

УДК 633.52:631.524.6

К ВОПРОСУ ОБ ИЗВЛЕЧЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЬНОМ ИЗ ПОЧВЫ

С. Л. БЕЛОПУХОВ, А. В. ФОКИН*

(Кафедра неорганической и аналитической химии)

Приводятся результаты исследования химического состава почв при выращивании льна-долгунца и содержания химических элементов, включая тяжелые металлы, в растениях. Рассчитаны коэффициенты извлечения металлов из почвы растениями льна.

Одним из перспективных направлений развития сельского хозяйства в ближайшие годы станет возрождение льноводческой отрасли. С распадом СССР страна потеряла дешевые источники хлопка, и большинство текстильных предприятий испытывает постоянные трудности с сырьем. За последние два десятилетия посевные площади в России сократились в 10 раз, а урожайность льноволокна находится на уровне 3,5 — 5 ц/га. Однако Россия не может существовать без своей исконно русской культуры — льна, без льняных тканей.

Экологическая сертификация льна и продуктов его переработки в условиях антропогенного воздействия и применения пестицидов ставит задачу постоянного мониторинга сельхозугодий и льно-

сырья на разных стадиях производства. В настоящей работе проведена оценка накопления некоторых химических элементов, в том числе, токсикантов в растениях льна-долгунца сорта Илона.

Методика

Содержание химических элементов в образцах проводили радиоактивационным анализом и у-спектрометрией в радиохимическом и инструментальном вариантах, эмиссионной фотометрией пламени и атомно-адсорбционной спектроскопией по методикам, опубликованным ранее [1, 2].

Для оценки содержания химических элементов в образцах проводили сравнение со спектрами стандартных образцов почв СП-1, альбитизированного гранита СГ-1А

* IT A MILLS, inc., USA.

с известным содержанием элементов в идентичных экспериментальных условиях, а также с эталонными растворами, приготовленными из солей марки ОСЧ. Образцы семян, льноволокна и костры получены из льна-долгунца сорта Илона, выращенного в сельскохозяйственном предприятии «Дубна» Владимирской обл. в 2000 г. Образцы почвы отобрали с контрольной площади посева 0,06 га с глубины до 20 см из 9 точек по двум диагоналям прямоугольника 20х30 м, равноудаленных друг от друга. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимическая характеристика пахотного слоя поля (0-20 см): содержание гумуса (по Тюрину) - 2,2%. рН_{KCl} 5,7, гидролитическая кислотность (по Каппену) — 3,05 мгэкв/100 г, сумма поглощенных оснований (по Каппену-Гильковицу) — 4,98 мг-экв/100 г, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) — 19,8 мг, обменного калия (по Масловой) — 12,6 мг/100 г, азота (нитратная и аммиачная формы) — 1,9 мг/100 г.

Результаты

Результаты расшифровки спектров и обобщенные данные по содержанию 29 химических элементов в образцах почвы, льняного волокна, кост-

ры и семенах, полученные различными методами анализа, представлены в таблице. В некоторых образцах концентрации олова, мышьяка, кадмия, тантала, лантана, лютеция, неодима и иттербия находится ниже предела обнаружения этих элементов методом активации образцов тепловыми нейтронами и гамма-спектрометрии.

В исследованных образцах почвы в макроколичествах присутствуют К, Са и Fe (> 10000 мг/кг). Остальные элементы по содержанию можно разделить на несколько групп: присутствуют в концентрациях 1000-10000 мг/кг (Na, Mg), 100-1000 мг/кг (Cr, Ba, Mn), 10-100 мг/кг (Zn, Cu, Rb, Ce, Nd), 1-10 мг/кг (Co, Pb, Sn, Sb, As, Cs, Hf, La, Th, Sc, Eu), < 1 мг/кг (Cd, Ta, Lu, Yb).

В образцах льноволокна, костры и семян в макроколичествах (> 100 мг/кг) присутствуют К, Na, Са, Mg и Fe. Остальные элементы по концентрациям в образцах можно разделить на следующие подгруппы: присутствуют в концентрациях 10-100 мг/кг (Rb, Ba), 1-10 мг/кг (Zn, Cr, Sn, Mn, Ce), 0,1-1 мг/кг (Co, Pb, Sb, Cu, Hf, Th, Sc, Eu, Cs), < 0,1 мг/кг (Hg, Cd, Yb, Lu, Ta). Содержание мышьяка в образцах менее 10 мг/кг, неодима < 4 мг/кг, лантана < 3 мг/кг.

