

## Агроэкология

УДК 633.2:581.192.1:631.46

# ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГАЗОННЫХ РАСТЕНИЙ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА \*

© 2018 г. А. Н. Лебедев<sup>1</sup>, М. В. Хазов<sup>1</sup>, О. М. Поцелуев<sup>2</sup>,  
М. А. Лебедева<sup>3, 4</sup>, Т. И. Сиромля<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Сибирский научно-исследовательский институт кормов СФ НЦА РАН  
630501 п. Краснообск, а/я 532, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии  
630060 Новосибирск, ул. Тимакова, 2, Россия

<sup>3</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630090 Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2, Россия

<sup>4</sup>Новосибирский государственный аграрный университет  
630039 Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, Россия

E-mail: sl20095@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.09.2016 г.

Изучено и оценено по статистическим, гигиеническим и биогеохимическим критериям содержание 32-х химических элементов в газонных растениях на примере мятлика лугового (*Poa pratensis* L.). Выявлены количественные изменения элементного химического состава растений в течение вегетационного периода. Установлено положительное влияние обработки биопрепаратами на густоту стеблестоя газонов.

Ключевые слова: биопрепараты, элементный химический состав, газонные растения, вегетационный период.

DOI: 10.7868/S0002188118020072

## ВВЕДЕНИЕ

Неоценимую роль в экологической оптимизации городской среды и создании благоприятного микроклимата выполняют зеленые насаждения, неотъемлемой частью которых являются газоны. Они выполняют ряд важнейших экологических функций: очищают воздушный бассейн города от пыли, вредных газов, дыма, предотвращают ветровую и водную эрозию почв и др. Кроме того, газоны, как деятельные компоненты окружающей среды, могут служить индикаторами, характеризующих ее состояние [1, 2]. В городах из-за загрязнения атмосферы и почвенного покрова происходит трансформация физиологических и биохимических функций растений и, как следствие, снижение декоративных качеств и санитарно-гигиенических свойств зеленых насаждений [2].

Одним из подходов, повышающих продуктивность, качество и устойчивость растений в условиях действия неблагоприятных факторов, является при-

менение биологических препаратов нового поколения [3–5], что может быть использовано не только для улучшения показателей растений в составе газонов, но и пастбищного травостоя.

Мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) – один из основных видов злаковых трав, входящих в состав специализированных газонных травосмесей для создания высококачественных газонов [6], также является ценным пастбищным кормовым растением [7]. Кроме того, у данного вида не выявлены барьеры, ограничивающие поступление свинца в фитомассу при возрастании концентрации элемента в окружающей среде. Отмечено, что при концентрации >10 мг Pb/кг фитомассы начинается процесс гибели злаковой культуры (коэффициент корреляции равен 0.81) [1].

Цель работы – исследование и оценка по статистическим, гигиеническим и биогеохимическим критериям элементного химического состава многолетних газонных трав на примере *Poa pratensis* L. в течение вегетационного периода и при внесении биопрепаратов, расчет его биогеохимических показателей и биологической продуктивности.

\* Работа выполнена при частичной поддержке Российского научного фонда (проект № 15-16-30003).

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлся сформировавшийся травостой из многолетней газонной травы, преимущественно состоявший из *P. pratensis*. Опыт проводили на размеченных систематическим способом делянках старовозрастных газонов г. Новосибирска. Площадь делянок 3 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная [8]. Варианты опыта: 1 – контроль (обработка делянок водопроводной водой), 2 – обработка травостоя препаратом фульвогумата “Иван Овсинский”, 20 мл/3 м<sup>2</sup>. Препарат содержит соли гуминовых кислот (40–60 г/л), а также фульвокислот, кремниевой кислоты и некоторое количество химических элементов (ХЭ). Проведенный анализ показал следующее содержание ХЭ, мг/л: Ca – 2800, Fe – 115, Mg – 54, Mn – 3.1, Zn – 2.6, Cu – 2.5, Ni – 1.2, Co – 0.31, Cr – 0.11, Pb – 0.03, Cd – 0.01, Hg – 0.01; 3 – обработка биопрепаратом на основе штамма бактерии *Bacillus thuringiensis* ssp. *fukuokaensis*, 250 мл/3 м<sup>2</sup>. Данный штамм обладает полифункциональными свойствами: инсектицидно активен в отношении насекомых отрядов *Lepidoptera* и *Diptera*, проявляет противомикробное (подавляет рост фитопатогенных грибов и бактерий) и ростстимулирующее действие за счет синтезируемых им метаболитов. Предполагают, что разрабатываемый препарат можно применять как для обработки почвы (санации почвы), так и в различных фазах развития растения (обработка семян, в течение вегетации, при закладке урожая на хранение); 4 – обработка растений фульвогуматом в сочетании с бактериальным биопрепаратом (20 мл + 250 мл/3 м<sup>2</sup>). Обработку растений осуществляли путем однократного полива делянок рабочим раствором из расчета 10 л/3 м<sup>2</sup>. Длительность эксперимента составила 46 сут. Обработку биопрепаратами проводили 30 июня, сбор образцов – через 14 (14 июля) и 46 (15 августа) сут после обработки.

Учет густоты травостоя проводили подсчетом количества побегов на стационарных площадках 0.25 м<sup>2</sup> [9]. Определение общего количества ХЭ проводили после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрографического анализа с дуговым аргоновым двухструйным плазмотроном. Массовую долю азота и сырого протеина определяли по ГОСТ 32044.1-2012. Содержание ХЭ приведено в пересчете на абсолютно-сухое вещество. Калибровку приборов и контроль точности измерения концентрации химических элементов выполняли по аттестованным величинам их массовой доли в государственном стандартном образце состава травяной муки злаковой (гранулированной) (ТМЗг-01) № 10-176-2011. Относительная погрешность количественного определения ХЭ в пробах находилась в пределах 10%.

