |        |        |        |        |
|                              |    |  |      |  |      |   |      |   |      |        |        |        |        |
| Незасоленные                 | 11 | 0,11   | 0,06 | 1,25   | 1,04 | 1,31  | 0,44 | 2,5   | 1,0  | 27,04  | 10,4   | 26,10  | 17,40  |
| Слабозасоленные              | 17 | 0,26   | 0,08 | 3,12   | 1,66 | 3,05  | 0,87 | 5,4   | 2,1  | 66,56  | 27,04  | 60,9   | 13,05  |
| Среднезасоленные             | 6  | 0,51   | 0,14 | 7,28   | 2,29 | 5,66  | 1,31 | 10,9  | 2,3  | 147,68 | 29,12  | 130,50 | 17,40  |
| Сильнозасоленные             | 4  | 0,81   | 0,18 | 11,02  | 2,50 | 9,57  | 2,18 | 21,7  | 3,9  | 249,60 | 68,64  | 274,05 | 69,60  |
| Очень сильнозасоленные       | 4  | 1,11   | 0,23 | 14,77  | 2,70 | 13,92   | 3,05 | 32,6  | 5,5  | 349,44 | 108,16 | 417,60 | 121,80 |
| Чрезвычайно сильнозасоленные | 11 | 1,84   | 0,28 | 22,05  |      |   |      | 77,7  | 14,8 | 929,76 | 174,72 | 900,45 | 160,95 |

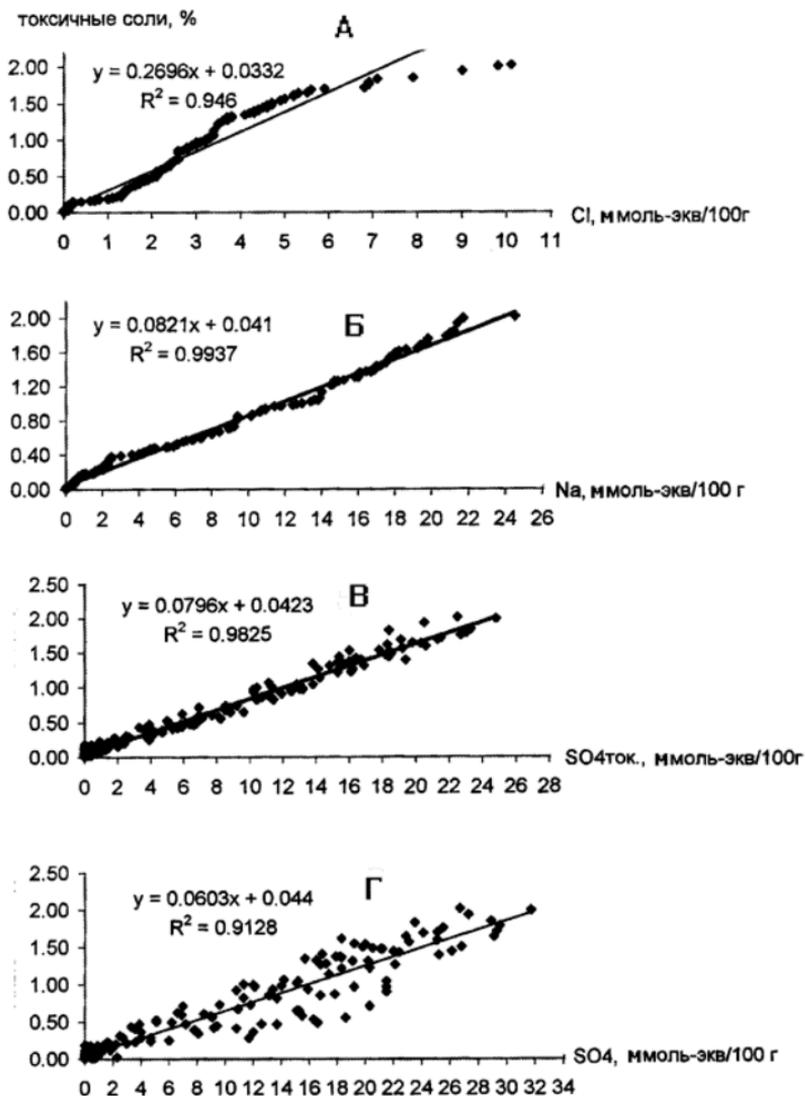
Это связано с тем фактом, что  $\text{Cl}^-$  в почвах сульфатного засоления не является определяющим. Содержание его может быть очень малым даже при высокой степени засоления, но при сульфатном составе солей. Значение содержания общего сульфат-иона включает в себя как ионы токсичных солей ( $\text{SO}_4^{2-}$  токсичный), так и  $\text{SO}_4^{2-}$  гипса, перешедшего в раствор при приготовлении водной вытяжки (1:5). Причем количество перешедшего в раствор гипса может сильно варьировать, поэтому корреляция между суммой токсичных солей и  $\text{SO}_4^{2-}$  общим относительно низкая. Более четкая связь проявляется между токсичными солями и содержанием  $\text{SO}_4^{2-}$  токсичных солей. Наличие связи между содержанием ионов (в первую очередь  $\text{Na}^+$ ) и суммой токсичных солей в водной вытяжке позволило оценивать степень засоления почв по натрию (табл. 3). Впервые оценка засоления почв по содержанию  $\text{Na}^+$  в сульфатно-засоленных почвах была предложена В.Ю. Маргулисом и В.С. Муратовой.

