

УДК 546.422.8

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАЗНЫХ ЧАСТЯХ РАСТЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ТОПИНАМБУРА)

Е.В.Чупарина, Т.Н.Гуничева, Г.А.Белоголова, Г.В.Матяшенко  
Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН  
664033 Иркутск, Фаворского, 1 А  
lchup@igc.irk.ru

Поступила в редакцию 8 декабря 2005 г.

Показана возможность применения неdestructивного рентгенофлуоресцентного анализа для изучения распределения химических элементов между разными органами топинамбура и зависимости его химического состава от места отбора пробы. Определены концентрации Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Sr и Zn в клубнях, стеблях, листьях и цветах растений, собранных в двух разных местах г. Иркутска. Рассмотрены особенности распределения биофильных элементов и элементов-загрязнителей между органами топинамбура. Установлено, что форма распределения элементов слабо изменяется в зависимости от места отбора пробы, в то время как концентрации выше обозначенных элементов существенно варьируют.

**Чупарина Е.В.** - научный сотрудник Института геохимии им. А.П. Виноградова (ИГХ) СО РАН, кандидат химических наук.

**Область научных интересов:** рентгенофлуоресцентный анализ растительных материалов.

**Автор 30 публикаций.**

**Гуничева Т.Н.** - ведущий научный сотрудник ИГХ СО РАН, доктор химических наук.

**Область научных интересов:** многокомпонентный рентгенофлуоресцентный анализ окружающей среды, качество экогеоаналитических данных.

**Автор 170 научных публикаций, 2 монографий.**

**Белоголова Г.А.** - ведущий научный сотрудник ИГХ СО РАН, кандидат геолого-минералогических наук.

**Область научных интересов:** экогеохимия.  
**Автор более 130 научных публикаций**

**Матяшенко Г.В.** - старший научный сотрудник ИГХ СО РАН, кандидат биологических наук.

**Область научных интересов:** ботаника, биогеохимия.

**Автор более 100 научных публикаций**

Химический состав клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus L.*) и его надземных органов привлекает внимание исследователей, в основном, с медицинской и сельскохозяйственной точек зрения. В литературе [1-5] отмечается, что клубни топинамбура являются источником растворимой клетчатки и полисахарида инулина, незаменимого при лечении ряда заболеваний, обладают сорбционными свойствами и потому применяются для выведения поллютантов и повышения уровня жизненно важных элементов. Авторы [3, 4] утверждают, что среди овощных культур клубни топинамбура выделяются высокой концентрацией калия, содержат значительные количества железа, кремния и цинка, не накапливают тяжелые металлы и радионуклиды. Поэтому они предлагают использовать порошок из клубней в детском питании. Однако их рекомендация применять для этой цели и сироп из зеленой массы топинамбура, на наш взгляд, неправомерна, так как всестороннего изучения химического состава листьев, стеблей и цветков, а также зависимости его от среды произрастания не проводилось. В литературе имеются лишь фрагментарные данные по составу зеленой массы. Так, например, в работе [2] приводятся концентрации азота, фосфорной кислоты и оксида калия в пересчете на 10 тонн стеблей, листьев и клубней растения. Рекомендации [5] по использова-

нию стеблей и листьев в качестве удобрений и корма скоту также выглядят недостаточно обоснованными.

Высказанные нами сомнения подтверждают выводы работы [6] о накоплении токсичных веществ в зеленой массе растения и потому возможном ее применении для очистки загрязненных почв. Таким образом, недостаток количественных данных по распределению элементов между отдельными частями топинамбура и отсутствие информации о воздействии среды произрастания на их накопление не позволяют сделать обоснованные заключения относительно применения растения. Необходимо также отметить, что для установления химического состава топинамбура использовались титриметрические методы анализа [4], атомно-эмиссионная и атомно-абсорбционная спектроскопия [6]. В каждой из этих работ приготовление пробы к анализу сопровождалось разрушением вещества термически или под действием химических реагентов, т. е. с изменением его исходного состояния.