Интенсивность поглощения ХЭ оценивали по коэффициенту биологического поглощения  $A_x$

(отношение количества ХЭ в золе растений к общему их содержанию в почве) и коэффициенту биогеохимической подвижности  $B_x$  (отношение содержания ХЭ в сухом веществе растений к их подвижным формам, извлекаемым из почв ацетатно-аммонийным буферным раствором pH 4.8).

Статистическую обработку данных провели на ПК с использованием программы SNEDEKOR v 4.75 [10]. Проверка нормальности распределения анализированных ХЭ была проведена по критериям Уилка–Шапиро, Колмогорова–Смирнова, омега-квадрат, Кульбака, Джири. Проверку гипотез о равенстве дисперсий в нормально распределенных выборках проводили по критериям Кокрена, Хартли, Бартлетта. При подтверждении гипотезы в дальнейшем проводили однофакторный параметрический дисперсионный анализ. При неравных дисперсиях или аномальном распределении применяли непараметрический дисперсионный анализ по критериям Краскела–Уоллиса, Уилсона, Ni-квадрат. В таблицах приведены средние арифметические, ошибки среднего арифметического, коэффициенты вариации. При статистическом анализе критический уровень значимости  $p$  принимался равным 0.05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По показателю зольности растения контрольных и опытных образцов (табл. 1) достоверных различий не имели и, согласно нормативным требованиям качества кормов [11], на начальном этапе эксперимента соответствовали нормам злаковых трав (содержание сырой золы ≤ 10%). В августе отмечено достоверное увеличение зольности и некоторое превышение допустимого уровня содержания тяжелых металлов (ТМ) в отдельных пробах (табл. 1). Так как величина соотношения содержания Cr: Ni находилась в пределах 0.50–0.70 (лишь в отдельных пробах достигала 0.83–1.02), то увеличение количества золы в растениях не было связано с запыленностью [12], а являлось следствием увеличения накопления зольных элементов в растениях в течение периода вегетации [13].

Почвы исследованных газонов характеризовались значительной неоднородностью гранулометрического состава, также в них сильно варьировало валовое содержание и количество подвижных форм ХЭ. Несмотря на это, в растительных образцах отмечено постоянство их химического состава. Ранее уже неоднократно указывали, что важным фактором, определяющим элементный химический состав растений, является их систематическая принадлежность, также было отмечено доминирование генетического фактора в накоплении ХЭ растениями, т.е. их способность регулировать

Таблица 1. Содержание химических элементов в растениях *P. pratensis* и коэффициенты их биологического поглощения ( $A_x$ )

ХЭ, мг/кг	Варианты										Кларк в растениях суши [23]	Норма [22] МДУ [28] в грубых кормах
	Контроль	$A_x$	Фульвогуматы	$A_x$	<i>Vacillus thuringiensis</i>	$A_x$	Комплекс препаратов	$A_x$				
Al	775±100 1460±170	0.12±0.01 0.36±0.03	960±63 2540±670	0.16±0.04 0.58±0.01	1070±80 2480±310	0.14±0.01 0.52±0.07	813±29 1250±70	0.12±0.01 0.31±0.01	300	–		
As	1.3±0.1 1.7±0.1	0.98±0.15 1.24±0.19	1.7±0.3 1.9±0.3	0.55±0.02 0.97±0.24	2.0±0.1 1.9±0.3	1.23±0.13 1.58±0.44	1.6±0.2 1.6±0.2	0.80±0.06 1.39±0.57	–	0.5		
B	5.0±0.3 5.3±0.1	1.05±0.09 1.18±0.14	5.6±0.4 5.8±0.8	0.95±0.07 1.03±0.09	5.1±0.2 6.0±0.2	0.92±0.12 1.11±0.01	5.5±0.1 5.5±0.2	0.87±0.05 1.01±0.10	25	27–65		
Ba	65±5 88±4	1.5±0.2 2.6±0.3	72±2 86±7	1.3±0.4 1.9±0.4	80±1 96±5	1.4±0.1 2.3±0.1	71±5 84±5	1.1±0.1 2.5±0.1	22	–		
Be	0.05±0.01 0.08±0.01	0.35±0.06 0.65±0.04	0.06±0.01 0.12±0.03	0.28±0.02 0.61±0.03	0.07±0.01 0.12±0.01	0.38±0.03 0.84±0.25	0.06±0.01 0.08±0.01	0.25±0.01 0.56±0.02	0.10	–		
Ca	7900±620 7780±460	4.2±0.2 5.8±0.4	9360±250 7200±480	4.6±0.2 3.2±0.4	8640±910 8510±720	3.7±0.4 4.7±1.1	7410±340 8030±520	3.7±0.1 5.9±0.6	15 000	6000		
Cd	0.10±0.01 0.12±0.01	1.74±0.28 1.86±0.03	0.12±0.01 0.14±0.02	1.27±0.05 1.56±0.17	0.12±0.01 0.16±0.01	1.87±0.18 2.12±0.33	0.11±0.01 0.13±0.01	1.56±0.30 1.89±0.04	0.005	– 0.3		
Co	0.19±0.01 0.28±0.01	0.17±0.01 0.31±0.03	0.28±0.01 0.49±0.01	0.23±0.04 0.49±0.08	0.26±0.01 0.47±0.01	0.25±0.03 0.47±0.04	0.17±0.01 0.28±0.01	0.18±0.01 0.31±0.02	1.0	0.3–1.0		
Cr	1.2±0.2 2.2±0.2	0.16±0.02 0.32±0.04	1.4±0.1 3.1±0.9	0.17±0.02 0.37±0.07	1.8±0.1 3.0±0.3	0.24±0.02 0.42±0.06	1.3±0.1 1.8±0.1	0.13±0.04 0.22±0.01	1.8	– 0.5		
Cu	12.1±0.4 15.6±0.5	5.7±0.5 7.4±0.9	13.1±1.1 15.8±1.3	4.6±0.6 6.4±1.7	14.4±1.1 16.1±1.1	4.7±0.4 5.5±0.3	14.0±0.9 17.7±2.2	3.9±0.9 7.6±1.6	10	3–12 30		
Fe	415±68 712±79	0.13±0.02 0.29±0.00	501±36 1210±310	0.18±0.03 0.45±0.04	563±58 1090±120	0.16±0.02 0.42±0.04	451±17 660±36	0.14±0.01 0.26±0.03	200	25–50 100		
Ga	0.27±0.01 0.38±0.01	0.28±0.04 0.45±0.01	0.26±0.01 0.57±0.01	0.32±0.05 0.63±0.02	0.26±0.01 0.58±0.01	0.32±0.03 0.60±0.03	0.29±0.01 0.38±0.01	0.28±0.02 0.42±0.03	0.05	–		
La	0.6±0.1 0.9±0.1	0.25±0.04 0.52±0.01	0.8±0.1 1.3±0.3	0.22±0.01 0.51±0.05	1.0±0.1 1.3±0.1	0.37±0.04 0.55±0.12	0.7±0.1 0.9±0.1	0.19±0.01 0.38±0.01	0.8	–		
Mo	5±1 6±1	43.5±0.1 33.0±11.7	6±2 5±1	25.0±3.3 18.8±6.8	4±1 6±1	31.1±8.5 30.5±5.4	4±1 6±1	21.2±4.6 24.0±12.7	0.6	0.2–2.5 2–3		
Mg	2020±100 1930±80	2.43±0.07 3.32±0.12	2210±100 1900±90	2.69±0.07 2.73±0.68	2160±180 2360±250	2.11±0.19 3.12±0.75	1840±90 2110±130	1.96±0.13 3.40±0.02	3200	1800		
Mn	39±7 45±1	0.67±0.26 0.93±0.10	41±5 54±9	0.53±0.05 0.80±0.01	41±1 58±4	0.55±0.04 0.94±0.10	32±3 40±1	0.37±0.06 0.73±0.03	240	20–60		
Na	251±53 324±19	0.15±0.02 0.24±0.01	284±26 660±190	0.19±0.05 0.44±0.08	370±26 537±61	0.24±0.01 0.40±0.05	341±23 346±18	0.24±0.02 0.26±0.03	1200	1000		