Коррелятивная связь между суммой токсичных солей и удельной электропроводностью, а также активностями ионов натрия и хлора, измеряемыми в водной вытяжке показана на рис. 2. Выявлены относительно тесные коррелятивные связи между суммой токсичных солей – ЕС и активностью  $\text{Na}^+$ .

По активности хлорид-иона оценка степени засоления невозможна ( $R^2 = 0,0855$ , уравнение регрессии при  $P=0,95$  оказалось не значимым). Это объясняется тем, как было уже сказано выше, что хлорид-ион не является определяющим в составе анионов для почв сульфатного химизма и по нему оценивать засоление данных почв невозможно.

Связь между токсичными солями и удельной электропроводностью водной вытяжки характеризуется высоким коэффициентом корреляции ( $R=0,92$ , при  $P=0,95$ ). В работе И.И. Толпешты с соавт. (2002) была выявлена связь между общей суммой солей и ЕС в почвах солонцового комплекса Джаныбекского стационара, при этом коэффициент корреляции ( $R=0,97$ ) оказался выше, чем у нас, что вполне объяснимо, так как удельная электропроводность ЕС, определяемая в водных вытяжках, зависит не только от токсичных солей, но и от гипса, перешедшего в вытяжку. Нами же устанавливалась связь между ЕС и суммой токсичных солей (рис. 2).

Рассмотрим наличие связи между токсичными солями и активностями ионов, измеренными непосредственно в почвенной пасте (рис. 3). Наиболее высокий коэффициент корреляции ( $R=0,99$  при  $P=0,95$ ) установлен между токсичными солями и активностью натрия. Для хлорид-иона  $R=0,83$  при  $P=0,95$ . На рис. 4 показана тесная связь между концентрацией ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  в водных вытяжках и их активностью, измеренной в пасте. Выявлена достаточно тесная связь между этими показателями.



