

УДК 631.416.8

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА КАПИЛЛЯРНОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА ПРИ АНАЛИЗЕ ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК ИЗ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ**

**© 2016 г. Г. И. Черноусенко, Т. И. Борисочкина,  
Н. С. Никитина**

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
Россия, 119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2  
e-mail: [chergi@mail.ru](mailto:chergi@mail.ru)*

Проведен сравнительный анализ результатов определения содержания анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) и катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) в образцах засоленных почв классическими методами титрования и атомно-абсорбционным методом (определение  $\text{Na}^+$  на анализаторе “Квант-2АТ”) с методом капиллярного электрофореза на приборе “Капель-105”. Анализ показал границы использования этих методов, а также возможность пересчета результатов определения методом капиллярного электрофореза в данные, которые могли бы быть получены титриметрическим или атомно-абсорбционным методами. Установлено, что слабее коррелируют результаты анализов по анионам, особенно хлоридам, лучше – по катионам. Наибольшие различия наблюдаются в области очень низких (незасоленных по токсичным солям значений) или, наоборот, в области очень высоких значений засоления почв. По содержанию натрия различия значимы во всем диапазоне определений, что однозначно требует пересчета при сопоставлении данных, полученных разными методами. При слабом, среднем и сильном (но не очень сильном) засолении рассматриваемые методы дают сопоставимые результаты (разница в пределах 10–20%). Установлены функциональные зависимости между значениями, полученными разными методами, которые чаще имеют линейную или полиномиальную связь. Использование предлагаемых уравнений пересчета дает возможность сопоставления результатов, полученных традиционными классическими методами (титриметрическим и атомно-абсорбционным), с результатами капиллярного электрофореза.

*Ключевые слова:* засоленные почвы, водная вытяжка, метод капиллярного электрофореза, методы титрования, атомно-абсорбционный анализ.

**DOI:** 10.19047/0136-1694-2016-85-77-96

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в практику химического анализа почв активно внедряются инструментальные методы, для которых характерна экспрессность и меньшая трудоемкость по сравнению со старыми классическими химическими методами, что делает, инструментальные методы более конкурентоспособными в современной повседневной практике анализа почв.

Традиционно анализ водной вытяжки из засоленных почв проводился титриметрическими методами ([Аринушкина, 1970](#); [Теория и практика..., 2006](#)) с использованием для определения содержания калия и натрия пламенного фотометра или атомно-абсорбционного анализатора в режиме эмиссии. В последнее время в почвоведении, агрохимических и экологических исследованиях в практику анализа вод и водных вытяжек из почв активно внедряется метод капиллярного электрофореза (КЭ).

В настоящее время накоплен большой фактический материал, полученный с использованием старых классических методов. При исследовании временной динамики почвенных процессов или составлении банка данных возникает закономерный вопрос: насколько могут быть сопоставимы материалы, выполненные разными методами анализа (старыми традиционными и новыми инструментальными).

Цель работы – оценить возможности использования метода капиллярного электрофореза при анализе водных вытяжек из засоленных почв для продолжения исследований, начатых традиционными титриметрическими методами.

В соответствии с поставленной целью в задачи проводимой работы входило:

1) проведение сравнительного анализа результатов определения в водных вытяжках анионов и катионов, выполненных традиционными титриметрическими методами и на атомно-абсорбционном анализаторе “Квант-2АТ” (при определении  $K^+$  и  $Na^+$  в режиме эмиссии), с определением содержания анионов и катионов в этих же вытяжках из почв разной степени засоления методом капиллярного электрофореза на приборе “Капель-105”;

2) оценить пригодность использования прибора “Капель-105” для оценки засоления.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследовали как засоленные, так и незасоленные образцы солонцеватых почв юга Красноярского края, Хакасии и Омской области. Исследовано 75 образцов почв. В выборку вошли луговые солончаковые почвы, солонцы, солончаки луговые, чернозем солончаковатый солонцеватый и каштановая солонцеватая слабосолончаковатая почва.

Титриметрическим методом в водных вытяжках определяли содержание анионов:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ([Аринушкина, 1962](#); [Теория и практика ..., 2006](#))

Определение содержания хлорид-ионов проводили аргентометрическим методом по Мору.

Определение содержания сульфат-ионов вели по методу Айдиняна.

Определение содержания катионов кальция и магния проводили комплексонометрическим методом при титровании трилоном Б в присутствии хромогена черного, а также на атомно-абсорбционном анализаторе “Квант-2АТ” в режиме абсорбции.

Содержания калия и натрия определяли на атомно-абсорбционном спектрометре “Квант-2АТ” в режиме эмиссии.

Параллельно с традиционными методами для анализа водных вытяжек использовали метод капиллярного электрофореза, в основе которого лежат электрокинетические явления (электромиграция ионов и электроосмос), возникающие в растворах при помещении их в электрическое поле. Метод основан на разделении компонентов анализируемого раствора в кварцевом капилляре под действием электрического поля. После подачи к концам капилляра высокого напряжения компоненты смеси начинают двигаться по капилляру с разной скоростью и в разное время достигают зоны детектирования. Полученная при детектировании последовательность пиков называется электрофореграммой, при этом площадь пика пропорциональна концентрации анализируемого иона. Достоинствами капиллярного электрофореза является его экспрессность, малый расход реактивов, возможность проведения анализа при малом объеме пробы ([Engelhardt et al., 1994](#); [Kuhn, Hofstetter-Kuhn, 1993](#); [Landers, 1994](#); [Комарова, Каменцев, 2006](#)). Необходимо отметить, что метод дает возможность определения содержа-

ния катионов и анионов, которые обычно не учитываются классическими методами анализа засоленных почв. Однако во многих случаях это крайне незначительные количества, которыми при оценке засоления можно пренебречь.