Таблица 1. Окончание

ХЭ, мг/кг	Варианты										Кларк в растении суши [23]	Норма [22] МДУ [28] в грубых кормах
	Контроль	A <sub>x</sub>	Фульвогуматы	A <sub>x</sub>	<i>Bacillus thuringiensis</i>	A <sub>x</sub>	Комплекс препаратов	A <sub>x</sub>	A <sub>x</sub>			
Ni	2.2±0.2 3.1±0.1	0.51±0.04 0.77±0.01	2.3±0.1 3.8±0.7	0.54±0.05 0.74±0.01	2.6±0.2 3.7±0.2	0.51±0.03 0.78±0.02	2.2±0.1 3.1±0.1	0.45±0.03 0.67±0.02	2.0	— 3.0		
Pb	0.6±0.1 1.1±0.1	0.18±0.17 0.46±0.01	0.8±0.1 1.5±0.3	0.47±0.23 0.83±0.02	0.9±0.1 1.5±0.1	0.47±0.05 0.81±0.01	0.8±0.0 0.9±0.0	0.47±0.03 0.52±0.05	2.5	— 5.0		
Sc	0.13±0.02 0.24±0.02	0.11±0.02 0.31±0.02	0.17±0.02 0.42±0.14	0.10±0.01 0.36±0.05	0.18±0.01 0.40±0.08	0.14±0.02 0.44±0.22	0.14±0.02 0.57±0.38	0.09±0.03 0.23±0.02	0.008	—		
Si	26 200±1300 32 900±1300	0.9±0.1 1.5±0.1	27 500±1100 30 200±3700	0.8±0.1 1.1±0.1	34 200±1800 35 700±1100	1.0±0.1 1.3±0.2	28 600±1300 33 300±1900	0.9±0.1 1.5±0.1	3000	10 000 —		
Sn	0.4±0.1 0.7±0.1	0.74±0.03 1.69±0.30	0.6±0.1 0.8±0.2	1.19±0.08 1.91±0.02	0.6±0.1 0.9±0.1	1.44±0.29 1.88±0.45	0.6±0.1 0.5±0.1	1.25±0.06 1.34±0.29	0.25	—		
Sr	42±3 49±2	3.4±0.5 5.0±0.6	56±4 47±3	2.8±0.6 2.7±0.4	46±2 51±3	2.8±0.3 4.0±0.2	44±3 46±2	2.2±0.3 4.6±0.3	40	—		
Ti	36±6 65±7	0.10±0.01 0.25±0.01	44±1 116±34	0.11±0.02 0.37±0.03	49±2 105±15	0.12±0.01 0.36±0.07	38±1 55±3	0.09±0.01 0.20±0.01	32	—		
V	1.4±0.2 2.2±0.2	0.18±0.01 0.34±0.01	1.7±0.0 3.8±1.0	0.23±0.01 0.51±0.05	1.8±0.1 3.4±0.4	0.22±0.02 0.47±0.06	1.5±0.1 2.0±0.1	0.19±0.03 0.28±0.01	1.5	—		
Y	0.6±0.1 0.7±0.0	0.24±0.05 0.41±0.01	0.6±0.0 1.0±0.2	0.21±0.03 0.48±0.01	0.7±0.1 0.9±0.1	0.29±0.04 0.53±0.15	0.5±0.1 0.6±0.1	0.17±0.01 0.34±0.02	0.8	—		
Yb	0.05±0.01 0.08±0.01	0.19±0.02 0.37±0.01	0.06±0.01 0.11±0.03	0.20±0.03 0.44±0.04	0.06±0.01 0.10±0.01	0.21±0.01 0.51±0.12	0.06±0.01 0.06±0.01	0.16±0.02 0.32±0.02	0.0015	—		
Zn	18.0±1.2 24.4±0.5	3.22±0.80 4.16±0.80	16.0±0.6 21.5±1.4	2.52±0.66 2.74±0.63	22.0±1.2 22.7±1.5	3.15±0.37 3.54±0.30	18.2±0.5 22.9±1.7	2.28±0.11 3.32±0.55	50	20-60 50		
Zr	2.4±0.3 3.9±0.5	0.14±0.01 0.32±0.00	2.9±0.1 5.7±1.4	0.13±0.03 0.35±0.01	3.1±0.0 5.6±0.6	0.15±0.01 0.39±0.11	2.6±0.1 3.1±0.1	0.11±0.01 0.26±0.01	7.5	—		
P	3450±110 3850±300	50±4 61±8	3510±510 3370±170	32±3 32±5	3240±410 4060±220	41±11 49±3	3070±130 3830±250	31±1 42±1	2000	1500 —		
K	16 600±400 12 000±900	12±1 8±1	15 900±500 12 700±700	11±1 7±2	15 500±800 13 000±1000	10±1 7±1	14 400±500 13 800±500	11±1 8±1	11 000	3000 —		
N, %	0.76±0.06 0.94±0.12	3.78±0.18 4.98±0.78	0.86±0.15 0.73±0.10	4.85±1.65 3.47±0.10	0.75±0.08 0.90±0.10	3.60±0.23 3.72±0.38	0.91±0.05 0.74±0.12	3.70±0.38 3.44±0.72	1.59 [17]	—		
Зола, %	9.43±0.14 9.81±0.25	—	9.91±0.37 11.2±1.6	—	10.6±0.5 11.7±0.5	—	9.73±0.10 10.8±0.2	—	—	10 [11]		