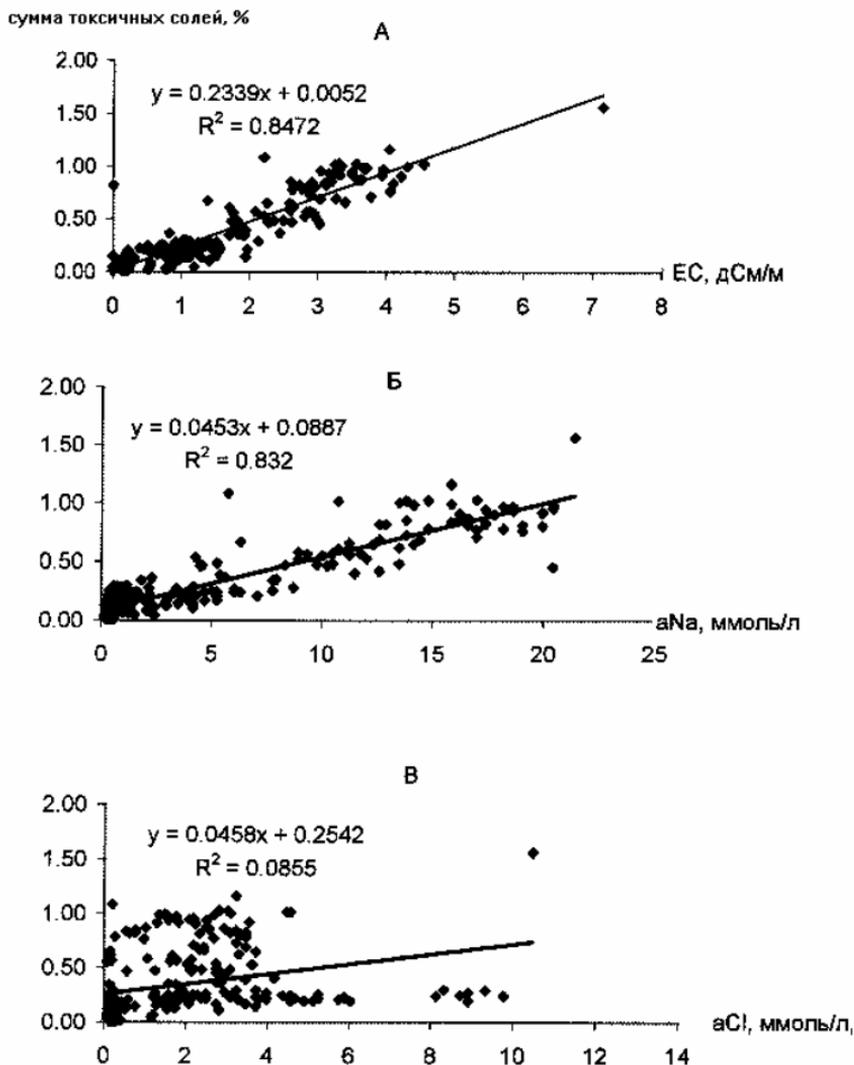
**Рис. 1.** Связь между суммой токсичных солей и содержанием отдельных ионов в водных вытяжках (ммоль-экв/100 г почвы): А – хлорид-ион; Б – натрий; В – сульфат-ион токсичный; Г – сульфат-ион общий.

**Таблица 3.** Группировка почв солонцового комплекса по степени засоления (в скобках указаны значения для хлоридно-сульфатного засоления)

