

Евгений Иванович Волошин

Красноярский государственный аграрный университет, профессор кафедры общего земледелия и защиты растений, доктор сельскохозяйственных наук, Красноярск, Россия

E-mail: ev.voloshin@yandex.ru

Александр Петрович Сергеев

Государственная станция агрохимической службы «Минусинская», директор, Минусинск, Красноярский край, Россия

E-mail: agrohim_24_2@mail.ru

Екатерина Владимировна Юферова

Государственная станция агрохимической службы «Минусинская», заведующая лабораторией агрохимического мониторинга, Минусинск, Красноярский край, Россия

E-mail: agrohim_24_2@mail.ru

**МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА
В ПОЧВАХ МИНУСИНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

В Минусинской лесостепи Красноярского края на содержание и пространственное распределение водорастворимого фтора в агроценозах оказывают влияние химический состав почвообразующих пород, условия почвообразования, свойства почв, сельскохозяйственное использование земель и техногенные факторы. На обследованных в 1999 г. пахотных почвах содержание фтора колебалось от 0,2 до 8,9 мг/кг при среднем значении 0,9 мг/кг. В 2016 г. содержание фтора в 0–20 см слое почв увеличилось в 1,1–1,7 раза. Повышению содержания фтора в почвах способствуют техногенные выбросы Саяногорского и Хакасского алюминиевых заводов ОАО «Русал Саяногорск». На уровень накопления фтора в почвах влияют нагрузка техногенных выбросов на сельскохозяйственные земли, удаленность от предприятий и погодные условия. На многолетних кормовых травах и необрабатываемых сельскохозяйственных землях степень загрязнения почв фтором выражена сильнее. Под влиянием алюминиевых заводов в Шушенском районе сформировалась фторидная геохимическая аномалия с содержанием фтора на площади 1,35 тыс. га на уровне 0,5–1,0 ПДК. На реперных участках локального мониторинга в 2016 г. содержание водорастворимого фтора в 0–20 см слое почв увеличилось в 1,3–3,3 раза. Наиболее высокие концентрации фтора наблюдаются на участках в Шушенском и Минусинском районах, расположенных на небольшом расстоянии от источников загрязнения почв. Общей закономерностью для черноземов, серых лесных и среднетерновоей почвы является пониженное содержание фтора в верхнем горизонте и его увеличение в почвообразующей породе. В 2016 г. в сравнении с 1999 г. среднее содержание фтора в профиле черноземов увеличилось в 1,6–5,5 раза, серых лесных и среднетерновоей почве в 1,3 раза. Максимальное количество водорастворимого фтора накапливается в нижней части почвенного профиля, что свидетельствует о высокой степени миграции микроэлемента в разных ландшафтах агроценозов.

Ключевые слова: мониторинг, почва, водорастворимый фтор, содержание, загрязнение, миграция, реперные участки, Минусинская лесостепь.

Evgeny I. Voloshin

Krasnoyarsk State Agrarian University, Professor at the Department of General Agriculture and Plant Protection, Doctor of Agricultural Sciences, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: ev.voloshin@yandex.ru

Alexander P. Sergeev

State Station of Agrochemical Service "Minusinskaya", Director, Minusinsk, Krasnoyarsk Region, Russia

E-mail: agrohim_24_2@mail.ru

Ekaterina V. Yuferova

State Station of the Agrochemical Service "Minusinskaya", Head of the Laboratory of Agrochemical Monitoring, Minusinsk, Krasnoyarsk Region, Russia
E-mail: agrohim_24_2@mail.ru