Примечания. 1. A<sub>x</sub> – коэффициент биологического поглощения. 2. Над чертой – июль, под чертой – август, прочерк – нет данных. То же в табл. 2, 3.

химический состав независимо от уровня содержания элемента в почве [14–16].

Рассматривая изменение элементного состава исследованных растений в течение вегетационного периода, следует отметить, что статистически значимо от контроля не отличалось содержание As, В, Ва, Са, Cd, La, Mg, Mo, Mn, Na, Si, Sr, Y, P, N, увеличивалось содержание Al, Be, Co, Cr, Fe, Ga, Ni, Pb, Sc, Sn, Ti, V, Yb, Zn, Zr, снижалось содержание К. В контрольном варианте было выявлено статистически значимое увеличение содержания меди, но во всех 3-х вариантах опыта наблюдаемая разница была статистически не значимой. Возможно, это связано с тем, что использованные биопрепараты снижали подвижность меди в почвах на 15–22%. Тем не менее, также было установлено уменьшение содержания подвижных форм Pb, Ni, Fe, Mn в почве, но на элементном химическом составе растений это не отразилось.

Анализ общего содержания макро- и микроэлементов в растениях *P. pratensis* (табл. 1) показал, что количество Be, Ca, Cr, Cu, La, Mg, Ni, Sn, Sr, V, Y, Zr, K, P, N было близко к кларковым содержаниям этих элементов в растительности суши.

Существенно больше (более чем в 2 раза) было содержание Al, Ва и Fe, меньше (в 2–5 раз) – содержание В, Co, Mn, Na, Pb, Zn. Однако количество В, Co, Mn, Zn, Fe соответствовало их содержанию в злаках [17] (данных по содержанию в злаках Al, Ва, Na, Pb в данной монографии не приведено). Низкое содержание бора, натрия и цинка также соответствовало их количеству в растениях *P. pratensis*, выращенных на опытном стационаре (В – 6.3, Na – 250, Zn – 26.8 мг/кг) [7].

Содержание Са и в некоторых случаях Mg превышало их нормальное содержание в злаках (Са – 3650, Mg – 1630 мг/кг [21]), что возможно было связано с более высоким содержанием обменных катионов магния и особенно кальция в городских почвах.

Содержание Cd в растениях *P. pratensis* более чем в 20 раз превышало кларк его содержания в растениях суши. Нормальным содержанием Cd в растениях считается 0.05–0.2 мг/кг, предположительно максимальным – 3 мг/кг [17], среднее содержание в травах составляет 0.007–0.27 мг/кг [18], что соответствовало полученным результатам. Литературные данные, приведенные в обзоре [19], показали, что содержание Cd в растениях, произрастающих на экологически чистых территориях различных регионов России, составляет 0.01–0.60 мг/кг, других стран – 0.06–0.24 мг/кг. В различных видах лекарственных растений, произрастающих на территории Тюменского государственного природного заказника, содержание Cd равно 0.46 мг/кг [20], на фоновых территориях Новоси-

бирской обл. – 0.25–0.75 мг/кг, в аптечном сырье – 0.36–0.87 мг/кг [21]. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что содержание кадмия в газонных растениях г. Новосибирска соответствует его естественному уровню в растительности.

Количество кремния в исследованных образцах более чем в 10 раз отличалось от кларков, существенно превышало содержание в злаковых растениях (Si – 10 900 мг/кг) [17] и нормальный уровень содержания в кормах [22]. Основными причинами могли быть как способность злаков к концентрированию кремния [23], так и сбор исследованных образцов на территории крупного промышленного города. При этом поглощение Si листьями составляет  $\approx 30$ –40%, тогда как через корневую систему – не превышает 1–5% [24].