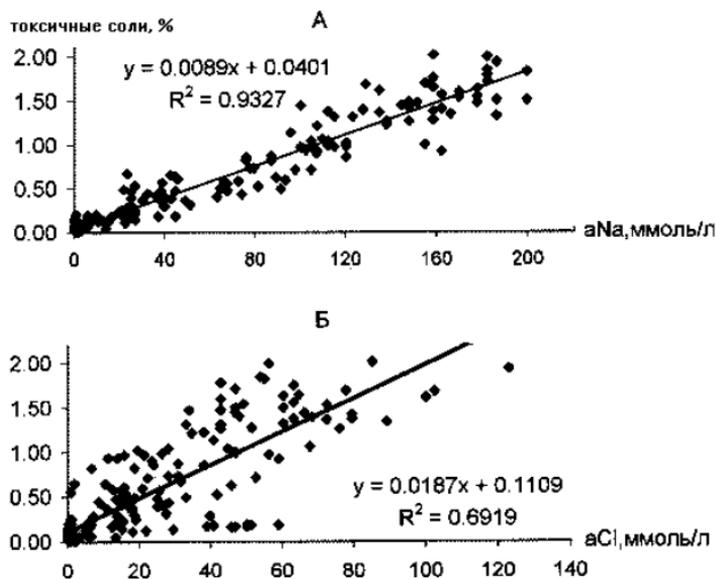
| Степень засоления почв | Сумма токсичных солей *, % | Водная вытяжка 1 : 5             |           |              | Почвенная паста при влажности 40% |              | Фильтрат из пасты при влажности 40% |              |           |
|------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------|--------------|-----------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|-----------|
|                        |                            | Na <sup>+</sup> , ммоль-экв/100г | ЕС, дСм/м | aNa, ммоль/л | aNa, ммоль/л                      | aCl, ммоль/л | aNa, ммоль/л                        | aCl, ммоль/л | ЕС, дСм/м |
| Незасоленные           | <0,15                      | <1,5                             | <0,6      | <1,5         | <12                               | <2           | 0                                   | 0            | 0,05      |
| Слабозасоленные        | 0,15-0,3                   | 1,5-3                            | 0,6-1,3   | 1,5-5        | 12-30                             | 2-10         | <16                                 | <10          | 0,05-3    |
| Среднезасоленные       | 0,3-0,6                    | 3-7                              | 1,3-2,5   | 5-11         | 30-60                             | 10-25        | 16-5                                | 10-30        | 3-9       |
| Сильнозасоленные       | 0,61-1,4 (1)*              | 7-17(12)                         | 2,5-6(4)  | 11-30(20)    | 60-150(108)                       | 25-70 (48)   | 55-160 (107)                        | 30-90 (60)   | 9-26 (18) |
| Очень сильнозасоленные | > 1,4 (1)                  | >17 (12)                         | >6 (4)    | >30 (20)     | >150 (108)                        | >70 (48)     | >160 (107)                          | >90 (60)     | >26 (18)  |

\* По Базелевич и Панковой, 1972 г.

Таким образом, между суммой токсичных солей в водной вытяжке и активностью натрия ( $aNa^+$ ), измеренной в почвенной пасте, существует тесная связь, что позволяет оценивать степень засоления сульфатно-натриевых почв по активности натрия ( $aNa^+$ ) почвенной пасты с высокой степенью надежности.



**Рис. 2.** Корреляция между суммой токсичных солей, удельной электропроводностью (ЕС) (А), активностью натрия (Б) и активностью хлорид-иона (В), оцененных в водной вытяжке.  $n = 215$



**Рис. 3.** Корреляция между суммой токсичных солей, удельной электропроводностью (ЕС) (А), активностью натрия (Б) и активностью хлора (В), определенных в водной вытяжке.

В заключение рассмотрим корреляционные зависимости между данными о засолении почв, полученными при анализе фильтратов из водонасыщенных паст, и измеренными непосредственно в пастах. Для характеристики этих связей мы располагали небольшой выборкой образцов ( $n=11$ ), однако считаем целесообразным привести в статье эти материалы, так как они в дальнейшем позволят хотя бы приблизительно установить переход между оценкой степени за засоления почв по водным вытяжкам (1:5) и по фильтратам из водонасыщенных паст, широко используемой для анализа засоленных почв за рубежом (Richards, 1954). Найденная зависимость между ЕС водонасыщенной пасты и активностями ионов в пасте (рис. 5) позволила установить высокие коэффициенты корреляции ( $R=0,99$ , при  $P = 0,95$ ) и оценивать степень засоления почв по фильтрату из пасты и по активностям ионов хлора и натрия в пасте, что позволило нам установить зависимость.