Определения проводили методом капиллярного электрофореза на приборе “Капель-105”. Результаты обрабатывали с помощью программного обеспечения “Мультихром” для Windows.

На системе капиллярного электрофореза “Капель-105” определяли содержания следующих компонентов:

- катионов:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$
- анионов:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$

Определение содержания ионов  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  на “Капель-105” происходит в автоматическом режиме, для сравнительного анализа в данной работе эти результаты не использовали, так как перечисленные показатели традиционными методами в водных вытяжках обычно не определяются, если это не оговаривается специально. Однако эти показатели анализировались нами с точки зрения химизма засоления.

Определения вели в соответствии с методиками измерения [ПНД Ф 14.1:2:4.157-99](#) и [ПНД Ф 16.1:2:4.167-2000](#).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованные почвы по профилю имеют разную степень засоления (от незасоленных до очень сильно засоленных) и различный химизм – преимущественно сульфатный, содовый, хлоридный и смешанный.

Сравнение результатов определения содержания катионов и анионов проводили для образцов почв разной степени засоления по тому или иному компоненту (хлоридам, сульфатам, натрию, кальцию, магнию). Проанализируем результаты определения различными методами анионов и катионов в водных вытяжках исследуемых почв.

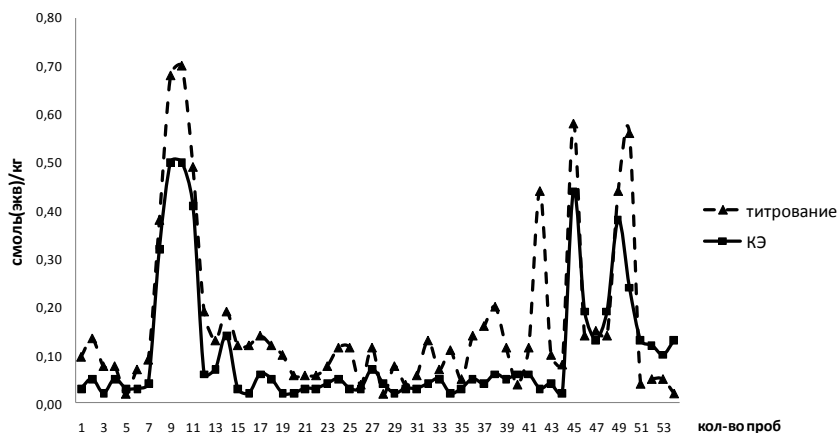
**Анионы. Хлориды.** Для образцов почв, в которых содержание хлоридов не превышает порог токсичности, в подавляющем большинстве образцов (выборка 54 пробы) результаты определения методом капиллярного электрофореза значительно ниже результатов (в среднем на 40–60%), полученных при титровании (рис. 1), лишь в 9-и образцах наблюдалось превышение данных,

полученных методом КЭ, по сравнению с данными титрования. Несмотря на то, что данные хорошо коррелируют между собой, коэффициент корреляции  $R = 0.87$ , вывести зависимость для пересчета одних результатов в другие при низких значениях хлоридов ( $<1$  смоль(экв)/кг) не удается.

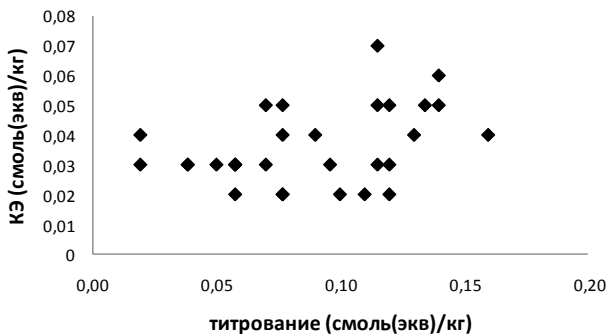
Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) не превышает 0.18. При значениях ниже 0.2 смоль(экв)/кг (в холостых определениях содержание хлоридов до 0.05 смоль(экв)/кг),  $R = 0.37$ , т.е. зависимости нет (рис. 2), и оба метода, особенно капиллярного электрофореза, в данных концентрациях мало информативны и практически неприменимы.

При анализе засоленных почв (в выборке участвовали 18 образцов почв с содержанием хлоридов 1.0–9.0 смоль(экв)/кг), результаты анализа с применением капиллярного электрофореза давали либо аналогичные результаты, либо превышающие данные титрования (рис. 3).

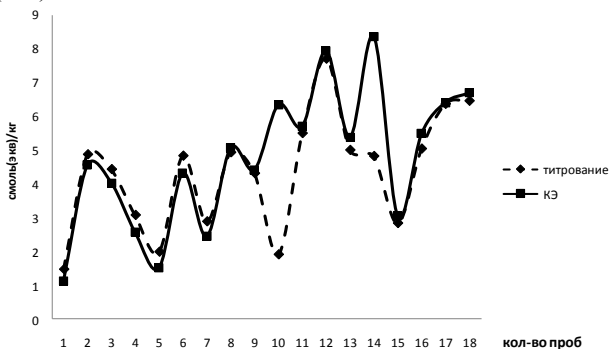
Коэффициент корреляции ( $R$ ) составил для данного диапазона значений 0.75, лучше эту зависимость аппроксимирует линейная или степенная функция (рис. 4).