Содержание иттербия в *P. pratensis* также отличалось от кларкового содержания в растениях суши (более чем в 30 раз), но соответствовало фоновому содержанию в дикорастущих растениях северо-западного Алтая ( $0.06 \pm 0.02$  мг/кг) [25] и являлось нормальным для растений [18].

Количество молибдена значительно превышало как кларки, так и биогеохимические и санитарно-гигиенические нормативы, а также нормальное содержание в злаках (0.91 мг/кг) [17]. Возможно, это было связано с высоким потенциалом поступления Mo в растения: в работе [26] отмечено, что мятликовые с высокой интенсивностью накапливают этот ХЭ как на кислых малобуферных, так и на нейтральных высокобуферных почвах; даже сравнительно невысокие дозы микроэлемента вызывают его накопление в растениях до уровней, нежелательных для животных и человека.

Биогеохимической норме соответствовало содержание Co, Mn, Zn, чуть больше – Са, Mg, Cu, значительно больше – К, P, Si, существенно меньше – Na, В.

Коэффициенты биологического поглощения исследованных растений (табл. 1) были несколько меньше, чем установленные для растений суши в отношении Cd (4.4), Co (1.37), Mn (6.86), Ni (1.54) и Zn (11.6) [29], что отчасти могло являться следствием видовых особенностей и близкой к нейтральной среде почвенного раствора. Ранее уже было отмечено, что биологическое поглощение Mn и Zn существенно снижается в городских местообитаниях [30].

Коэффициент  $A_x$  отражает скорее потенциальную биогеохимическую подвижность элементов, более объективную картину дает коэффициент  $B_x$ . Величины  $B_x$  большинства элементов обычно значительно больше, чем  $A_x$  [31]. Однако в настоящем исследовании величины  $A_x$  для Са и Sr были значительно больше, чем  $B_x$ , коэффициенты биологиче-

ского поглощения Pb соответствовали их коэффициентам накопления (табл. 2).

Несмотря на уменьшение подвижности в почве Cd и в некоторых случаях Pb и Ni, в растениях происходило увеличение накопления этих ХЭ. Данное явление могло быть связано с тем, что на урбанизированных территориях с повышением техногенного воздействия нарушается существующая связь между содержанием тяжелых металлов в почве и растениях за счет значительной доли участия атмосферных загрязнителей [32–34]. При неизменной подвижности Cu, Fe отмечено увеличение накопления этих ХЭ растениями.

В настоящее время естественные пастбища и сенокосные угодья хозяйств пригородных зон также могут испытывать антропогенную нагрузку, в связи с чем актуальным является анализ поступления токсических веществ из почвы, атмосферного воздуха в растения и изменение их кормовых качеств [35]. Оценивая элементный химический состав *P. Pratensis*, как источника грубого (сено) корма для сельскохозяйственных животных, по критериям экологической безопасности, установленных Департаментом ветеринарии Минсельхоза России [11],

следует отметить превышение ПДК мышьяка (0.5 мг/кг) в 3–4 раза. Однако согласно проекту ВетПиН 13-5-01/0101 [36], величина ПДК установлена равной 2.0 мг/кг (для сена и соломы), и в этом случае исследованные растения соответствуют нормативным требованиям. В целом фоновый уровень содержания As в условно благополучных зонах составляет в кормовых растениях 0.2–0.5 мг/кг [28].

Оценка минеральной полноценности *P. pratensis* [28] показала дефицит Zn, который уже был выявлен ранее в кормовых культурах Новосибирской обл. [37], и избыточное содержание Fe, Si, Mo, Sr и Ni в отдельных образцах, собранных в августе.

Соотношение макроэлементов является важной характеристикой кормовых растений. В исследованных образцах соотношения Ca:P, Ca:Mg были близки к оптимальным (табл. 3). Из-за избыточного содержания Ca соотношение К:(Ca+Mg) имело более низкую величину, чем рекомендуемая для кормов. Согласно требованиям к качеству зеленых кормов (ОСТ 10273-2001), травы природных кормовых угодий должны содержать не менее 10% сырого протеина – данному показателю исследованные растения не соответствовали.

Таблица 2. Коэффициенты биогеохимической подвижности ( $B_x$ ) и подвижность (П) химических элементов