В настоящем сообщении приводятся результаты неdestructивного рентгенофлуоресцентного определения химических элементов Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Mn, Fe, S, Sr, Cl и Zn в разных частях топинамбура. Неdestructивная подготовка растений к рентгенофлуоресцентному анализу (РФА) включает процессы высушивания пробы на воздухе, измельчения до порошкообразного состояния и последующего прессования излучателя. Таким образом, материал растения претерпевает минимальное изменение, и результаты анализа не содержат возможных погрешностей, связанных с химическим или термическим воздействием. По результатам РФА нам удалось проследить распределение изучаемых элементов в разных частях топинамбура и их изменение в зависимости от места отбора пробы. С этой целью использовался топинамбур, собранный в двух районах г. Иркутска. Отдельно отбирались соцветия (1, 7), листья (2, 8), верхняя часть стебля (3, 9), нижняя часть стебля (4, 10) и клубни (5, 11). В скобках указаны цифры, использованные далее на шкале абсцисс графиков (рисунок) при представлении распределения элементов между выделенными частями топинамбура для двух мест отбора проб (цифры 0, 6 и 12 на шкале абсцисс графиков использованы для удобства построения).

Каждую отобранную часть топинамбура измельчали до порошкообразного состояния. Смесь 7,2 г порошка и 0,8 г борной кислоты, используемой как связующее вещество, тщательно переме-

шивали в агатовой ступке. При усилии 16 тонн прессовали по два излучателя диаметром 40 мм. Интенсивности  $K_{\alpha}$ - линий определяемых элементов регистрировали с помощью рентгеновских спектрометров VRA-30 (режим питания рентгеновской трубки: 50 кВ, 20 мА) и СРМ-25 (30 кВ, 40 мА). Методика определения содержания элементов от Na до Sr в растениях способом  $\alpha$ -коррекции матричных эффектов подробно изложена в публикации [7]. Концентрацию Zn находили способом стандарта-фона. Для градуировки и контроля правильности анализа использовали Государственные стандартные образцы состава биологических материалов (ГСО): злаковой травосмеси СБМТ-02, клубней картофеля СБМК-02, зерен пшеницы СБМП-02 [8] и стандартные образцы серии GSV листьев и веток тополя и чая (КНР) [9].