MONITORING OF FLUORINE CONTENT IN SOILS OF THE MINUSINSK FOREST STEPPE OF THE KRASNOYARSK REGION

In the Minusinsk forest-steppe of the Krasnoyarsk Region, the content and spatial distribution of water-soluble fluorine in agrocenoses is influenced by the chemical composition of soil-forming rocks, soil formation conditions, soil properties, agricultural land use and technogenic factors. On the arable soils surveyed in 1999, the fluorine content varied from 0.2 to 8.9 mg/kg with an average value of 0.9 mg/kg. In 2016, the fluorine content in the 0–20 cm soil layer increased by 1.1–1.7 times. Man-made emissions from the Sayanogorsk and Khakass aluminum plants of JSC "Rusal Sayanogorsk" contribute to an increase in the content of fluorine in soils. The level of fluoride accumulation in soils is influenced by the load of man-made emissions on agricultural land, distance from enterprises and weather conditions. On perennial forage grasses and uncultivated agricultural lands, the degree of soil contamination with fluorine is more pronounced. Under the influence of aluminum smelters in the Shushensky District, a fluoride geochemical anomaly was formed with fluorine content on an area of 1.35 thousand hectares at the level of 0.5-1.0 MAC. On the reference sites of local monitoring in 2016, the content of water-soluble fluorine in the 0–20 cm soil layer increased 1.3–3.3 times. The highest fluorine concentrations are observed in the Shushensky and Minusinsky Districts areas, located at a short distance from the sources of soil pollution. A general regularity for chernozems, gray forest soils and midsoddy soils is a lowered content of fluorine in the upper horizon and its increase in the parent rock. In 2016, in comparison with 1999, the average content of fluorine in the profile of chernozems increased by 1.6–5.5 times, in gray forest and midsoddy soil by 1.3 times. The maximum amount of water-soluble fluorine accumulates in the lower part of the soil profile, which indicates a high degree of migration of the trace element in different landscapes of agrocenoses.

Keywords: monitoring, soil, water-soluble fluorine, content, pollution, migration, reference sites, Minusinsk forest-steppe.

Введение. Фтор принимает участие в минеральном питании растений [1]. В умеренных концентрациях микроэлемент оказывает положительное влияние на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур. Высокие концентрации фтора в почвах агроценозов уменьшают урожайность растений и ухудшают качественные показатели растениеводческой продукции [2].

На содержание и пространственное распределение фтора в почвах сельскохозяйственных угодий оказывают влияние его концентрация в материнских породах, направленность и интенсивность почвообразовательных процессов, агрофизические и агрохимические свойства почв [3–5].

Поступление фтора в агроценозы в основном происходит за счет атмосферных выбросов промышленных предприятий. Основными источниками загрязнения сельскохозяйственных земель фторидами являются предприятия цветной металлургии, по переработке полезных

ископаемых, ТЭЦ, систематическое использование в сельском хозяйстве фторсодержащих агрохимикатов [3, 5–10]. Техногенные источники фторидного загрязнения оказывают негативное влияние на агроэкологическое состояние сельскохозяйственных угодий.

Количество фтора в экосистеме служит информативным показателем обеспеченности этим элементом человека и животных. При пониженном или избыточном поступлении фтора в их организм возникают гипофтороз, флюороз и другие заболевания [11]. Дефицитное и повышенное содержание фтора в экосистеме наносит большой вред состоянию здоровья населения и животных.

В агрохимической службе при проведении эколого-токсикологического мониторинга в почвах определяют водорастворимую форму фтора как наиболее миграционную и доступную для растений. Водорастворимая форма фтора в значительной степени контролирует поведение элемента в системе почва – растение. Прове-

дение постоянных мониторинговых наблюдений на территориях локального загрязнения фтором позволяет оценить уровень накопления фтора в почвах, растениях и разработать мероприятия по улучшению экологического состояния сельскохозяйственных земель

Цель исследований. Экологическая оценка содержания водорастворимого фтора в пахотных почвах Минусинской лесостепи Красноярского края.

Объекты и методы исследований. Минусинская лесостепная зона находится в южной земледельческой части Красноярского края. В эту природную зону входят лесостепная, подтаежная и степная подзоны, которые характеризуются специфической растительностью, особенностями почвенного покрова и климата. Сумма среднесуточных температур выше 10 °С по зоне колеблется от 1600 до 2039 °С, продолжительность безморозного периода составляет 97–109 дней. Среднегодовая сумма осадков равна 322–600 мм.

Почвенный покров пахотных угодий характеризуется большим разнообразием. Преобладающими почвами являются черноземы, которые занимают 85 % обследованной площади. Серые лесные, дерново-подзолистые, интразональные и другие почвы распространены на 15 % пашни [12]. Агрохимическая характеристика почв по административным районам зоны представлена в таблице 1. Почвы агроценозов различаются по уровню потенциального и эффективного плодородия. Среди пахотных угодий преобладают почвы с повышенным содержанием гумуса и нейтральной реакцией среды. Обеспеченность почв подвижным фосфором средняя, калием повышенная.

