

Особенности накопления фторидов в растениях луговых биотопов Северной Буковины

С. С. КОСТЫШИН, О. О. ПЕРЕПЕЛИЦА*, О. И. СМЕТАНЮК*

Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича
Украина, Черновцы, ул. Коцюбинского, 2

*Буковинский государственный медицинский университет
Украина, Черновцы, Театральная площадь, 2
E-mail: perepelutsya@rambler.ru

АННОТАЦИЯ

Проведенные исследования содержания фторидов в системе “почва – растение” выявили закономерности поглощения фторидов травянистыми растениями луговых биотопов Северной Буковины. По комплексу критериев определены экологические группы растений с разным уровнем поглощения фторидов. Выделено растение-концентратор *Chamaerion angustifolium* (L.) Holub.

Ключевые слова: накопление, фториды, растения, экологические факторы.

Вредными веществами для окружающей среды считаются фтористые соединения, которые выбрасываются в атмосферу металлургическими предприятиями, производствами минеральных удобрений, керамики, стекла. Наблюдается постоянное накопление фтора во всей цепи его миграции. За последние 25–30 лет содержание фтора в почвах разных биогеохимических районов Украины возросло на 9–16 % [1].

В связи со способностью некоторых растений аккумулировать фториды разработаны тесты фторидного загрязнения окружающей среды, а также рассматривается возможность использования растений для фитомелиоративной очистки загрязненных почв [2, 3].

Данные литературы о накоплении фторидов растениями в зависимости от их таксономической принадлежности касаются преимущественно пищевых, кормовых и древес-

ных растений [4–7]. Поэтому актуальной является количественная оценка накопления фторидов растениями луговых биотопов, что позволяет определить растения-концентраторы и деконцентраторы соединений фтора.

Цель работы – выяснение особенностей накопления фторидов в растениях луговых биотопов Северной Буковины.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили с 51 видом растений, собранных с 13 луговых биотопов территории Северной Буковины. Забор растений осуществлялся согласно общепринятой методике [8] в конце августа, когда заканчивается прирост большинства растений. Образцы почв отбирали с поверхностного слоя тех же элементарных участков (площадью 100 м²), что и растения. Таксономическая принадлежность растений установлена по “Определителю” [9]. В растительном материале фториды находили потенциометрическим методом

Костышин Степан Степанович
Перепелица Олеся Орестовна
Сметанюк Оксана Илливна

с фторидселективным электродом [10]. Определение водорастворимых форм фтора в почве проводили в стандартной водной вытяжке с соответствующим количеством буфера “Броис”, а подвижных форм – в кислотной вытяжке (HClO_4 , pH 1,0) с раствором натрий цитрата потенциометрическим методом [11, 12]. Определение актуальной, обменной кислотности, суммы поглощенных оснований, гумуса осуществлялось титриметрическими методами [13–16]. Исследование образцов почв на содержание фосфора проводили фотозлектроколориметрическим методом [17].

Коэффициент биологического накопления (КБН) рассчитывали как соотношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве для каждого исследуемого вида, а коэффициент специфического относительного накопления (КСОН) – как соотношение содержания элемента в растении к среднему содержанию его во всех растениях с одного места произрастания [18].

Для статистической обработки результатов использовали корреляционный и регрессионный анализы [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общий анализ содержания фторидов в почвах и растениях луговых биотопов Северной Буковины. Территория Северной Буковины занимает 8,1 тыс. км² (1,34 % от территории Украины) и является одной из самых сложных по рельефу и почвенно-климатическим условиям. Склоновые земли занимают около 90 % территории [20].

Черновицкая область находится на стыке Восточно-Европейской равнины и Украинских Карпат. В пределах области выделяют три основные части: Прут-Днестровское междуречье, Предкарпатье и Карпаты, которые заметно отличаются по комплексу природных факторов и характеру почвенного покрова [21]. На равнине преобладают серые лесные и темно-серые подзолистые почвы (около 55 % равнинной части), черноземы подзолистые (около 25 %) и выщелоченные, в долинах рек – дерново-луговые и черноземно-луговые почвы. В предгорье доминируют серые лесные, дерново-подзолистые поверхностно-глеевые почвы, возле под-

ножия гор – буроземно-подзолистые сильно глеевые, в горах – бурые горно-лесные (70 %), на низкогорье – дерновые буроземные (23 %) [22].