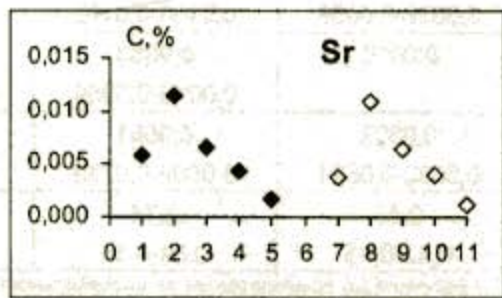
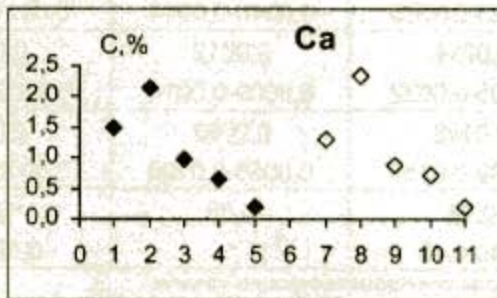
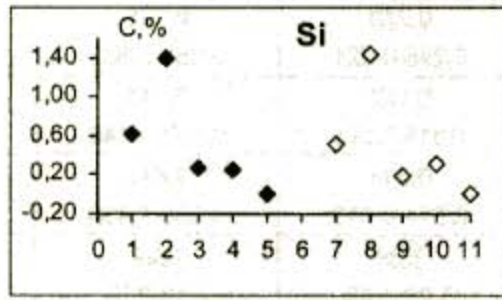
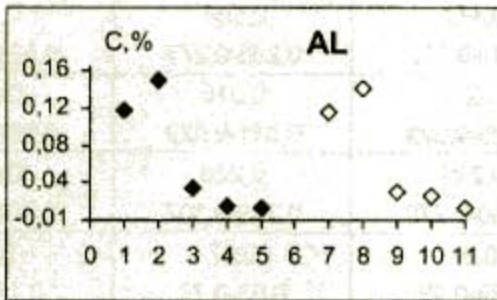
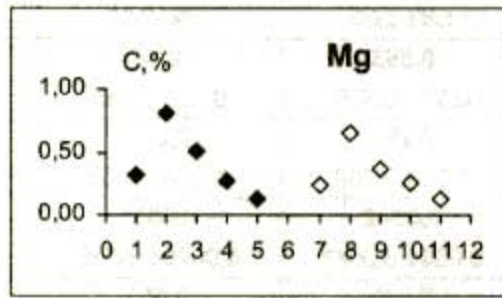
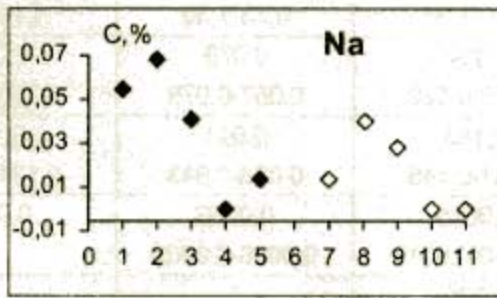
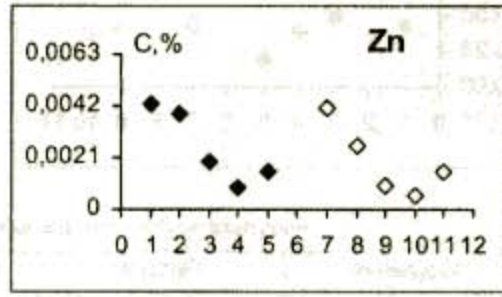
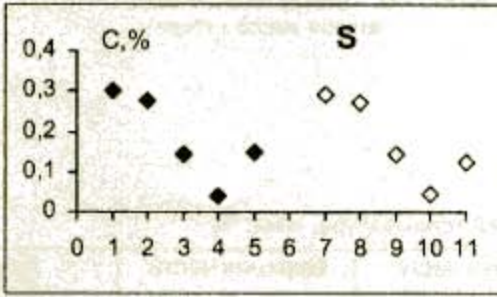
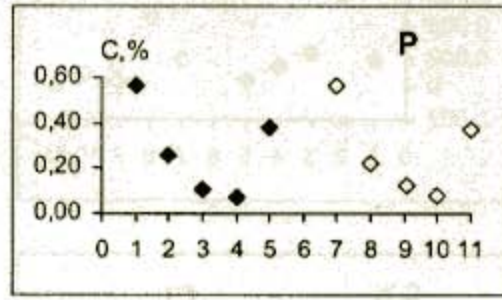
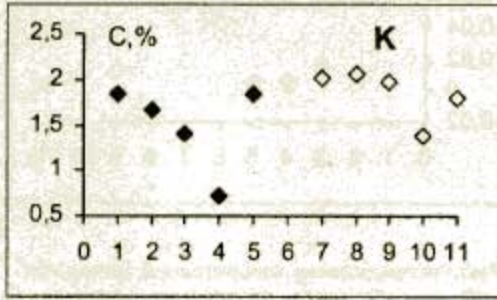
В таблице приведены результаты РФА отдельных частей топинамбура. Над чертой дано среднее значение содержания элемента для двух излучателей, под чертой – разброс содержания в зависимости от места отбора пробы. Жирным шрифтом выделены обнаруженные максимальные концентрации элементов.

Согласно данным таблицы, изучаемые элементы можно условно разделить на две группы. В первую группу необходимо отнести K, P, S и Zn, во вторую – Na, Mg, Al, Si, Ca, Sr, Mn, Fe и Cl. Для элементов первой группы максимальные концентрации изучаемых элементов обнаруживаются в соцветиях, минимальные – в нижней части стебля. В клубнях содержания этих элементов сравнительно высоки и уменьшаются относительно максимального содержания в направлении  $K > P > S > Zn$ . В клубнях и соцветиях содержание K и P близки между собой. Концентрации S и Zn в клубнях найдены существенно меньшими, чем в соцветиях. Максимальные содержания элементов второй группы обнаружены в листьях, а минимальные – в клубнях. Высокие концентрации этих элементов отмечены в соцветиях.

Рисунок демонстрирует распределения элементов между различными частями топинамбура для двух мест отбора проб. Видно, что форма распределения элементов между органами топинамбура слабо изменяется с местом отбора проб, тогда как их содержания могут существенно варьировать (см. табл.). Так, например, содержания Na изменяются в 3,9, 1,7 и 1,5 раза в соцветиях, листьях и верхней части стебля; Zn – в 1,5, 1,9 и 1,5 раза в листьях, верхней и нижней частях стебля; Si – в 1,5 и в 2,0 раза в верхней части стебля и клубнях, соответственно. Значительные вариации содержания наблюдаются для Mn – в 4,4, 1,6

и 3,0 раз в верхней, нижней частях стебля и клубнях, соответственно; в 2 раза - для Fe, Al и K в ниж-

ней части стебля; в 1,5 раза - для Sr в соцветиях и клубнях.