Т а б л и ц а

Химический состав почвы, льна и продуктов его переработки

Химический элемент	Кларк элемента, %	Содержание элемента в пересчете на сухое вещество, мг/кг			
		почва	волокно	костра	семена
K	2,5	13800±1100	7800±800	12800± 1500	10000±1100
Na	2,64	5800±600	1050±90	1260±130	970±90
Ca	2,96	13700±1000	5800± 600	7700± 800	4100± 500
Mg	2,1	6300±700	2600± 300	3200± 400	3400± 400
Fe	4,65	36000±3000	1370±150	3300±350	1570±160
Zn	0,0083	52±5	5,8±0,5	8,7±1,0	6,9±0,8
Co	0,0018	8,8±0,7	0,24±0,03	0,48±0,08	0,19±0,05
Cr	0,0083	180±30	2,8±0,5	5,6±0,7	1,8±0,3
Hg	0,0000083	0,05±0,01	0,058±0,025	0,09±0,02	0,041±0,018
Pb	0,0016	7±2	0,30± 0,03	0,21± 0,03	0,15± 0,03
Ba	0,065	450±50	11±3	16±3	10±2
Sn	0,00025	9±3	4,3±1,7	<1	2,1±1,2
Sb	0,00005	1,4±0,2	0,40±0,15	0,70±0,20	0,20±0,10
As	0,00017	<10	< 10	< 10	< 10
Cd	0,000013	0,6±0,3	< 0,05	< 0,1	< 0,1
Cu	0,0047	16±4	0,47± 0,10	0,90± 0,10	0,35± 0,10
Mn	0,1	760±200	9,1±1,0	11,0±2,0	7,0±1,0
Cs	0,00065	1,1±0,7	0,08±0,03	0,20±0,05	0,10±0,03
Rb	0,015	65±8	11±2	23±3	10±2
Hf	0,0001	3,6±0,4	0,20±0,04	0,80±0,10	0,24±0,05
Ta	0,00025	0,06±0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
La	0,0029	1,1±0,5	< 3	< 2	<2
Ce	0,007	45±5	1,8±0,3	3,5±0,5	2,5±0,5
Lu	0,00008	0,22±0,06	< 0,01	0,020±0,005	< 0,01
Th	0,0013	6,3±0,7	0,23±0,04	0,50±0,07	0,20±0,05
Sc	0,001	2,4±0,4	0,35±0,04	0,25±0,03	0,20±0,02
Eu	0,0008	1,4±0,3	0,20±0,05	0,30±0,05	0,20±0,03
Nd	0,0037	16±5	< 4	< 3	< 3
Yb	0,000033	<0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Полученные данные позволяют рассчитать вынос химических элементов урожаем льна с 1 га площади (рис. 1-3).

Суммарная масса выноса макро- и микроэлементов составляет по тресте более 94 кг/га, семенам — более 36 кг/га.

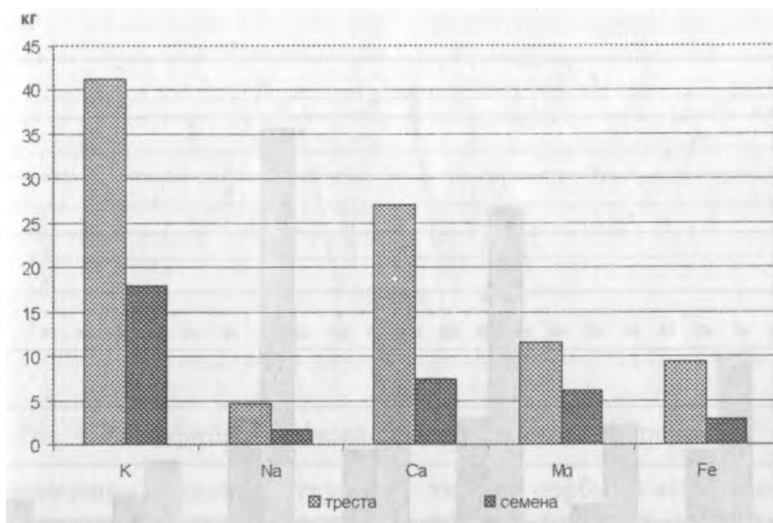


Рис. 1. Вынос K, Na, Ca, Mg, Fe урожаем льна с 1 га, кг.

Расчет приведен на урожайность льнотресты 20 ц/га, а льносемян — 9 ц/га. При максимальной урожайности для данного сорта по тресте около 50 ц/га и семян 18 ц/га приведенные данные необходимо увеличить соответственно в 2,5 и 2 раза.

На рис. 4 представлены коэффициенты перехода ($K_{п}$), или точнее коэффициенты извлечения химических элементов из почвы в льняное волокно, рассчитанные по формуле

$$K_{п} = C_{вол}^э / C_{почв}^э,$$

где $C_{вол}^э$ - содержание химического элемента в волокне (%), $C_{почв}^э$ - содержание того же элемента в почве (%).