Для определения растений с высоким уровнем поглощения фторидов проведен общий анализ содержания соединений фтора в растениях луговых биотопов равнинной (Восточно-Европейская равнина) и горной (Украинские Карпаты) территорий. Установлено, что границы содержания фторидов в наземной части растений Украинских Карпат составляют 0,22–4,14, в подземной – 0,23–3,87 мг/кг сух. массы. На равнинной территории этот диапазон оказался шире: в наземной части 0,15–7,63, в подземной – 0,1–7,76 мг/кг сух. массы.

Диапазон содержания фторидов в большинстве исследуемых растений Северной Буковины составляет в наземной части 0,22–1,20, в подземной – 0,2–1,28 мг/кг сух. массы. Полученные результаты свидетельствуют о дефиците фтора в растениях исследуемого региона, поскольку, согласно действующим нормативам, максимально рекомендуемые границы содержания фторидов в кормах составляют 20–40 мг/кг сух. массы, а допустимые уровни содержания фторидов в сене считаются 20, а в соломе – 15 мг/кг [22].

Для оценки миграционной способности соединений фтора в системе “почва – растение” исследованы водорастворимые и подвижные формы фтора в почвах Северной Буковины. Диапазон водорастворимых форм фтора составляет 0,40–1,20, а подвижных форм – 0,51–4,72 мг/кг почвы. Среднее содержание водорастворимых форм составляет $(0,74 \pm 0,071)$ мг/кг, а подвижных – $(1,69 \pm 0,403)$ мг/кг почвы. Выявлена прямая корреляционная зависимость между содержанием подвижных и водорастворимых форм фтора ($r = 0,75$; $P < 0,01$).

Установленный факт низкого содержания фторидов в почвах луговых биотопов Северной Буковины согласуется с данными литературы об эндемичности исследуемого региона по гипофторозу [1, 23].

Видовая специфика накопления фторидов растениями луговых биотопов Северной Буковины. Специфика накопления фторидов растениями луговых биотопов в зависимости

Экологические группы растений по содержанию фторидов

Экологическая группа	Часть растения	Представители экологических групп
1. Растения со стабильно высоким для исследуемого региона содержанием фторидов	Надземная	<i>Echium vulgare</i> L.
	Подземная	<i>Chamaerion angustifolium</i> (L.) Holub
2. Растения с повышенным содержанием фторидов при благоприятных условиях произрастания	Надземная	<i>Bidens tripartita</i> L., <i>Plantago lanceolata</i> L., <i>Verbascum thapsus</i> L., <i>Rumex acetosa</i> L.
	и подземная	
	Надземная	<i>Astragalus glycyphyllos</i> L., <i>Astrantia major</i> L., <i>Campanula persicifolia</i> L., <i>Carlina cirsioirdes</i> K., <i>Coronilla varia</i> L., <i>Linaria vulgaris</i> Mill., <i>Eryngium campestre</i> L., <i>Lotus arvensis</i> Pers., <i>Trifolium arvense</i> L.
3. Растения со стабильно низким содержанием фторидов	Подземная	<i>Agrimonia eupatoria</i> L., <i>Centaurea jacea</i> L., <i>Plantago major</i> L., <i>Polygonum aviculare</i> L., <i>Stachys germanica</i> L.
	Надземная и подземная	<i>Artemisia absinthium</i> L., <i>Artemisia vulgaris</i> L., <i>Cichlorium intybus</i> L., <i>Hypericum perforatum</i> L., <i>Matricaria perforata</i> Merat, <i>Mentha arvensis</i> L., <i>Verbena officinalis</i> L.

от их таксономической принадлежности оценивалась по содержанию фторидов в растениях и коэффициентам специфического относительного накопления (КСОН) и биологического накопления (КБН) фторидов.

Среди исследуемых видов выделяли экологические группы по содержанию фторидов (табл. 1).

Среди видов растений первой и третьей экологических групп, выделенных по содер-

жанию фторидов, только для над- и подземной части *Chamaerion angustifolium* установлен КСОН больше единицы во всех исследуемых биотопах (рис. 1).

Виды *Verbena officinalis*, *Hypericum perforatum*, *Artemisia absinthium* характеризовались низкими значениями этого показателя (КСОН < 1).