Химический элемент	Вариант							
	контроль		фульвогуматы		<i>Bacillus thuringiensis</i>		комплекс препаратов	
	$B_x$	П, %	$B_x$	П, %	$B_x$	П, %	$B_x$	П, %
Ca	$1.3 \pm 0.1$	$32 \pm 2$	$1.4 \pm 0.1$	$36 \pm 6$	$1.2 \pm 0.1$	$35 \pm 2$	$1.0 \pm 0.1$	$34 \pm 0$
	$1.0 \pm 0.1$	$58 \pm 1$	$0.7 \pm 0.1$	$57 \pm 3$	$1.0 \pm 0.1$	$56 \pm 2$	$1.0 \pm 0.1$	$60 \pm 2$
Cd	$1.56 \pm 0.04$	$11 \pm 2$	$1.89 \pm 0.30$	$9 \pm 3$	$1.84 \pm 0.11$	$11 \pm 3$	$1.79 \pm 0.17$	$9 \pm 1$
	$2.10 \pm 0.24$	$8 \pm 1$	$2.56 \pm 0.60$	$7 \pm 1$	$3.04 \pm 0.20$	$9 \pm 2$	$2.67 \pm 0.33$	$7 \pm 1$
Co	$0.9 \pm 0.1$	$2.0 \pm 0.1$	$1.3 \pm 0.1$	$2.0 \pm 0.2$	$1.5 \pm 0.1$	$1.7 \pm 0.1$	$1.1 \pm 0.1$	$1.4 \pm 0.1$
	$1.6 \pm 0.2$	$2.2 \pm 0.2$	$2.3 \pm 0.7$	$2.2 \pm 0.1$	$2.5 \pm 0.2$	$2.1 \pm 0.1$	$1.4 \pm 0.2$	$4.8 \pm 2.9$
Cu	$47.1 \pm 3.6$	$1 \pm 0$	$49.5 \pm 5.5$	$1 \pm 0$	$54.1 \pm 5.5$	$1 \pm 0$	$58.0 \pm 6.4$	$1 \pm 0$
	$65.6 \pm 3.1$	$1 \pm 0$	$72.8 \pm 5.1$	$1 \pm 0$	$71.8 \pm 4.6$	$1 \pm 0$	$85 \pm 14$	$1 \pm 0$
Fe	$146 \pm 24$	$0.01 \pm 0.00$	$162 \pm 14$	$0.01 \pm 0.00$	$211 \pm 24$	$0.01 \pm 0.00$	$164 \pm 15$	$0.01 \pm 0.00$
	$317 \pm 27$	$0.01 \pm 0.00$	$482 \pm 15$	$0.01 \pm 0.00$	$469 \pm 53$	$0.01 \pm 0.00$	$322 \pm 20$	$0.01 \pm 0.00$
K	$48 \pm 7$	$2.7 \pm 0.4$	$38 \pm 4$	$2.8 \pm 0.5$	$34 \pm 3$	$3.4 \pm 0.3$	$31 \pm 3$	$3.6 \pm 0.3$
	$34 \pm 3$	$2.2 \pm 0.1$	$32 \pm 4$	$2.6 \pm 0.6$	$31 \pm 5$	$2.8 \pm 0.6$	$33 \pm 1$	$2.5 \pm 0.1$
Mg	$7 \pm 1$	$3.1 \pm 0.3$	$8 \pm 1$	$3.2 \pm 0.3$	$7 \pm 1$	$3.2 \pm 0.1$	$6 \pm 1$	$3.4 \pm 0.1$
	$8 \pm 1$	$3.7 \pm 0.6$	$6 \pm 1$	$5.2 \pm 0.2$	$9 \pm 2$	$4.1 \pm 0.8$	$8 \pm 1$	$4.7 \pm 0.1$
Mn	$1.7 \pm 0.4$	$4 \pm 0$	$1.3 \pm 0.3$	$5 \pm 2$	$1.5 \pm 0.1$	$4 \pm 0$	$1.2 \pm 0.2$	$3 \pm 0$
	$2.2 \pm 0.1$	$4 \pm 0$	$1.8 \pm 0.4$	$6 \pm 1$	$2.5 \pm 0.3$	$4 \pm 0$	$2.0 \pm 0.1$	$4 \pm 0$
Na	$5.2 \pm 0.4$	$0.3 \pm 0.0$	$6.5 \pm 0.9$	$0.3 \pm 0.0$	$7.0 \pm 1.0$	$0.4 \pm 0.0$	$4.9 \pm 0.6$	$0.6 \pm 0.2$
	$3.1 \pm 0.1$	$0.8 \pm 0.1$	$6.0 \pm 1.9$	$0.9 \pm 0.2$	$4.8 \pm 0.5$	$0.9 \pm 0.0$	$3.3 \pm 0.3$	$0.9 \pm 0.1$
Ni	$2.1 \pm 0.2$	$2.7 \pm 0.3$	$2.6 \pm 0.5$	$2.4 \pm 1.0$	$2.2 \pm 0.3$	$2.4 \pm 0.1$	$1.7 \pm 0.4$	$2.1 \pm 0.1$
	$3.7 \pm 0.6$	$2.2 \pm 0.8$	$4.1 \pm 0.9$	$2.2 \pm 0.3$	$4.7 \pm 0.5$	$2.2 \pm 0.4$	$3.9 \pm 0.5$	$2.1 \pm 0.8$
Pb	$0.20 \pm 0.03$	$17 \pm 4$	$0.25 \pm 0.06$	$23 \pm 4$	$0.37 \pm 0.05$	$14 \pm 2$	$0.40 \pm 0.09$	$11 \pm 3$
	$0.41 \pm 0.06$	$14 \pm 6$	$0.67 \pm 0.12$	$13 \pm 1$	$0.67 \pm 0.06$	$14 \pm 2$	$0.40 \pm 0.06$	$11 \pm 1$
Sr	$1.6 \pm 0.1$	$20 \pm 0$	$2.0 \pm 0.2$	$17 \pm 6$	$1.6 \pm 0.1$	$19 \pm 3$	$1.5 \pm 0.1$	$16 \pm 1$
	$1.6 \pm 0.1$	$30 \pm 1$	$1.1 \pm 0.2$	$32 \pm 4$	$1.6 \pm 0.1$	$34 \pm 5$	$1.4 \pm 0.1$	$34 \pm 4$
Zn	$4.8 \pm 0.3$	$6 \pm 1$	$4.2 \pm 0.2$	$6 \pm 1$	$5.6 \pm 0.7$	$6 \pm 1$	$5.6 \pm 0.4$	$4 \pm 0$
	$7.2 \pm 0.3$	$5 \pm 1$	$5.0 \pm 0.3$	$6 \pm 1$	$7.6 \pm 1.1$	$6 \pm 2$	$7.8 \pm 0.9$	$4 \pm 1$

Примечание. П (подвижность) – отношение содержания подвижных форм ХЭ, извлекаемых из почв ацетатно-аммонийным буферным раствором рН 4.8 к общему содержанию ХЭ в почве.