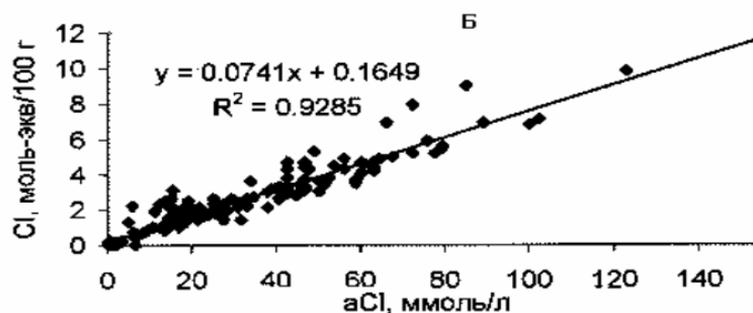
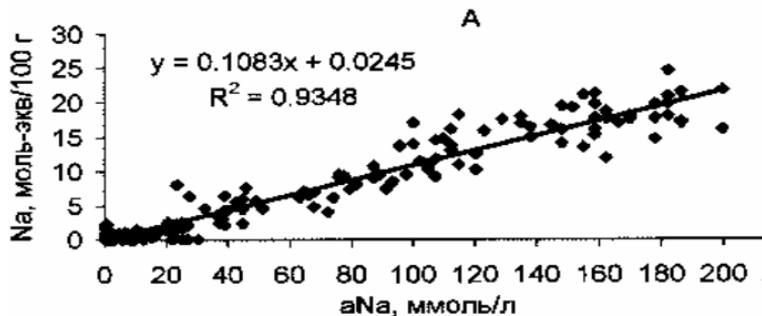


Рис. 4. Корреляция между содержанием ионов в водной вытяжке и активностью ионов в пасте: А – аNa, Б – аCl. n = 192.

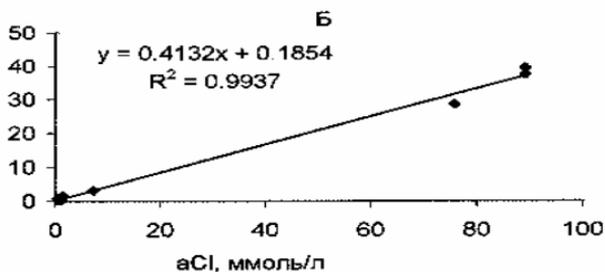
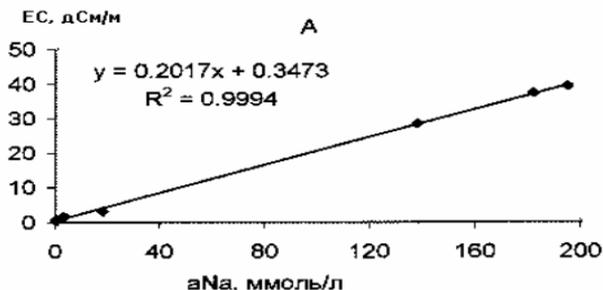
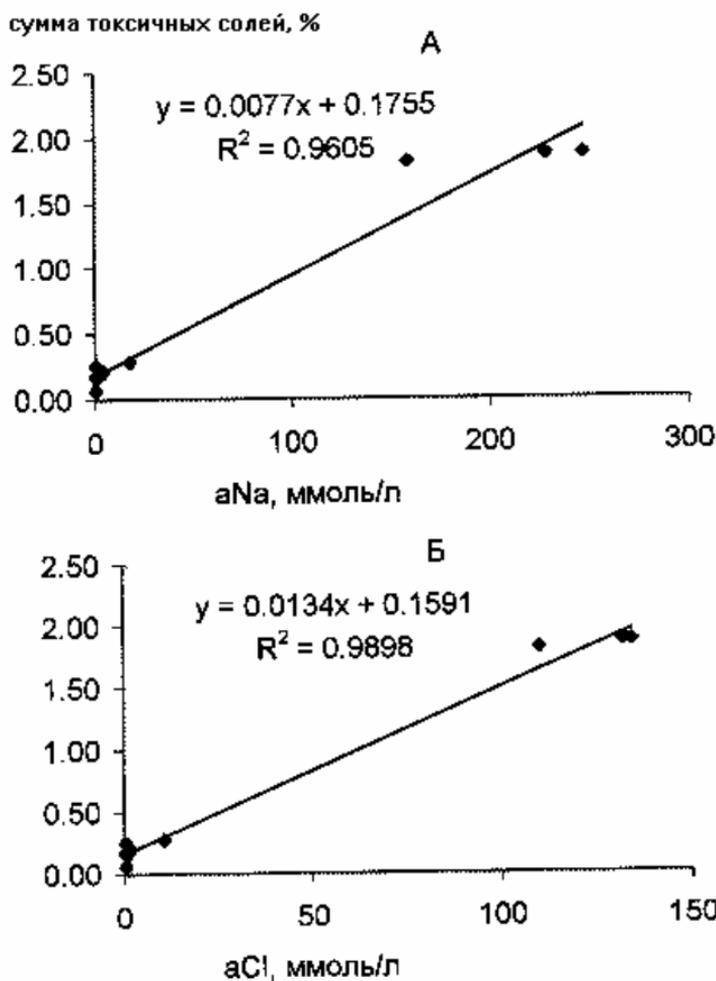
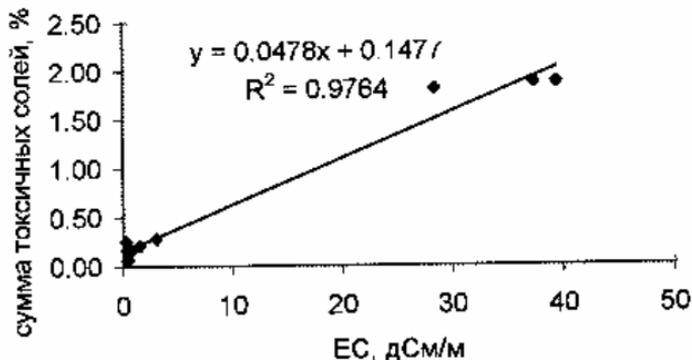