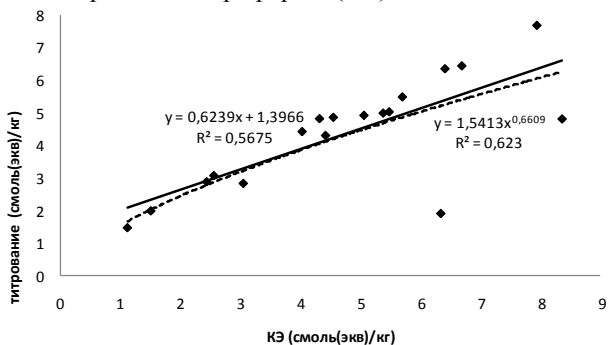
**Рис. 1.** Сравнительное определение содержания хлоридов титрованием и методом капиллярного электрофореза.



**Рис. 2.** Зависимость содержания хлоридов, полученная методами титрования и капиллярного электрофореза (КЭ), при их концентрации ниже 0.2 смоль(эquiv)/кг.



**Рис. 3.** Сравнительное определение содержания хлоридов титрованием и методом капиллярного электрофореза (КЭ).



**Рис. 4.** Зависимость содержания хлоридов, полученная методами титрования и капиллярного электрофореза (КЭ).

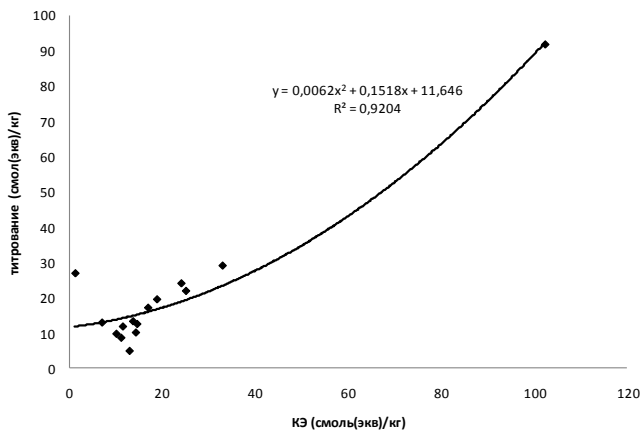
Таким образом, используя уравнение пересчета:  $y = 0.6239x + 1.3966$  с достоверностью аппроксимации или коэффициентом детерминации  $R^2 = 0.57$ , или степенную функцию  $y = 1.5413 x^{0.6609}$ ,  $R^2 = 0.62$  из данных, полученных методом капиллярного электрофореза ( $x$ ), можно рассчитать результаты, которые могли бы быть получены титриметрическим методом ( $y$ ).

Хорошая корреляция с коэффициентом детерминации 0.92 наблюдается при концентрациях хлоридов выше 5 смоль(экв)/кг (рис. 5). Подобная полиномиальная зависимость имеет вид  $y = 0.0062x^2 + 0.1518x + 11.646$  и позволяет пересчитать данные, полученные методом капиллярного электрофореза, в результаты, полученные методом титрования. Использование уравнений пересчета дает возможность сопоставления результатов, полученных классическими методами (титрованием) и КЭ.

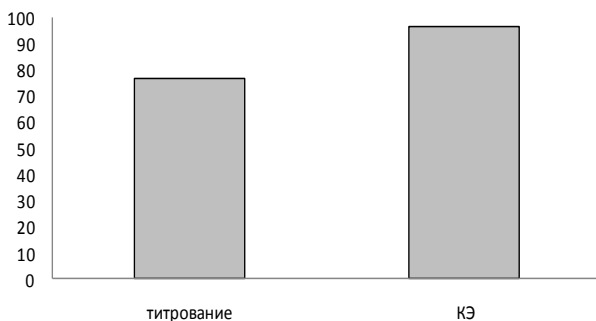
При очень высоких концентрациях хлоридов данные, полученные методом капиллярного электрофореза, значительно выше результатов, полученных титриметрическим методом (рис. 6). Следует отметить, что подобная разница больше важна с методической точки зрения. Для оценки степени засоления это не столь важно, так как оба значения характеризуют очень сильную степень засоления.

*Сульфаты.* Все результаты определения содержания сульфатов выше, чем в контрольных (холостых) пробах. Сульфаты являются менее токсичными ионами по сравнению с хлоридами или карбонатами натрия, поэтому их порог токсичности выше. Для проведения сравнительного анализа в незасоленных по токсичным сульфатам почвах взяты образцы с содержанием сульфатов до 2 смоль(экв)/кг. Как и при определении хлоридов, в этом диапазоне значений результаты, полученные титриметрическим методом, ниже, чем при титровании. Зависимости хорошо коррелируют ( $R = 0.86$ ), из 42 точек выборки лишь одна лежит далеко за ее пределами (рис. 7).

Используя линейное уравнение  $y = 1.1884x + 0.1057$ , имеющее коэффициент корреляции  $R = 0.86$ , а детерминации или достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) 0.73, или степенную функцию  $y = 1.4797x^{0.9887}$ ,  $R^2 = 0.79$ , можно пересчитывать данные, полученные методом КЭ, в результаты, полученные методом титрования в диапазоне содержания сульфатов до 2 смоль(экв)/кг (рис. 8).



**Рис. 5.** Зависимость содержания хлоридов, полученная методами титрования и капиллярного электрофореза.



**Рис. 6.** Содержание хлоридов (смоль(эquiv)/кг) в корке солончака гидроморфного (впадина оз. Эйбейты, Омская область).

Для засоленных по токсичным сульфатам образцов почв данные, полученные методом капиллярного электрофореза, лучше коррелируют с результатами титрования, коэффициент корреляции  $R$  очень высокий 0.92.