Таблица 3. Соотношения ХЭ и содержание сырого протеина в растениях *P. pratensis*

Показатель	Варианты								Литературные данные [7]
	контроль	V, %	фульвогумат	V, %	<i>Bacillus thuringiensis</i>	V, %	комплекс препаратов	V, %	
Ca:P	$\frac{2.3 \pm 0.2}{2.1 \pm 0.3}$	$\frac{20}{34}$	$\frac{2.9 \pm 0.4}{2.1 \pm 0.1}$	$\frac{30}{7}$	$\frac{2.9 \pm 0.4}{2.1 \pm 0.3}$	$\frac{35}{29}$	$\frac{2.4 \pm 0.2}{2.1 \pm 0.2}$	$\frac{18}{19}$	1.5
Ca:Mg	$\frac{3.9 \pm 0.1}{4.0 \pm 0.2}$	$\frac{8}{14}$	$\frac{4.3 \pm 0.2}{3.8 \pm 0.1}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{4.0 \pm 0.1}{3.6 \pm 0.1}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{4.0 \pm 0.1}{3.8 \pm 0.1}$	$\frac{6}{3}$	3.0
K:Na	$\frac{75 \pm 10}{37.7 \pm 3.8}$	$\frac{30}{22}$	$\frac{58.4 \pm 6.2}{25.8 \pm 6.0}$	$\frac{24}{52}$	$\frac{42.4 \pm 1.8}{25.9 \pm 3.4}$	$\frac{9}{29}$	$\frac{42.7 \pm 1.6}{40.6 \pm 2.9}$	$\frac{8}{16}$	100
K:(Ca+Mg)	$\frac{1.7 \pm 0.1}{1.2 \pm 0.1}$	$\frac{13}{17}$	$\frac{1.4 \pm 0.1}{1.4 \pm 0.1}$	$\frac{6}{9}$	$\frac{1.5 \pm 0.1}{1.2 \pm 0.1}$	$\frac{18}{8}$	$\frac{1.6 \pm 0.1}{1.4 \pm 0.1}$	$\frac{16}{8}$	4.7
Сырой протеин, %	$\frac{4.60 \pm 0.52}{6.55 \pm 0.66}$	$\frac{16}{14}$	$\frac{5.3 \pm 1.6}{5.10 \pm 0.42}$	$\frac{42}{12}$	$\frac{5.19 \pm 0.01}{5.08 \pm 0.33}$	$\frac{0}{9}$	$\frac{5.96 \pm 0.25}{5.1 \pm 1.0}$	$\frac{6}{29}$	19 [38]

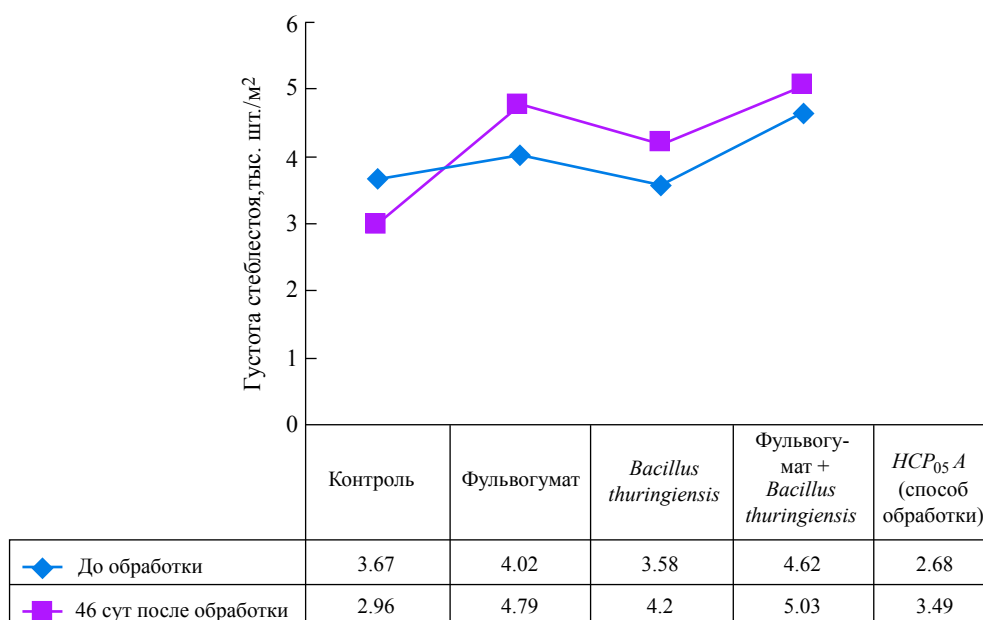
Примечание. V – коэффициент вариации.

Одним из показателей декоративности газонно-травостоя является густота стеблестоя растений на единицу площади [6]. На опытном участке до обработки препаратами густота составила 3.58–4.62 тыс./м<sup>2</sup> (рисунок). После обработки во всех опытных вариантах отмечено увеличение количества вегетативных побегов. Наибольшая прибавка отмечена в варианте применения фульвогумата – 19%, наименьшая – при комплексном внесении биопрепаратов – 8.9%. Применение бактериального биопрепарата обеспечило увеличение плотности травостоя на 17%. В контрольном варианте к августу зафиксировано уменьшение количества побегов на 25%. Таким образом, проведенное исследование показало, что однократное применение биопрепаратов на газонах в условиях городской

среды повышало побегообразование и плотность травостоя и как следствие увеличивало эстетическое и экологическое состояние газонов.

## ВЫВОДЫ

1. По показателю зольности на начальном этапе эксперимента все растительные образцы статистически значимых различий не имели и соответствовали нормам для злаковых трав (согласно нормативным требованиям качества кормов). Наблюдаемое статистически значимое увеличение зольности (до превышения допустимого уровня в отдельных пробах) в августе не было связано с запыленностью и являлось следствием возрас-



Влияние биопрепаратов на густоту стеблестоя *P. pratensis*.

тания содержания зольных элементов в растениях в течение периода вегетации.

2. Подтверждено постоянство химического состава растений вне зависимости от неоднородности физико-химических свойств (гранулометрического состава, валового содержания и концентрации подвижных форм ХЭ и т.д.) почв исследованных газонов.