Эколого-токсикологическое обследование почв на содержание водорастворимого фтора и исследование на реперных участках локального мониторинга проводили согласно принятым в агрохимической службе методическим указаниям [13]. Водорастворимый фтор в почвенных образцах определяли с помощью ионоселективного электрода.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика 0–20 см слоя пахотных почв юга Красноярского края

Район	Площадь обследования, тыс. га	Средневзвешенное содержание			
		Гумус, %	pH _{KCl}	Подвижный фосфор	Обменный калий
Ермаковский	44,4	6,5	5,4	164	78
Идринский	55,3	8,2	6,0	161	118
Каратузский	65,3	7,1	5,6	168	84
Краснотуранский	109,5	6,6	6,2	172	119
Курагинский	86,3	7,1	6,0	160	94
Минусинский	118,6	4,3	6,6	203	123
Шушенский	49,6	3,9	6,2	224	87
По зоне	529,0	6,1	6,1	179	105

Результаты исследований и их обсуждение. Содержание и пространственное распределение водорастворимого фтора в почвах Минусинской лесостепной зоны зависят от концентрации элемента в почвообразующих породах, условий почвообразования, погодных условий, свойств почв, вида сельскохозяйственных угодий и техногенных факторов. На обследованной в 1999 г. территории содержание фтора в верхнем горизонте варьировало от 0,2 до 8,9 мг/кг, или в 44,5 раза. В 2016 г. в пахотных почвах

разных районов лесостепной зоны произошло небольшое увеличение содержания водорастворимого фтора (табл. 2). В сравнении с пашней многолетние кормовые угодья и необрабатываемые сельскохозяйственные земли характеризуются более высоким содержанием фтора. В разные годы обследования среднее содержание фтора в незагрязненных почвах находилось на уровне 0,9–1,2 мг/кг, что соответствовало фоновым значениям элемента (0,5–2,5 мг/кг) в агроценозах Сибири [3–5, 6]. На территории

Шушенского района формируется фторидная геохимическая аномалия, в которой содержание фтора на площади 1,35 тыс. га колеблется в пределах 0,5–0,9 ПДК. Повышению содержания фтора по розе ветров способствуют выбросы Саяногорского и Хакасского алюминиевых заво-

дов, находящихся на территории Республики Хакасия. По данным Института географии СО РАН [14], в последние годы производство алюминия на этих предприятиях увеличилось в несколько раз, возросла техногенная нагрузка на экосистему.

Таблица 2

**Содержание водорастворимого фтора в 0–20 см слое почв
Минусинской лесостепной зоны, мг/кг**

Район	Количество образцов, шт.	Год исследования			
		1999		2016	
		min–max	Среднее	min–max	Среднее
Ермаковский	250	0,2–2,0	0,7	0,4–4,3	1,0
Идринский	776	0,3–2,6	0,8	0,4–4,0	1,0
Каратузский	311	0,3–1,7	0,7	0,4–3,6	1,2
Краснотуранский	676	0,3–2,5	0,8	0,5–3,7	1,1
Курагинский	259	0,3–1,7	0,9	0,3–3,7	1,0
Минусинский	640	0,5–3,7	1,2	0,5–3,9	1,3
Шушенский	376	0,3–8,9	1,3	0,7–8,9	2,2
По зоне	3288	0,2–8,9	0,9	0,3–8,9	1,2

Примечание: предельно допустимая концентрация (ПДК) водорастворимого фтора в почвах равна 10 мг/кг [15].

Черноземы выщелоченные и обыкновенные реперных участков локального мониторинга характеризуются неодинаковым уровнем плодородия и отличаются по содержанию водорастворимого фтора в профиле почв (табл. 3). Различия в содержании фтора в черноземах связаны с особенностями почвообразовательного процесса в лесостепной зоне, разной концентрацией элемента в почвообразующих породах, погодными условиями и рельефом территории реперных участков. Общей закономерностью для черноземов является пониженное содержание фтора в

верхнем горизонте почв и его увеличение в нижней части профиля. В 2016 г. среднее содержание водорастворимого фтора в профиле этих почв увеличилось в сравнении с 1999 г. в 1,3–5,5 раза. Наиболее высокие концентрации фтора наблюдаются на реперном участке № 17 Шушенского района, находящемся на небольшом расстоянии от источников загрязнения. Максимальное количество фтора в черноземах отмечается в нижней части профиля, что связано с увеличением количества карбонатов и появлением легкорастворимых солей [3].