Используя уравнение  $y = 0.9872x + 0.7866$ ,  $R^2 = 0.84$  или полиномиальную функцию  $y = 0.0202x^2 + 0.4688x + 2.6392$ ,  $R^2 = 0.86$ , можно пересчитать данные, полученные методом КЭ, в возможные результаты, получаемые при титровании (рис. 9). Тем не менее, картина неоднозначна (рис. 10). Из 29-и проанализированных образцов в 20-и содержание сульфатов было примерно одина-



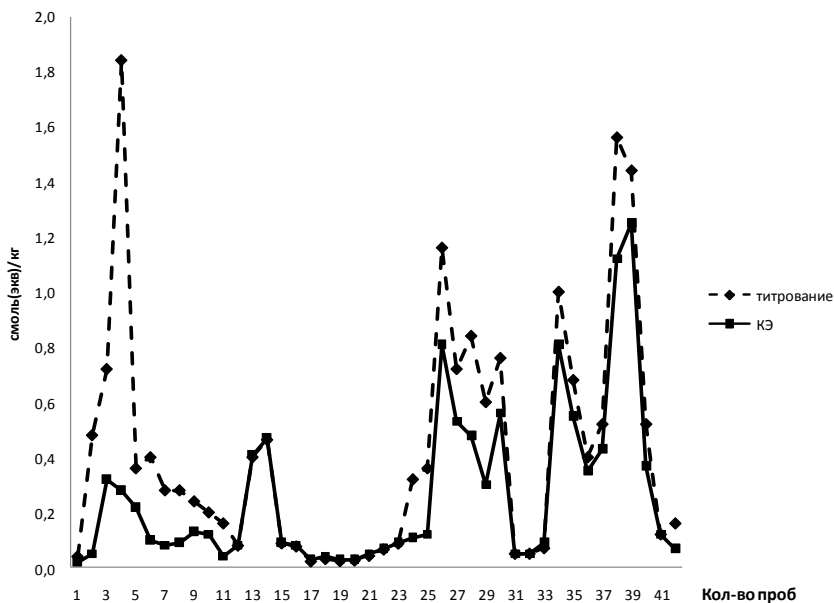


Рис. 7. Сравнительное определение содержания сульфатов методами титрования и капиллярного электрофореза.

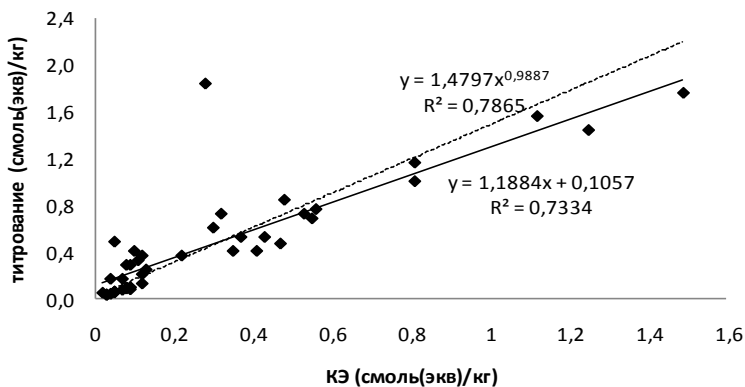
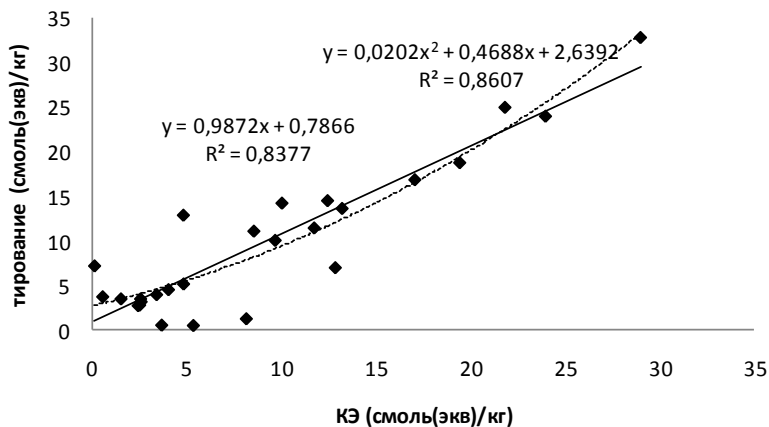
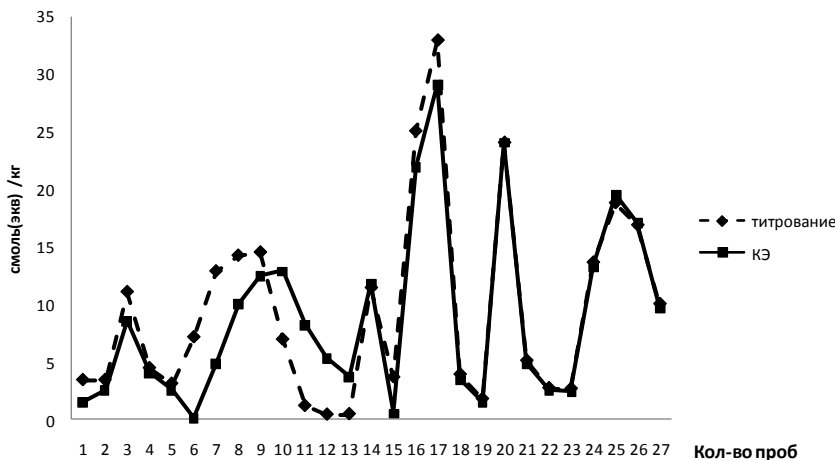


Рис. 8. Зависимость результатов определения содержания сульфатов методом титрования и методом капиллярного электрофореза.