Рис. 5. Корреляция между активностью ионов натрия (А) и хлорид-иона (Б) в пасте и электропроводностью фильтратов из паст.

В итоге проведенных исследований нами с разной степенью надежности были установлены критерии оценки степени засоления почв солонцовых комплексов севера Прикаспийской низменности Заволжья по различным показателям, полученным экспресс-методами, в частности по содержанию иона  $\text{Na}^+$  в водных вытяжках и активностью натрия ( $a\text{Na}^+$ ) в водонасыщенных пастах.



**Рис. 6.** Корреляция между суммой токсичных солей в водных вытяжках и активностями ионов натрия (А) и хлорид-иона (Б) в фильтрах из паст.  $n = 11$ .



**Рис. 7.** Корреляция между суммой токсичных солей в водных вытяжках и удельной электропроводностью (ЕС) в фильтратах из паст.  $n = 11$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. №11. С.3-16.
- Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюл. Почв. Ин-та им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С.36-40.
- Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 271с.
- Гедройц К.К.* Избр. Соч. М.: Сельхозгиз, 1955. Т. 2. 615 с.
- Зимовец Б.А.* Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1991. 248 с.
- Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1990. 236 с.
- Роде А.А., Польский М.Н.* Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1961. Т.56. С.3-214.
- Сотнева Н.И.* Оценка засоления почв солонцового комплекса по токсичным солям // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. Вып.56, 2002. С.14-21.
- Толпешина И.И., Соколова Т.А., Сиземская М.Л.* Активности ионов и электропроводность водной вытяжки целинных и мелиорированных почв Джаныбекского стационара // Почвоведение. 2000. №11. С. 1365-1376.
- Richards L.* Diagnosis and improvement of saline and alkali soils // Handbook. 1954. №60. 160 p.