Для сравнения на том же рис. 4 приведены коэффици-

енты перехода химических элементов $K_{пк}$, рассчитанные по формуле

$$K_{пк} = C_{вол}^э / C_{кл}^э,$$

где $C_{вол}^э$ - массовая доля химического элемента в волокне (%), $C_{кл}^э$ - кларк того же элемента (%) [3].

Максимальное значение $K_{пк}$ для олова (1,72), минимальное - для меди (0,010). Коэффициенты извлечения ($K_{п}$) для K, Na, Ca, Mg, Zn, Sn, Sb, Rb, Sc, Eu из почвы волокном находятся в интервале 0,1-1,0; для элементов Fe, Co, Cr, Pb, Ba, Cu, Cs, Hg, Ce, Th — в интервале 0,1 - 0,01. Максимальный коэффициент извлечения — для ртути (1,16), а минимальный — для марганца (0,012). Изменение коэффициентов

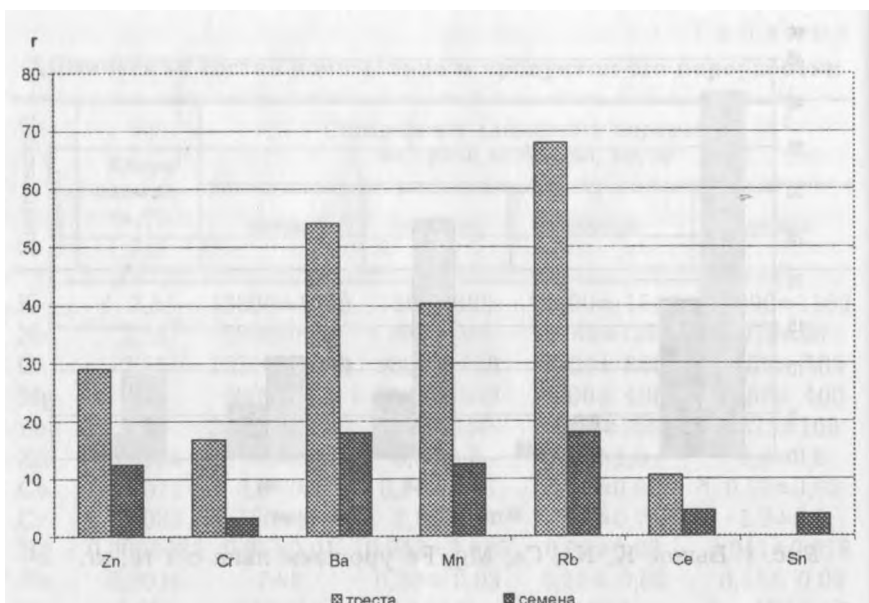


Рис. 2. Вынос Zn, Cr, Ba, Mn, Rb, Ce, Sn урожаем льна с 1 га, г.

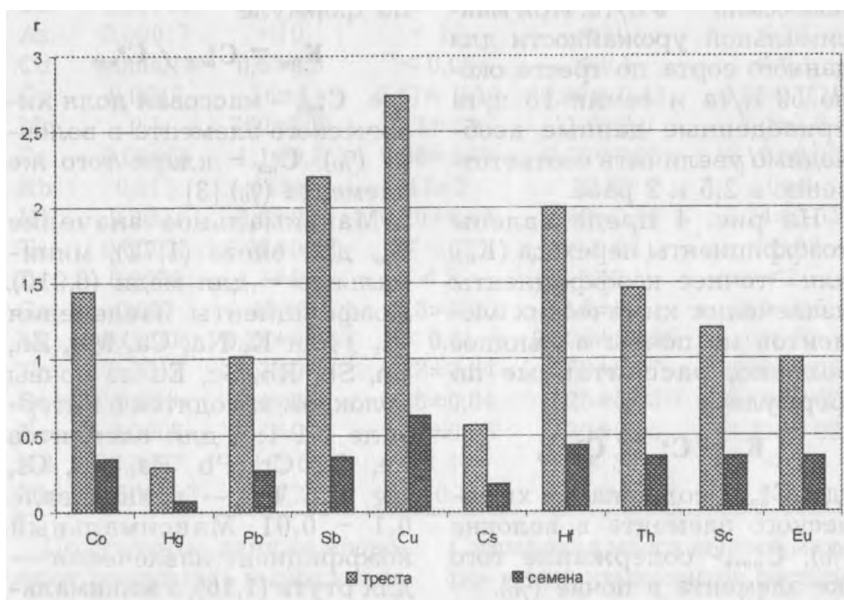


Рис. 3. Вынос Co, Hg, Pb, Sb, Cu, Cs, Hf, Th, Sc, Eu урожаем льна с 1 га, г.