ково или чуть ниже при определении методом КЭ, в четырех существенно ниже, в двух чуть выше, и еще в трех определениях метод КЭ дал значительно более высокие результаты.

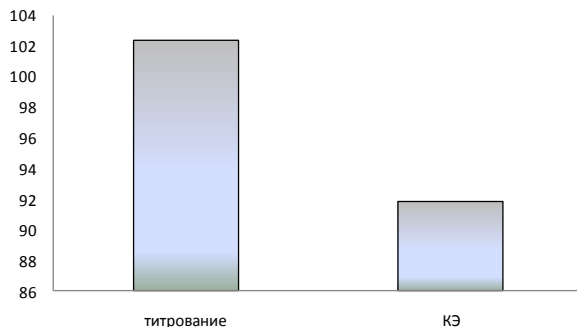


**Рис. 9.** Зависимость результатов определения содержания сульфатов методами титрования и капиллярного электрофореза (КЭ) для засоленных по токсичным сульфатам почв.

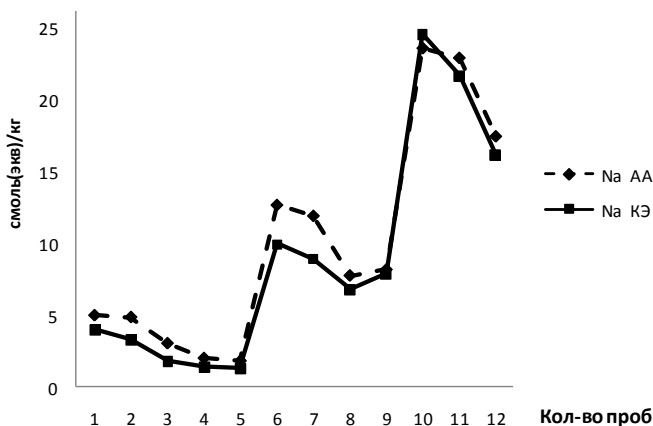


**Рис 10.** Сравнительное определение содержания сульфатов титрованием и методом капиллярного электрофореза (КЭ).

Для сильнозасоленной корки солончака определение на приборе “Капель-105” дало более низкий (на 10 смоль(экв)/кг) результат содержания сульфатов, чем при титровании (рис. 11).



**Рис. 11.** Содержание сульфатов (смоль(экв)/кг) в корке солончака гидро-морфного (впадина оз. Эйбейты, Омская область).



**Рис. 12.** Сравнительное определение содержания натрия атомно-абсорбционным методом и методом капиллярного электрофореза.

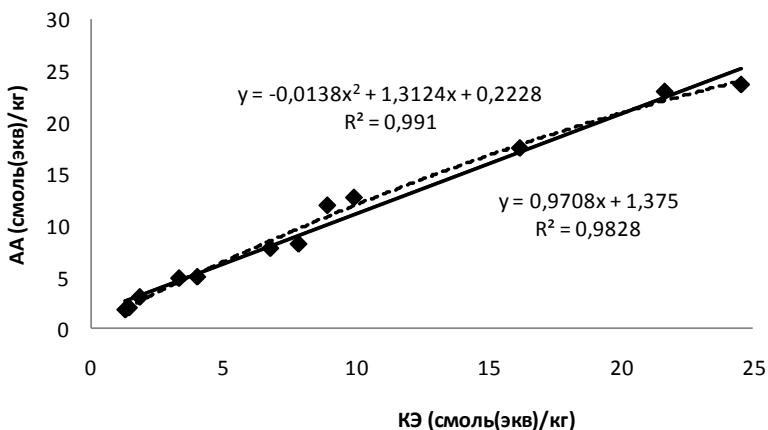
**Катионы. Натрий.** Определение содержания натрия во всех проанализированных образцах засоленных почв Омской области на атомно-абсорбционном спектрометре “Квант-2АТ” дало более высокие результаты (рис. 12), чем при определении методом капиллярного электрофореза. В выборке использованы образцы засоленных почв со степенью засоления от слабой до очень сильной (солончаков). Коэффициент корреляции очень высокий – 0.99.

Результаты, полученные разными методами, хорошо аппроксимируются рядом функций: линейной  $y = 0.9708x + 1.375$ ,  $R^2 = 0.98$  или полиномиальной  $y = -0.0138x^2 + 1.3124x + 0.2228$ ,

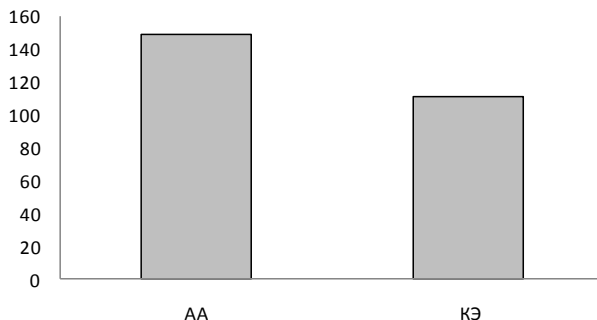
$R^2 = 0.99$ , по которым можно пересчитать данные, полученные методом КЭ, в результаты атомно-абсорбционного спектрометра (рис. 13).

При увеличении степени засоления разница в результатах определения содержания натрия значительно возрастает. Так, в водной вытяжке корки солончака Омской области (разр. 60-09) результаты, полученные на спектрометре “Квант-2АТ” в режиме эмиссии, дали значения содержания натрия почти в 1.5 раза выше, чем методом капиллярного электрофореза – 149 и 111 смоль(экв)/кг соответственно (рис. 14). Подобные различия с точки зрения оценки степени засоления не столь важны, так как оба результата попадают в градацию, характерную для почв с очень сильной степенью засоления, однако они важны для оценки возможностей методов.