Таблица 3

Содержание водорастворимого фтора в 0–20 см слое почв реперных участков, мг/кг

Номер РУ	Административный район	Тип, подтип почвы	Год исследования	
			1999	2016
1	2	3	4	5
4	Ермаковский	Светло-серая лесная	0,7	0,9
14	Ермаковский	Среднедерновая оподзоленная	1,6	2,1
7	Идринский	Чернозем выщелоченный	0,9	1,6
19	Каратузский	Светло-серая лесная	1,3	1,8
5	Краснотуранский	Чернозем выщелоченный	0,5	1,3
10	Краснотуранский	Чернозем обыкновенный	0,8	1,3

1	2	3	4	5
8	Курагинский	Серая лесная	1,3	2,1
13	Курагинский	Чернозем выщелоченный	1,0	2,7
1	Минусинский	Чернозем обыкновенный	1,5	1,9
11	Минусинский	Чернозем выщелоченный	1,3	4,3
12	Минусинский	Чернозем обыкновенный	1,7	2,7
3	Шушенский	Чернозем выщелоченный	1,3	1,8
17	Шушенский	Чернозем обыкновенный	2,4	5,9

Таблица 4

Распределение водорастворимого фтора в профиле черноземов, мг/кг

Номер РУ	Тип, подтип почв	Глубина отбора образцов, см	Гумус, %	рН _{KCl}	Физическая глина, %	Год исследования	
						1999	2016
1	2	3	4	5	6	7	8
7	Чернозем выщелоченный	0–20	6,0	5,7	47,6	0,9	1,6
		20–40	5,8	5,8	48,9	0,7	1,9
		40–60	2,3	6,0	45,8	0,9	2,7
		60–80	4,2	6,1	44,4	1,1	3,4
		80–100	4,6	6,4	40,5	1,5	4,0
5	Чернозем выщелоченный	0–20	3,7	5,6	36,9	0,5	1,3
		20–40	3,7	5,7	40,3	0,5	1,9
		40–60	1,4	5,9	38,7	1,3	2,4
		60–80	1,4	6,2	35,4	1,6	3,0
		80–100	1,1	6,5	33,1	2,3	4,1
10	Чернозем обыкновенный	0–20	6,0	6,1	37,9	0,8	1,3
		20–40	4,8	6,2	27	0,8	1,5
		40–60	1,1	6,5	39,3	1,1	2,8
		60–80	1,1	6,7	37,3	1,4	3,1
		80–100	1,1	6,9	34,7	1,9	3,9
13	Чернозем выщелоченный	0–20	10,1	5,6	37,4	1,0	2,7
		20–40	10,4	5,7	39,3	1,5	2,3
		40–60	3,7	5,9	43,5	1,2	2,3
		60–80	1,2	6,2	35,6	1,2	3,6
		80–100	0,9	6,6	33,1	1,3	4,5
1	Чернозем обыкновенный	0–20	2,3	6,2	23,3	1,5	1,9
		20–40	2,3	6,4	26,2	1,3	1,5
		40–60	1,2	6,7	35,1	1,5	2,1
		60–80	1,1	6,9	32,5	1,9	2,3
		80–100	1,1	7,0	24,5	2,2	3,3
11	Чернозем выщелоченный	0–20	3,4	5,5	33,9	1,3	4,3
		20–40	1,7	5,8	32,6	1,2	3,9
		40–60	2,0	6,0	27,2	1,6	3,8
		60–80	1,0	6,4	32,9	1,3	4,8
		80–100	0,7	6,6	29,3	1,3	5,2

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
12	Чернозем обыкновенный	0–20	3,3	6,2	32,8	1,7	2,7
		20–40	2,4	6,3	32,1	1,6	3,7
		40–60	1,1	6,4	37,2	1,9	4,0
		60–80	0,7	6,6	32,7	1,9	5,1
		80–100	0,6	6,8	28,4	2,9	5,2
3	Чернозем выщелоченный	0–20	5,6	5,6	35,6	1,3	1,8
		20–40	3,7	5,8	34,1	0,8	1,2
		40–60	1,1	6,2	21,9	0,7	1,1
		60–80	1,1	6,4	22,8	1,0	1,5
		80–100	1,1	6,7	22,5	0,7	2,2
17	Чернозем обыкновенный	0–20	7,1	6,1	21,3	2,4	5,9
		20–40	7,4	6,4	25,9	1,7	5,0
		40–60	7,5	6,5	21,5	2,3	5,2
		60–80	7,7	7,1	19,2	2,2	3,3
		80–100	7,8	7,3	23,2	1,9	4,4