По КБН среди исследуемых видов выделены группы растений с высокой, повышен-

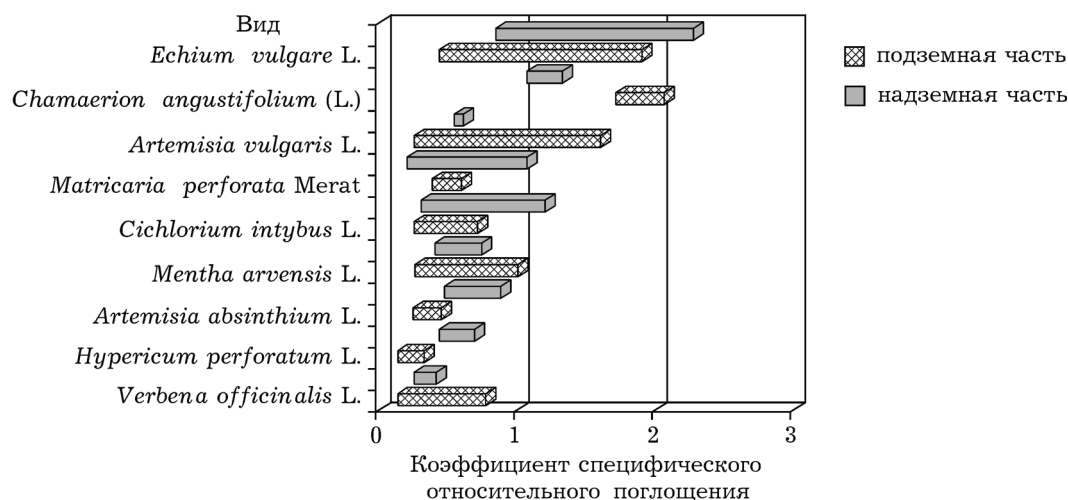


Рис. 1. Распределение значений коэффициента специфического относительного накопления фторидов для растений луговых биотопов Северной Буковины

Экологические группы растений по интенсивности накопления фторидов

Экологическая группа	Представители экологических групп
1. Растения с высокой ИН фторидов	<p>В над- и подземной части: <i>Bidens tripartita</i> L.</p> <p>В надземной части: <i>Astrantia major</i> L., <i>Clinopodium vulgare</i> L.</p> <p>В подземной части: <i>Chamaerion angustifolium</i> (L.) Holub, <i>Plantago major</i> L.</p>
2. Растения с повышенной ИН фторидов	<p>В над- и подземной части: <i>Agrimonia eupatoria</i> L., <i>Cichlorium intybus</i> L., <i>Centaurea jacea</i> L., <i>Daucus carota</i> L., <i>Echium vulgare</i> L., <i>Eryngium campestre</i> L., <i>Plantago lanceolata</i> L., <i>Polygonum aviculare</i> L., <i>Verbascum thapsus</i> L., <i>Rumex acetosa</i> L., <i>Stachys germanica</i> L.</p> <p>В надземной части: <i>Artemisia annua</i> L., <i>Astragalus glycyphyllos</i> L., <i>Campanula persicifolia</i> L., <i>Carlina cirsioides</i> K., <i>Centaurea diffusa</i> Lam., <i>Coronilla varia</i> L., <i>Erigeron canadensis</i> L., <i>Euphorbia cyparissias</i> L., <i>Lavatera thuringiaca</i> L., <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam., <i>Linaria vulgaris</i> Mill., <i>Lotus arvensis</i> Pers., <i>Matricaria perforata</i> Merat, <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall, <i>Prunella vulgaris</i> L., <i>Rorippa sylvestris</i> (L.) Bees., <i>Stachys germanica</i> L., <i>Stenactis annua</i> Nees, <i>Taraxacum officinale</i> Webb., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L., <i>Xanthium strumarium</i> L.</p> <p>В подземной части: <i>Achillea submillefolium</i> L., <i>Artemisia austriaca</i> Jacq., <i>Verbena officinalis</i> L.</p>
3. Растения с низкой ИН фторидов	<p>В над- и подземной части: <i>Artemisia absinthium</i> L., <i>Artemisia vulgaris</i> L., <i>Hypericum perforatum</i> L., <i>Mentha arvensis</i> L.</p> <p>В надземной части: <i>Berteroa incana</i> L. DC., <i>Equisetum arvense</i> L., <i>Heracleum sibiricum</i> L., <i>Salvia verticillata</i> L., <i>Scabiosa ochroleuca</i> L., <i>Urtica urens</i> L.</p>

ной и низкой интенсивностью накопления (ИН) фторидов (табл. 2).