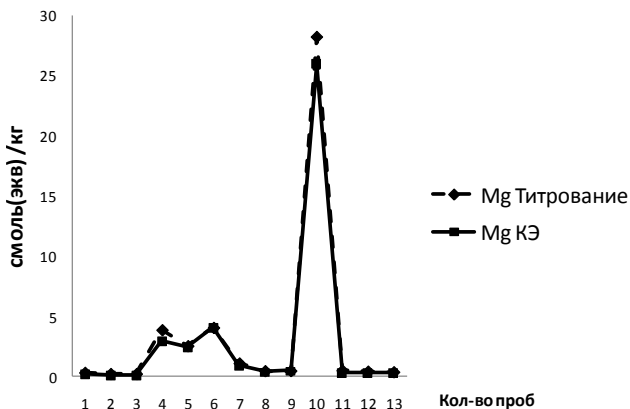
*Магний.* Сравнительное определение содержания магния проводили на образцах засоленных почв Омской области. Однако выборка была небольшая – 13 образцов разной степени засоления. Корреляция между данными, полученными на “Капели” и выполненных титриметрическим методом, очень высока (рис. 15).



**Рис. 13.** Зависимость результатов определения содержания натрия, полученных атомно-абсорбционным методом (АА) и методом капиллярного электрофореза (КЭ).



**Рис. 14.** Содержание содержания натрия (смоль(экв)/кг) в корке солончака гидроморфного (впадина оз. Эйбейты, Омская область), выполненных атомно-абсорбционным методом (АА) и методом капиллярного электрофореза (КЭ).



**Рис. 15.** Сравнительное определение содержания магния титриметрическим методом и методом капиллярного электрофореза.

Зависимость прямолинейная  $y = 1.0828x + 0.057$  с коэффициентом достоверной аппроксимации или детерминации 0.999 (рис. 16). Анализ полученных данных определения содержания магния рассматриваемыми методами свидетельствует о равноценности обоих методов определения. Однако, так как выборка небольшая, необходимо проведение дополнительных более масштабных исследований, особенно для образцов сильнозасоленных по содержанию магния почв. Такие исследования необходимы, так

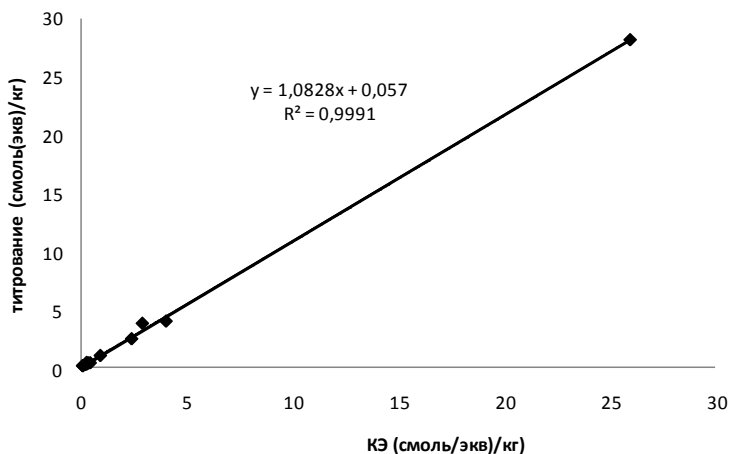
как полученные ранее данные по природным водам дали результаты со слабой корреляцией значений ([Борисочкина и др., 2015](#)).

*Кальций.* Для сравнительного определения кальция использованы те же 13 образцов, что и при определении других катионов. Корреляция между данными, полученными методом КЭ, и данными, полученными титрованием, очень высокая – 0.99. Титриметрическое определение кальция дало более высокие результаты, чем при определении методом капиллярного электрофореза (рис. 17).

Зависимость прямолинейная  $y = 1.2157x + 0.079$ , с коэффициентом достоверной аппроксимации 0.98 и коэффициентом корреляции 0.99 (рис. 18). Используя это уравнение, можно пересчитывать данные, полученные на приборе “Капель-105”, в возможные результаты, получаемые титриметрически.

Одним из значительных преимуществ использования метода капиллярного электрофореза является возможность одновременного определения содержания различных анионов и катионов.

Анализ состава водной вытяжки разр. 3О-09 (таблица) показал, что количество анионов и катионов, традиционно неопределяемых титриметрическими методами ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), бывает сопоставимо или даже значительно выше количества катионов и анионов,



**Рис. 16.** Зависимость результатов определения содержания магния, выполненных методами титрования и капиллярного электрофореза.

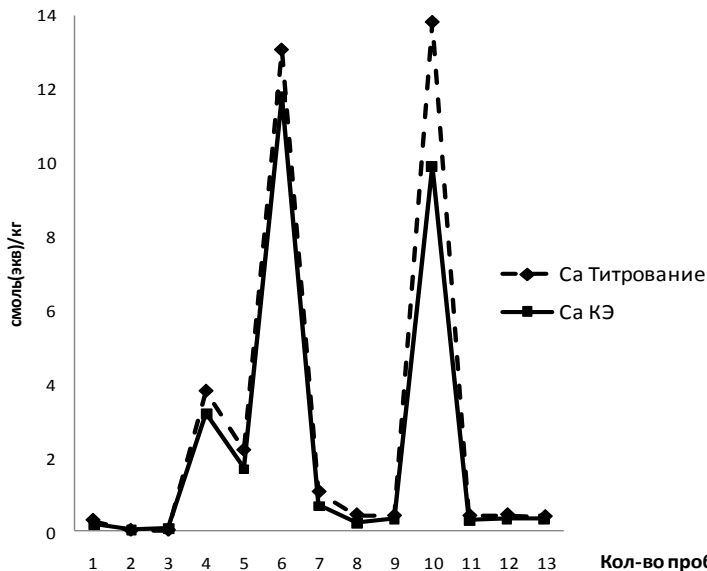


Рис. 17. Сравнительное определение содержания кальция титриметрическим методом и методом капиллярного электрофореза.