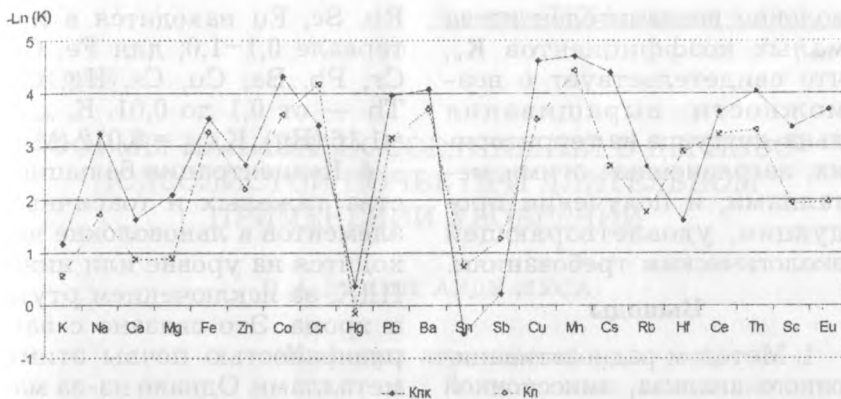


Рис. 4. Коэффициенты извлечения элементов из почвы.

извлечения свидетельствует о преимущественном накоплении тех элементов в волокне, у которых $K_{п} > 1$, и тенденция в изменении химического состава в той или иной части растения, по сравнению с волокном, а следовательно, по $K_{п}$ можно судить о качестве льноволокна.

Конечным продуктом переработки льняного волокна является пряжа и льняная ткань, продукция текстильной и легкой промышленности, в которых международный стандарт ЕКО-ТЕХ-100 регламентирует содержание тяжелых металлов (ppm): As и Pb < 1, Cd < 0.1, Cr < 2, Co < 4, Cu < 50, Ni < 4, Hg < 0.02. В исследованных образцах небольшое превышение ПДК наблюдается для хрома и более чем в 2 раза для ртути. С одной стороны, это характеризует способность растений льна к селек-

тивной сорбции этих элементов из почвы, а с другой — повышенную загрязненность почвы этими элементами.

Критерием загрязненности почв ($K_{загр}^*$) может служить сравнение концентрации элемента в почве с его кларком. Превышение над кларком свидетельствует о превышении содержания металлов в почве по сравнению с естественным уровнем. С учетом ранее определенных коэффициентов $K_{нк}$ и $K_{п}$ коэффициент загрязненности почвы $K_{загр}^*$ можно выразить следующим соотношением:

$$K_{загр}^* = K_{нк} / K_{п} = C_{почв}^* / C_{кл}^*$$

При сравнении средних уровней загрязненности почвы с кларком установлено, что в почве находится избыточное количество ртути и хрома (более чем 10-кратное превышение). Однако переход этих элементов в льно-

волокно незначителен из-за малых коэффициентов K_n , что свидетельствует о возможности выращивания льна-долгунца на территориях, загрязненных этими металлами, и получении продукции, удовлетворяющей экологическим требованиям.

Выводы

1. Методом радиоактивационного анализа, эмиссионной фотометрии пламени и атомно-адсорбционной спектроскопией проведено определение 29 химических элементов с пределами обнаружения до 10^{-10} г/г в почве, льноволокне, семенах и костре.

2. Измеренные концентрации химических элементов в растениях льна-долгунца позволили рассчитать их вынос урожаем льна и оценить потребность растений в макро- и микроэлементах.

3. Рассчитаны коэффициенты извлечения элементов из почвы и аккумуляция их в различных частях растений (K_n). K_n из почвы волокном для K, Na, Ca, Mg, Zn, Sn, Sb,

Rb, Sc, Eu находится в интервале 0,1-1,0; для Fe, Co, Cr, Pb, Ba, Cu, Cs, Hg, Se, Th — от 0,1 до 0,01. $K_{n \max} = 1,16$ (Hg), $K_{n \min} = 0,012$ (Mn).

4. Концентрация большинства тяжелых и токсичных элементов в льноволокне находится на уровне или ниже ПДК, за исключением ртути и хрома. Это связано с загрязненностью почвы этими металлами. Однако из-за малых K_n миграция и процессы накопления этих металлов в льноволокне незначительны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Князев Д.А., Смарыгин С.Н.* Неорганическая химия. — Учеб. для вузов по спец. «Агрохимия и почвоведение». М.: Высш. шк, 1990. —
2. Практикум по агрохимии / Под ред. Б.А. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1987. —
3. *Ягодин Б.А., Делопухова Ю.Б., Виженский С.А. и др.* Определение содержания химических элементов в зерне гречихи нейтронно-активационным методом. — Изв. ТСХА, 1988, вып. 4, с. 196-199.

*Статья поступила
14 марта 2002 г.*

SUMMARY

Results of investigating chemical composition of soils with growing fiber flax and of content of chemical elements, including heavy metals, in plants are presented. Coefficients of removing metals from the soil by flax plants are calculated.