Первую группу растений составляют 5 видов – *Plantago major*, *Chamaerion angustifolium*, *Bidens tripartita*, *Clinopodium vulgare*, *Astrantia major*, поглощающих фториды во всех местах произрастания (КБН $\geq 1,0$). Вторую группу растений составляют 36 видов, накапливающих соединения фтора только в отдельных биотопах. К третьей группе растений отнесены 10 видов, характеризующихся во всех местах произрастания КБН < 1 . Среди них 4 вида, имеющих низкую ИН в над- и подземной частях, – *Artemisia absinthium*, *A. vulgaris*, *Hypericum perforatum*, *Mentha arvensis*.

По критериям оценки поглощения фторидов среди исследуемых видов растений выделены только один вид как возможный концентратор – *Chamaerion angustifolium* и два вида как возможные деконцентраторы – *Hypericum perforatum*, *Artemisia absinthium*. Но из них

только *Chamaerion angustifolium* характеризовался низкой вариабельностью содержания фторидов (стенобионтный вид относительно фторидов), другие два вида характеризовались высокой вариабельностью содержания (эврибионтные виды относительно фторидов).

Таким образом, анализ растений по комплексу критериев оценки поглощения фторидов показал, что вид *Chamaerion angustifolium* является концентратором фторидов. При этом гипотеза о наличии растений-деконцентраторов была отклонена.

Для определения семейства растений с избирательной способностью к накоплению фторидов применен аналогичный подход – анализ по среднему содержанию фторидов, КСОН и КБН фторидов. По результатам анализа представителей наиболее многочисленных семейств растений не выявлено ни одного семейства, все анализируемые растения которого обладали бы накопительной способностью по отношению к фторидам.

Коэффициенты корреляционной зависимости содержания фторидов в растениях луговых биотопов от показателей физико-химических свойств почв

Вид растения	Часть растения	$w_{F_{\text{вод}}}$	$w_{F_{\text{рух}}}$	$pH_{\text{КСИ}}$	$pH_{\text{H}_2\text{O}}$	ГК	СВО	Гумус %	P_2O_5
		мг/кг							
<i>Daucus carota</i> L.	Надз.	-0,98	-0,63	-0,12	-0,01	0,01	0,61	0,26	0,54
	Подз.	-1,0	-0,69	-0,93	-0,95	0,99	-0,68	-0,89	-0,70
<i>Centaurea jacea</i> L.	Надз.	-0,17	0,28	0,06	0,41	-0,34	0,51	-0,21	0,18
	Подз.	-0,12	0,55	0,98	0,57	-0,51	0,76	0,98	0,75
<i>Linaria vulgaris</i> M.	Надз.	0,69	0,89	0,77	0,67	-0,65	0,67	0,30	0,41
<i>Mentha arvensis</i> L.	Надз.	0,54	0,66	-0,18	0,38	-0,36	-0,61	-0,44	-0,48
	Подз.	0,71	0,50	1,0	0,75	-0,74	0,38	0,55	0,56
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Надз.	0,66	0,96	0,87	0,78	-0,68	0,88	0,57	0,94
	Подз.	-0,52	-0,59	-0,95	-0,89	0,91	-0,80	-0,88	-0,77

П р и м е ч а н и е. $w_{F_{\text{вод}}}$ ($w_{F_{\text{подв}}}$) – содержание водорастворимых (подвижных) форм фтора; $pH_{\text{КСИ}}$ – обменная кислотность; $pH_{\text{H}_2\text{O}}$ – актуальная кислотность; ГК – гидролитическая кислотность; СВО – сумма поглощенных оснований; ЕП – емкость поглощения; жирным шрифтом выделены значения, достоверные при $P < 0,05$.

Зависимость поглощения фторидов растениями луговых биотопов Северной Буковины от эдафических факторов. Для изучения миграционной способности соединений фтора в системе “почва – растение” исследовали физико-химические свойства почв. Исследование зависимости содержания фторидов в растениях луговых биотопов от содержания водорастворимых и подвижных форм фтора не выявило прямой связи между ними, хотя анализ корреляционной зависимости между содержанием фторидов в разных видах растений и показателями эдафотопы свидетельствует о специфичности накопления фтора отдельными видами (табл. 3).