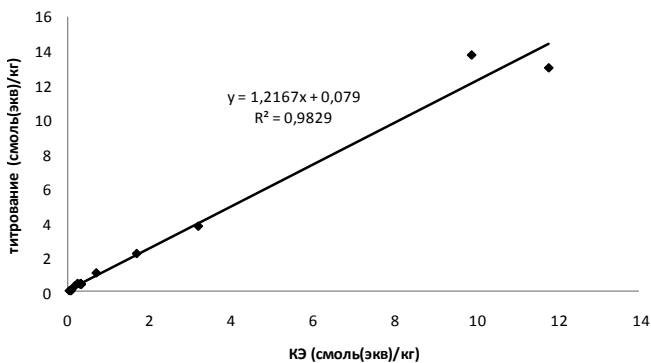


Рис. 18. Зависимость между результатами определения содержания кальция методами титрования и капиллярного электрофореза.

Анализ состава водной вытяжки мелкого солонца (Омская область)														
№ разреза	Глубина взятия образца, см	Сумма токсичных солей, %	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Общая щелочность, НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Метод капиллярного электрофореза на приборе "Капель-105"														
30-09	0-17	0.11	Не опр.	0.38	0.43	1.18	0.05	0.06	0.21	1.01	0.67	0	0.06	
	17-33	0.28	»	0.24	1.12	0.05	0.10	0.10	0.17	0.19	3.97	0	0.16	
	33-52	0.22	»	0.13	1.25	2.40	0	0.26	0.04	0.06	3.28	0	0.13	
	52-85	0.12	»	0.12	0.37	0.99	0	0.23	0.08	0.07	1.79	0	0.13	
	85-123	0.09	»	0.10	0.12	1.67	0	0.15	0.04	0.10	1.23	0	0.11	
123-140	0.07	»	0.13	0.07	0.95	0.12	0	0.03	0.08	0.98	0	0.02		
Метод титрования														
30-09	0-17	0.18	0.24	2.00	0.44	0.52	Не опр.	0.40	1.25	1.41	0.05	Не опр.		
	17-33	0.35	0.64	3.72	0.56	1.56	»	0.3	0.25	4.94	0.03	»		
	33-52	0.33	0.08	4.23	0.04	1.44	»	0.03	0.15	4.81	0.01	»		
	52-85	0.21	0.12	2.56	0.05	0.52	»	0.03	0.15	2.98	0.01	»		
	85-123	0.16	0.08	2.19	0.05	0.12	»	0.03	0.18	2.23	0.02	»		
123-140	0.14	Нет	1.75	0.02	0.16	»	0.03	0.03	0.13	1.91	0.01	»		



определяемых при титровании. Так, содержание фосфат- и фторид-ионов оказалось сопоставимо с содержанием карбонатов и даже выше, чем содержание хлоридов и сульфатов. Это объясняется широким использованием данных территорий в полевых опытах (опытное поле Омского аграрного университета), применением здесь удобрений и, возможно, использованием фосфогипса в качестве мелиоранта солонцов. Содержание аммония оказалось выше концентрации калия, кальция и сопоставимо с содержанием магния.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение метода капиллярного электрофореза в почвоведении перспективно и в целом возможно для использования при оценке засоления почв. Но зависимости между результатами, полученными разными методами, не однозначны, чаще метод капиллярного электрофореза дает более низкие значения. Наиболее значительные различия при определении разными методами наблюдаются при низких или, наоборот, при очень высоких значениях засоления. При малых концентрациях хлоридов и сульфатов результаты, полученные методом капиллярного электрофореза, значительно меньше значений (на 60–70%), полученных титрованием. Однако в этих диапазонах концентрации почва считается незасоленной, поэтому для оценки засоления эти различия не столь важны и необходимость решения этой проблемы носит скорее методический характер. При слабом, среднем и сильном (но не очень сильном) засолении рассматриваемые методы дают в основном сопоставимые результаты (разница в пределах 10–20%).

При наличии хлоридного засоления 1–100 смоль(экв)/кг и выше метод капиллярного электрофореза дает более высокие (на 10–20%) значения, чем титриметрический метод, причем разница увеличивается при высокой концентрации. При содержании хлоридов от 1.0 до 9.0 смоль(экв)/кг однозначной зависимости при определении методом титрования и методом капиллярного электрофореза не наблюдалось. Достоверность аппроксимации с линейной зависимостью составила 0.57, со степенной  $y = 1.5413 \times x^{0.6609}$  несколько большее  $-R^2 = 0.62$ . Более четкая зависимость наблюдается при концентрации хлоридов выше 5.0 смоль(экв)/кг. В этом диапазоне в подавляющем большинстве случаев “Капель-

105” дает результаты выше, чем титрование и описывается полиномиальной функцией  $y = 0.0062x^2 + 0.1518x + 11.646$  с коэффициентом достоверной аппроксимации или детерминации 0.92.