В серых лесных и среднетеррасной почвах варьирование содержания водорастворимого фтора в почвенном профиле выражено слабее в сравнении с черноземами (табл. 5). В 2016 г. по сравнению с 1999 г. среднее содержание водорастворимого фтора в профиле этих почв увеличилось в 1,3 раза. В разных почвах реперных участков максимальное содержание водо-

растворимого фтора накапливается на глубине 80–100 см, что свидетельствует о высокой миграционной способности этого элемента. В профиле почв реперных участков содержание гумуса, физической глины и реакция почвенного раствора ($r=0,15-0,27$) оказали слабое влияние на концентрацию водорастворимого фтора.

Таблица 5

Профильное распределение водорастворимого фтора в серых лесных и среднетеррасной почвах, мг/кг

Номер ру	Тип, подтип почв	Глубина отбора образцов, см	Гумус, %	pH _{ксл}	Физическая глина, %	Год исследования	
						1999	2016
1	2	3	4	5	6	7	8
4	Светло-серая лесная	0–20	2,3	5,4	43,5	0,7	0,9
		20–40	2,3	5,5	43,4	0,6	1,1
		40–60	1,2	5,9	37,6	0,7	1,1
		60–80	1,1	6,0	24,9	0,8	1,3
		80–100	1,1	6,4	35,1	0,8	1,6
19	Светло-серая лесная	0–20	2,3	5,3	34,8	1,3	1,6
		20–40	2,1	5,4	35,4	1,2	1,6
		40–60	0,5	5,7	30,6	1,1	1,6
		60–80	0,5	5,9	24,9	1,0	1,7
		80–100	0,5	5,9	23,4	1,2	1,7
8	Серая лесная	0–20	4,4	5,1	41,4	1,2	1,1
		20–40	1,1	5,2	41,6	1,3	1,2
		40–60	1,1	5,3	33,1	1,3	1,2
		60–80	1,1	6,4	24,2	1,3	1,5
		80–100	1,1	6,5	19,3	1,3	1,8

1	2	3	4	5	6	7	8
14	Среднедерновая оподзоленная	0–20	4,4	5,1	36,8	1,0	1,1
		20–40	3,3	5,2	37,9	1,1	1,5
		40–60	2,7	5,2	39,6	1,2	1,4
		60–80	1,1	5,6	33,9	1,2	1,7
		80–100	1,1	5,9	32,9	1,2	1,9

Заключение. На содержание и пространственное распределение водорастворимого фтора в почвах Минусинской лесостепной зоны оказывают влияние концентрация элемента в почвообразующих породах, условия почвообразования, свойства почв, погодные условия, вид сельскохозяйственных угодий и техногенные факторы. Среднее содержание фтора на площади 529,0 тыс. га равно 1,2 мг/кг при колебаниях от 0,2 до 8,9 мг/кг. На территории Шушенского района формируется фторидная геохимическая аномалия с содержанием фтора в почвах на площади 1,35 тыс. га на уровне 0,5–0,9 ПДК. Повышению содержания фтора в почвах способствуют техногенные выбросы Саяногорского и Хакасского алюминиевых заводов ОАО «Русал Саяногорск». За 17-летний период наблюдений содержание фтора в профиле разных почв реперных участков локального мониторинга увеличилось в 1,3–5,5 раза. Максимальное содержание фтора отмечается в нижней части профиля почв, что свидетельствует о высокой степени миграции микроэлемента в разных ландшафтах агроценозов.