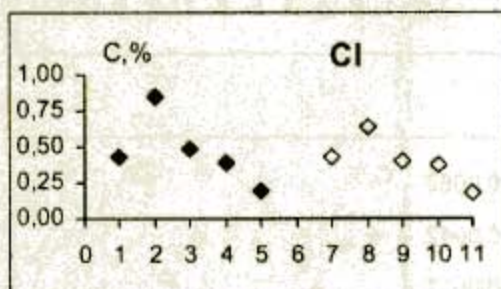
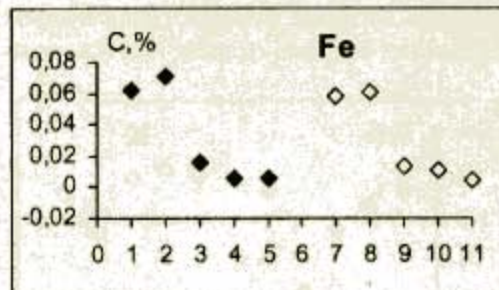
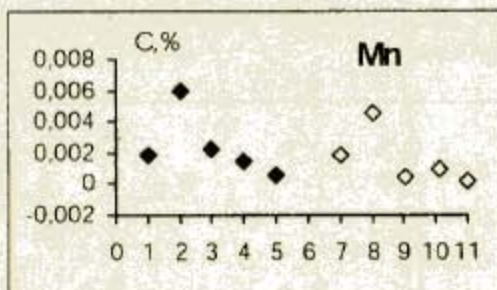


Рис. Распределение концентраций элементов (С, масс. %) между различными органами топинамбура (обозначения шкалы абсцисс приведены в тексте) для двух мест отбора проб: (1-5) – первое место отбора; (7-11) – второе место отбора)

Таблица

Результаты РФА отдельных частей топинамбура, масс. %

Элемент	Соцветия	Листья	Нижняя часть стебля	Верхняя часть стебля	Клубни
K	<b>1,93</b> 1,83-2,02	1,87 1,66-2,07	1,69 1,41-1,97	1,06 0,73-1,39	1,81 1,79-1,83
P	<b>0,563</b> 0,561-0,565	0,240 0,225-0,255	0,114 0,107-0,122	0,073 0,067-0,079	0,374 0,370-0,378
S	<b>0,298</b> 0,293-0,303	0,277 0,274-0,279	0,143 0,141-0,145	0,041 0,038-0,043	0,136 0,124-0,148
Zn	<b>0,0042</b> 0,0041-0,0043	0,0033 0,0026-0,0039	0,0015 0,0010-0,0019	0,0008 0,0006-0,0009	0,0015
Na	0,035 0,014-0,055	<b>0,055</b> 0,041-0,068	0,035 0,028-0,041	*	*
Mg	0,279 0,236-0,321	<b>0,731</b> 0,658-0,803	0,441 0,369-0,512	0,266 0,255-0,277	0,127 0,121-0,132
Al	0,112 0,111-0,112	<b>0,141</b> 0,137-0,145	0,027 0,025-0,029	0,016 0,011-0,022	0,008 0,007-0,008
Si	0,564 0,514-0,613	<b>1,413</b> 1,396-1,430	0,235 0,190-0,279	0,278 0,249-0,307	0,003 0,002-0,004
Ca	1,39 1,29-1,48	<b>2,24</b> 2,13-2,35	0,94 0,89-0,99	0,67 0,63-0,71	0,20 0,19-0,21
Sr	0,0049 0,0038-0,0059	<b>0,0112</b> 0,0108-0,0115	0,0064 0,0063-0,0065	0,0042 0,0040-0,0044	0,0014 0,0011-0,0016
Mn	0,0019	<b>0,0053</b> 0,0046-0,0059	0,0014 0,0005-0,0022	0,0012 0,0009-0,0014	0,0004 0,0002-0,0006
Fe	0,0602 0,0582-0,0621	<b>0,0661</b> 0,0609-0,0713	0,0148 0,0139-0,0157	0,0082 0,0055-0,0108	0,0054 0,0046-0,0061
Cl	0,43 0,42-0,43	<b>0,74</b> 0,64-0,84	0,44 0,40-0,48	0,38	0,19 0,18-0,20