Среди эврибионтных к фтору видов растений с повышенным содержанием фторидов отметим *Plantago lanceolata* как перспективный кормовой вид для улучшения минерального питания крупного рогатого скота на эндемических по гипофторозу территориях. Результаты регрессионного анализа свидетельствуют о том, что содержание фторидов в над- и подземной части *Plantago lanceolata* определяется содержанием водорастворимых и подвижных форм фтора. Содержание фторидов в подземной части больше при произрастании на некислых, бедных гумусом почвах:

$$w_{F_{\text{надз}}} = -13,455 + 2,434w_{F_{\text{вод}}} + 0,204w_{F_{\text{подв}}}; r = 0,9; r^2 = 0,92; P < 0,05,$$

$$w_{F_{\text{подз}}} = 10,889 + 8,613w_{F_{\text{вод}}} - 1,788 \text{ Гумус} + 0,797pH_{\text{H}_2\text{O}} + 0,469w_{F_{\text{подв}}};$$

$$r = 0,9; r^2 = 0,91; P < 0,05.$$

Влияние географических особенностей местопроизрастания растений на содержание фторидов в системе “почва – растение”. Для изучения влияния мезорельефа на миграционную способность соединений фтора в системе “почва – растение” определяли содержание фторидов в почве и растениях склоновых и равнинных, суходольных и заплавных биотопов Северной Буковины (рис. 2).

Доказано, что влияние местопроизрастания на накопление фторидов в растениях в основном связано с разной степенью доступности и усвоения из почвы соединений фтора, среди которых водорастворимые формы доступнее для растений, чем подвижные. При этом подвижные формы фтора доступнее на равнинных лугах, чем на склонах, что способствует накоплению фторидов в подземной части растений равнинных территорий. Обнаружено достоверное отличие содержания фторидов в надземной части растений суходолов и заплав. Отмечено, что содержание

ЛИТЕРАТУРА

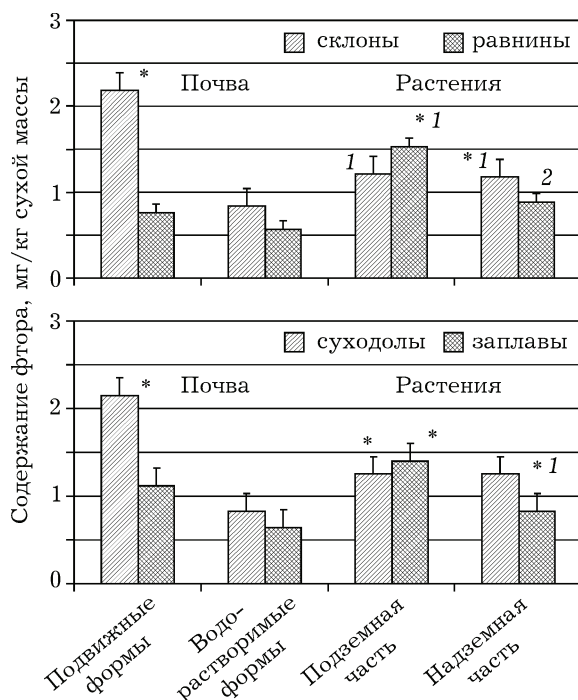


Рис. 2. Содержание фторидов в почве и растениях исследуемых биотопов Северной Буковины.

Значения достоверны ($P < 0,05$): * – по сравнению с содержанием водорастворимых форм фтора в почве; 1 – по сравнению с содержанием подвижных форм фтора в почве; 2 – по сравнению с содержанием фторидов в подземной части

фторидов в растениях суходольных лугов определяется преимущественно водорастворимыми формами фтора, а в растениях заплавных лугов – более подвижными формами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования содержания фторидов в системе “почва – растение” выявили закономерности поглощения фторидов травянистыми растениями луговых биотопов Северной Буковины. По комплексу критериев (содержанию фторидов, коэффициенту специфического относительного накопления, коэффициенту биологического накопления) определены экологические группы растений с разным уровнем накопления фторидов. Выделено растение-концентратор *Chamaerion angustifolium* (L.) Holub. Результаты исследований дают возможность оценить уровень накопления фторидов травянистыми растениями под воздействием различных абиотических факторов.