Литература

1. *Cabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.
2. *Шелепова О.В., Потатуева Ю.А.* Агроэкологическое значение фтора // *Агрохимия*. 2003. № 9. С. 78–87.
3. *Егунова Н.А.* Мониторинг экологического состояния почв в зоне техногенного воздействия Саяногорского алюминиевого завода. Абакан: Изд-во Хакас. гос. ун-та им. Н.Ф. Катанова, 2009. 116 с.
4. *Конарбаева Г.А.* Галогены в почвах юга Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 200 с.
5. *Танделов Ю.П.* Фтор в системе почва – растение. Красноярск, 2012. 146 с.
6. *Антонов И.С., Чарков С.М., Градобоева Н.А.* и др. Мониторинг фторидного состояния агроэкосистем в зоне деятельности Саяногорского алюминиевого завода. Абакан: Изд-во Хакас. гос. ун-та им. Н.В. Катанова, 2006. 142 с.
7. *Косицина А.А.* Влияние водорастворимого фтора на загрязнение почв и растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2009. 16 с.
8. *Якименко В.Н., Конарбаева Г.А., Бойко В.С.* и др. Изменения содержания фтора в почвах лесостепи при сельскохозяйственном использовании // *Агрохимия*. 2020. № 4. С. 38–46.
9. *Davydova N.D., Znamenskaya T.I., Lopatkin D.A.* Identification of chemical elements as pollutants and their primary distribution in steppes of the Southern Minusinsk Depression // *Contemporary Problems of Ecology*. 2013. Vol. 6, N 2. P. 228–235.
10. *Lakshmi D.V., Rao K.J., Ramprakash., Reddy A.P.K.* Monitoring of fluoride content in surface soils used for crop cultivation in Ramannapet Mandal of Nalgonda district, Telangana, India // *Environ. Inter. J. Sci. Tech*. 2016. V. 11. N 2-4. P. 59–67.
11. *Скальный А.В.* Микроэлементы. Изд. 4-е, доп., перераб. М., 2018. 295 с.
12. *Крупкин П.И.* Черноземы Красноярского края. Красноярск, 2002. 332 с.
13. *Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения.* М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
14. *Давыдова Н.Д., Знаменская Т.И.* Загрязнение степных геосистем Южно-Минусинской котловины фторидами при производстве алюминия // *География и природные ресурсы*. 2016. № 1. С. 55–61.
15. *Гигиенические нормативы ГН 2.1.7. 2041-06.* Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М., 2006.

Literatura

1. *Cabata-Pendias A.* Trase Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.
2. *Shelepova O.V., Potatueva Yu.A.* Agro`ekologicheskoe znachenie flora // *Agrohimiya*. 2003. № 9. S. 78–87.
3. *Egunova N.A.* Monitoring `ekologicheskogo sostoyaniya pochv v zone tehnogenno go vozdeystviya Sayanogorskogo alyuminievogo zavoda. Abakan: Izd-vo Hakas. gos. un-ta im. N.F. Katanova, 2009. 116 s.
4. *Konarbaeva G.A.* Galogeny v pochvah yuga Zapadnoj Sibiri. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004. 200 s.
5. *Tandelov Yu.P.* Ftor v sisteme pochva – rastenie. Krasnoyarsk, 2012. 146 s.
6. *Antonov I.S., Charkov S.M., Gradoboeva N.A.* i dr. Monitoring ftoridnogo sostoyaniya agro`ekosistem v zone deyatel'nosti Sayanogorskogo alyuminieva zavoda. Abakan: Izd-vo Hakas. gos. un-ta im. N.V. Katanova, 2006. 142 s.
7. *Kosicina A.A.* Vliyanie vodorastvorimogo flora na zagryaznenie pochv i rastenij: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Krasnoyarsk, 2009. 16 s.
8. *Yakimenko V.N., Konarbaeva G.A., Bojko V.S.* i dr. Izmeneniya sodержaniya flora v pochvah lesostepi pri sel'skohozyajstvennom ispol'zovanii // *Agrohimiya*. 2020. № 4. S. 38–46.
9. *Davydova N.D., Znamenskaya T.I., Lopatkin D.A.* Identification of chemical elements as pollutants and their primary distribution in steppes of the Southern Minusinsk Depression // *Contemporary Problems of Ecology*. 2013. Vol. 6, N 2. P. 228–235.
10. *Lakshmi D.V., Rao K.J., Ramprakash., Reddy A.P.K.* Monitoring of fluoride content in surface soils used for crop cultivation in Ramannapet Mandal of Nalgonda district, Telangana, India // *Environ. Inter. J. Sci. Tech*. 2016. V. 11. N 2-4. P. 59–67.
11. *Skal'nyj A.V.* Mikro`elementy. Izd. 4-e, dop., pererab. M., 2018. 295 s.
12. *Krupkin P.I.* Chernozemy Krasnoyarskogo kraya. Krasnoyarsk, 2002. 332 s.
13. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. M.: Rosinformagroteh, 2003. 240 s.
14. *Davydova N.D., Znamenskaya T.I.* Zagryaznenie stepnyh geosistem Yuzhno-Minusinskoj kotloviny ftoridami pri proizvodstve alyuminiya // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016. № 1. S. 55–61.
15. Gigienicheskie normativy GN 2.1.7. 2041-06. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve. M., 2006.