Примечание: \* - значения не приводятся из-за нестабильности работы спектрометрического канала

Полученные закономерности подтверждают и дополняют выводы, сделанные из данных таблицы, не противоречат результатам [10] о преимущественном накоплении элемента в том или ином органе растения, и объясняются его биохимическими функциями в метаболических процессах [11]. Изучаемые элементы, в целом, являются эссенциальными, и высокие их содержания в соцветии (генеративном органе) подтверждают необходимость и значимость их для растения. Клубни, концентрируя К, Р, S и Zn, являются резервуаром биофильных элементов. Листья и стебель (вегетативные органы) служат источником жизненно важных элементов Mg, Ca, Si, Cl и од-

новременно накапливают Al, Sr, Mn и Fe, которые в техногенных условиях воздействуют как токсиканты.

Приведенные данные указывают на то, что перед принятием обоснованного вывода о возможном использовании отдельных частей топинамбура в пищевой, медицинской или сельскохозяйственной сфере, требуется тщательное изучение распределения биофильных и токсичных элементов по растению и изменения их концентраций под воздействием внешних условий. Метод неdestructивной рентгенофлуоресцентной спектроскопии может быть успешно использован для решения обозначенной задачи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Русанов А.М. Мне нравится топинамбур // Картофель и овощи. 1998. № 5. С. 15-16.
2. Шайкин В.Г. Топинамбур – удивительное растение // Картофель и овощи. 1998. № 3. С. 17.
3. Решетник Л.А. Клинико – гигиеническая оценка микроэлементного дисбаланса у детей Прибайкалья (к проблеме микроэлементозов) // Автореф. дис. ... докт. мед. наук. Иркутск, 2000. 43 с.
4. Решетник Л.А. Топинамбур – возможности его использования в лечебном питании детей (обзор) / Л.А. Решетник, К.С. Ладодо, О.В. Прокопьева, Н.К. Кочнев // Вопросы питания. 1998. № 1. С. 18-20.
5. Кочнев Н.К. Топинамбур - возделывание и использование / Н.К. Кочнев, А.В. Плохотников. Иркутск, 1990. 20 с.
6. Гончарова Н.Н. Спектральный анализ почв, растений и биопроб в биомониторинге тяжелых металлов / Н.Н. Гончарова, Т.И. Утенкова, Г.Б. Недвецкая, Е.Ф. Рохина // Тез. докл. VI конференции "Аналитика Сибири и Дальнего Востока". Новосибирск, 2000. С. 259-260.
7. Чупарина Е.В. Рентгенофлуоресцентное определение некоторых элементов в растительных материалах без разрушения образца / Е.В. Чупарина, Т.Н. Гуничева // Журн. аналит. химии. 2003. Т. 58, № 9. С. 960-966.
8. Арнаутов Н.В. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ: Методические рекомендации. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1987. 204 с.
9. Certificate of Certified Reference Material Human Hair, Bush Twigs and Leaves, Poplar Leaves and Tea (GSV-1, 2, 3, 4 and GSH - 1). Langfang China: Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, 1990.
10. Цыпленков В.П. Определение химического состава растительных материалов / В.П. Цыпленков, А.С. Федоров, Т.А. Банкаина, Н.Н. Федорова. СПб: СПбГУ, 1997. 152 с.
11. Markert B. The biological system of the elements (BSE) for terrestrial plants (glycophytes) // The science of the total environment. 1994. V. 155. P.221-228.

\* \* \* \* \*

#### APPLICATION OF X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS FOR STUDYING CHEMICAL ELEMENT DISTRIBUTIONS IN DIFFERENT PLANT PARTS, EXAMPLIFIED BY ARTICHOKE

E.V.Chuparina, T.N.Gunicheva, G.A.Belogolova, G.V.Matyshenko

*The paper reports the feasibility to apply the nondestructive X-ray fluorescence analysis for studying chemical element distribution among diverse artichoke organs as well as the dependence of chemical plant composition on sampling place. The concentrations of elements Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Sr and Zn in tubers, stems, leaves and flowers of this plant were defined in the samples taken in two different places of Irkutsk city. The authors have considered the distribution pattern of biogenic elements and pollutants contained in diverse artichoke parts. It was established, that the distribution model depends upon sampling site weakly, whereas the concentrations of a forenamed elements vary essentially.*