1. Ванханен В. В., Чижевський І. В., Ванханен В. Д. и др. Фторпрофилактика кариеса зубов в различных биогеохимических регионах Украины // Лікувальна справа. 1997. № 3. С. 17–20.
2. Бессонова В. П. Индикация загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами по их накоплению в растениях // Питання біоіндикації та екології. 1999. № 4. С. 11–20.
3. Попов О. И., Подригало Л. В., Даниленко Г. Н., Семко Н. Г. Воздействие фтора и его производных на окружающую среду и организм человека // Врачебная практика. 2000. № 1. С. 87–89.
4. Кравців Р. Й., Куциняк І. В. Рівень жиру, загальноного білка, казеїну та сухої речовини у молоці від корів, які піддавалися хронічній фтористій інтоксикації // Науковий вісник Львівської державної академії ветеринарної медицини ім. С. З. Гжицького. Львів. 2000. Т. 2, № 2. С. 152–157.
5. Литвинович А. В., Павлова О. Ю., Лаврищев А. В. О накоплении фтора различными сельскохозяйственными культурами при известковании дерново-подзолистой почвы конверсионным мелом // Агрохимия. 2001. № 2. С. 74–78.
6. Lu Y., Guo W. F., Yang X. Q. Fluoride content in tea and its relationship with tea quality // J. Agric Food Chem. 2004. Vol. 52, N 14. P. 4472–4476.
7. Fung K. F., Zhang Z. Q., Wong J. W., Wong M. H. Aluminium and fluoride concentrations of three tea varieties growing at Lantau Island, Hong Kong // Environ. Geochem. Health. 2003. Vol. 25, N 2. P. 219–232.
8. Правила сбора и сушки лекарственных растений: Сборник инструкций. М.: Медицина, 1985. 56 с.
9. Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н. Определитель высших растений Украины / под ред. Ю. Н. Прокудина. Киев.: Наук. думка, 1999. 548 с.
10. Сийрде А., Луйга П. Определение фторида в растениях при помощи фторид-селективного электрода // Изв. АН Эстонской ССР. 1978. Т. 27, № 1. С. 2–6.
11. Гришко В. Н. Изменение агрохимических свойств почв, загрязненных фторидами // Агрохимия. 1996. № 1. С. 85–94.
12. Сергиенко Л. И. Методика определения подвижного фтора в почве // Гігієна і санітарія. 1989. № 12. С. 53–54.
13. ДСТУ ISO 10381-4:2005. Якість ґрунту. Київ: Держспоживчстандарт, 2007. 22 с.
14. ДСТУ ISO 10390:2001. Визначення рН. Київ: Держспоживчстандарт, 2003. 7 с.
15. ДСТУ ISO 14254:2005. Визначення обмінної кислотності. Київ: Держспоживчстандарт, 2003. 8 с.
16. ДСТУ ISO 11260:2001. Визначення ємності катіонного обміну та насиченості основами. Київ: Держспоживчстандарт, 2003. 12 с.
17. ДСТУ 4405:2005. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова. Київ: Держспоживчстандарт, 2006. 18 с.
18. Кабата-Пендиас А. Фитоиндикация как инструмент для изучения окружающей среды // Сиб. экол. журн. 2001. № 2. С. 125–130.

19. Боровиков В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
20. Смага І. С. Зв'язок показників фосфатного стану і властивостей бурувато-підзолистих поверхнево-оглеєних ґрунтів // Вісник аграрної науки. 2005. Липень. С. 17–19.
21. Руденко С. С., Дмитрук Ю. М. Аналіз просторових змін алюмінію у ґрунтах природних областей Буковини // Науковий вісник Чернівецького університету: зб. наук. пр. Вип. 38. 1998. С. 44–63.
22. Методические указания по оценке качества и питательности кормов. М., 1993. 05 с.
23. Руденко С. С. Алюміній у природних біотопах. Біохімічна адаптація тварин. Чернівці: Вид-во ЧНУ “Рута”, 2001. 300 с.

Peculiarities of Fluoride Accumulation in the Plants of Meadow Biotopes of Northern Bucovina

S. S. KOSTISHIN, O. O. PEREPELITSA*, O. I. SMETANYUK*

*Chernovtsy National University named after Yuriy Fedkovich
Ukraine, Chernovtsy, Kotsyubinskogo str., 2*

**Bucovinian State Medical University
Ukraine, Chernovtsy, Theatrical square, 2*

E-mail: perepelutsya@rambler.ur

The studies of fluoride content in the system “ground-plant” were made to establish the regularities in fluoride absorption by herbaceous plants of meadow biotopes of Northern Bucovina. The ecological groups of plants with different level of fluoride absorption were determined according to the complex of criteria. A plant-concentrator *Chamaerion angustifolium* (L.) Holub was singled out.

Key words: absorption, fluorides, plants, ecological factors.