Для сульфатов зависимость обратная, в диапазоне 2–100 смоль(экв)/кг результаты определения разными методами похожи, разница в определении не выше 10%, при этом титрование дает более высокие значения сульфатов, чем метод капиллярного электрофореза. Используя линейное уравнение  $y = 0.9872x + 0.7866$ , имеющее очень высокий и коэффициент корреляции 0.92 и детерминации –  $R^2=0.84$ , или полиномиальную функцию  $y = 0.0202x^2 + 0.4688x + 2.6392$ ,  $R^2=0.86$ , можно пересчитать данные, полученные методом КЭ, в возможные результаты, получаемые при титровании.

При определении катионов при среднем и сильном (но не очень сильном) засолении величины содержания кальция и магния, полученные титрованием и методом капиллярного электрофореза на “Капели”, сопоставимы. Хотя титрование дает более высокие значения, разница не превышает 10–25%.

Определение натрия при разной степени засоления образца дало более значимые отличия, особенно при низких и высоких концентрациях. Тем не менее, в диапазоне 1–25 смоль(экв)/кг, результаты хорошо коррелируют и, используя линейное уравнение  $y = 0.9708x + 1.375$ , имеющее коэффициент корреляции 0.99 возможен пересчет значений, полученных разными методами. Определение натрия атомно-абсорбционным методом на “Квант-2АТ” при низких (менее 1 смоль(экв)/кг) и очень высоких концентрациях (близких к 100 смоль(экв)/кг) выше, чем при использовании метода капиллярного электрофореза в среднем на 35–40%. Необходимо отметить, что несмотря на столь большие различия, образцы незасоленных или очень сильно засоленных почв при анализе разными методами попадают в одну категорию по степени засоления, поэтому на оценку засоления это не влияет. При среднем и сильном засолении отличие содержания натрия составляет 9–12%, более высокие значения получены при определении на анализаторе “Квант-2АТ”.

Таким образом, практически все компоненты водной вытяжки, кроме хлоридов, показали похожие или более низкие результаты при использовании метода капиллярного электрофореза,

чем при применении традиционных методов. При анализе хлоридов в засоленных образцах метод капиллярного электрофореза наоборот завывшал результаты.

Использование предлагаемых в данной работе уравнений пересчета дает возможность сопоставления результатов, полученных разными методами: классическими (титрованием и атомно-абсорбционным) и капиллярным электрофорезом.

Для почв с очень сильным засолением необходимы дополнительные исследования, так как выборка образцов при проведении данной работы была недостаточна.

Использование КЭ для определения катионов и анионов имеет свои преимущества. Во-первых, применение КЭ ускоряет анализ, значительно сокращая трудозатраты. Во-вторых, при использовании КЭ идет одновременное определение ряда катионов и анионов, которые обычно не определяются и не учитываются классическими методами титрования. К недостаткам относится невозможность определения карбонатов и гидрокарбонатов, часто содержащихся в значительных количествах в засоленных почвах, а также значительные отличия получаемых результатов, от данных, полученных традиционными методами определения при низких и высоких степенях засоления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* [Руководство по химическому анализу почв](#). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970, 487 с.
2. *Борисочкина Т.И., Черноусенко Г.И., Никитина Н.С.* Сравнение методов определения анионов и катионов в природных водах юга средней Сибири // *Современные методы исследований почв и почвенного покрова*. Мат-лы Всерос. конф. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2015. С. 170–172.
3. *Комарова Н.В., Каменцев Я.С.* [Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза “Капель”](#). СПб.: ООО “Веда”, 2006. 212 с.
4. [ПНД Ф 14.1:2.4.157-99](#). Количественный химический анализ вод. Методика измерения массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природной, питьевой и сточной вод с применением системы капиллярного электрофореза “Капель”. СПб.: Люмекс, 1999.

5. [ПНД Ф 16.1:2:4. 167-2000](#). Количественный химический анализ вод. Методика измерения массовых концентраций катионов цезия, аммония, калия, натрия, лития, магния, кальция, стронция, бария в пробах питьевых, природных и сточных вод с использованием системы капиллярного электрофореза “Капель”. СПб.: Люмекс, 2000.
6. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Воробьевой Л.А. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
7. Engelhardt H., Beck W., Schmitt T. Capillarelektroforese, Methoden und Möglichkeiten. Wiesbaden, Vieweg Verlag, 1994. 218 p.
8. Kuhn R., Hofstetter-Kuhn S. Capillary Electroforesis, principle and practice. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 1993. 386 p.
9. Landers J.P. Handbook of Capillary Electroforesis. Boca Raton, CRC Press, 1994. 486 p.

## **POSSIBILITIES OF USE OF METHOD OF CAPILLARY ELECTROPHORESIS WHILE ANALYZING AQUEOUS EXTRACT FROM SALINE SOILS**

**G. I. Chernousenko, T. I. Borisochkina, N. S. Nikitina**

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
Russia, 119017 Moscow, Pyzhevskiy per., 7/2  
e-mail: chergi@mail.ru*

A comparative analysis of anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) and cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) detection in samples of saline soils by classical methods of titration (with use of atomic absorption analyzer Kvant-2AT for  $\text{Na}^+$  detection) and by method of capillary electrophoresis on Kapel-105 was performed. An analysis has shown limits of use of these methods as well as possibility of conversion of data obtained by method of capillary electrophoresis into data that could be obtained by methods of titration and atomic absorption. It was found that results of these methods correlate worse for anions especially for chlorides and better for cations. Largest divergence was noticed in areas of extremely low or extremely high rates of soils salinity. Functional relations (mostly linear or polynomial) between magnitudes obtained by different methods was found. The use of suggested equations of conversion gives an opportunity to compare results obtained by traditional methods (titration and atomic absorption) with those obtained by the method of capillary electrophoresis.

*Keywords:* saline soils, aqueous extract, method of capillary electrophoresis, methods of titration, atomic absorption analysis.