3. В течение вегетационного периода в растениях статистически значимо увеличивалось содержание Al, Be, Co, Cr, Fe, Ga, Ni, Pb, Sc, Sn, Ti, V, Yb, Zn, Zr, снижалось содержание K. Изменения количества остальных исследованных химических элементов (As, B, Ba, Ca, Cd, La, Mg, Mo, Mn, Na, Si, Sr, Y, P, N) были статистически не значимыми.

4. Анализ общего содержания макро- и микроэлементов в растениях *P. pratensis* показал, что количество Be, Ca, Cr, Cu, La, Mg, Ni, Sn, Sr, V, Y, Zr, K, P, N было близко к кларкам в растительности суши, существенно больше кларка – Al, Ba и Fe, меньше кларка – B, Co, Mn, Na, Pb, Zn.

5. Содержание кадмия в *P. pratensis* более чем в 20 раз превышало кларк в растениях суши. Нормальным содержанием кадмия в растениях считается 0.05–0.2 мг/кг, среднее содержание в травах составляет 0.007–0.27 мг/кг и по обобщенным литературным данным изменяется от 0.01 до 0.87 мг/кг. Поэтому можно предположить, что содержание кадмия в газонных растениях г. Новосибирска соответствует его естественному уровню в растительности.

6. Коэффициенты биологического поглощения исследованных растений были несколько меньше, чем установленные для растений суши в отношении Cd, Co, Mn, Ni и Zn. Для Ca и Sr данные коэффициенты были значительно больше коэффициентов биогеохимической подвижности, для Pb примерно совпадали.

7. Оценка минеральной полноценности растений *P. pratensis* показала постоянный дефицит Zn и избыточное содержание Fe, Si, Mo, Cr и Ni в отдельных образцах, собранных в августе.

8. Оценка экологической безопасности растений *P. pratensis* по критериям Департамента ветеринарии Минсельхоза России указала на превышение ПДК мышьяка (0.5 мг/кг) в 3–4 раза. Однако согласно проекту ВетПиН 13-5-01/0101, величина ПДК установлена равной 2.0 мг/кг (для сена и соломы), и в этом случае исследованные растения соответствовали нормативным требованиям.

9. Применение биопрепаратов не вызывало статистически значимого количественного изменения химического состава газонных растений, однако повышало побегообразование и плотность травостоя на 8.9–19%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куринская Л.В. Оценка устойчивости газонных трав к загрязнению свинцом почв придорожных полос (на примере г. Новочеркаска): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Дону, 2011. 23 с.
2. Москаленко Н.Н. Биогеохимические особенности зеленых насаждений урбанизированных территорий (на примере г. Москвы): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1991. 24 с.
3. Voets J., Bervoets L., Blust R. Cadmium bioavailability and accumulation in the presence of humic acid to Zebra mussel. *Dreissena polymorpha* // Environ. Sci. Technol. 2004. № 8. P. 1003–1008.
4. Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Современные представления о биостимуляторах // Агрохимия. 2014. № 7. С. 85–90.
5. Завалин А.А., Чернова Л.С., Гаврилова А.Ю., Чеботарь В.К. Влияние минеральных удобрений, биомодифицированных микробным препаратом бисолби-фит, на урожай ярового ячменя // Агрохимия. 2015. № 4. С. 21–33.
6. Сенаторова Г.И. Морфогенез мятлика лугового и его использование в газонной культуре / Под ред. Зубкус Л.П. Новосибирск: Наука, СО, 1981. 88 с.
7. Демарчук Г.А. Многолетние травы в Сибири: Справ.-к. Новосибирск: РАСХН, СО, СибНИИ кормов, 2002. 44 с.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. М.: Колос, 1971. 239 с.
10. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. 222 с.
11. Методические указания по оценке качества и питательности кормов. М.: Минсельхоз РФ, ЦИНАО, 2002. 73 с.
12. Сысо А.И. Использование отношения Cr:Ni в мониторинге загрязнения природной среды // Агрохимия. 1998. № 4. С. 76–83.
13. Кавеленова Л.М., Здеветский А.Г., Огневенко А.Я. К специфике содержания зольных веществ в листьях древесных растений в городской среде в условиях лесостепи (на примере Самары) // Химия раст. сырья. 2001. № 4. С. 85–90.
14. Валеева Г.Р. Роль отдельных факторов в формировании элементного состава растений: Дис. ... канд. хим. наук. Казань, 2004. 150 с.
15. Валеева Г.Р., Латыпова В.З., Винокурова Р.И., Иванова Е.Р. О некоторых факторах накопления химических элементов растениями // Юг России: экология, развитие. 2012. № 2. С. 63–72.
16. Витковская С.Е. Распределение макро- и микроэлементов в системе почва–растение в зависимости от видовых особенностей вики (*Vicia sativa*) и овса (*Avena stiva*) // Агрохимия. 2016. № 1. С. 27–37.
17. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск, 1985. 129 с.



18. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
19. Сиромля Т.И., Мяделец М.А. Содержание химических элементов в тысячелистнике обыкновенном (*Achillea millefolium* L.): анализ. обзор // Совр. пробл. науки и образования. 2015. № 6. URL: [www.science-education.ru/130-22917](http://www.science-education.ru/130-22917) (дата обращения: 24.11.2015).
20. Сиромля Т.И., Мяделец М.А. Формы соединений химических элементов в лекарственных растениях // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии // Тр. IX Междунар. биогеохим. школы. Барнаул, 2015. Т. 2. С. 182–185.
21. Мяделец М.А., Сиромля Т.И. Особенности экологического состояния почвенно-растительного покрова вдоль автомагистралей и в рекреационных зонах г. Новосибирска // Совр. пробл. науки и образования. 2015. № 5. URL: [www.science-education.ru/128-22706](http://www.science-education.ru/128-22706) (дата обращения: 24.11.2015).
22. Башкин В.Н., Евстафьева Е.В., Снакин В.В. Биогеохимические основы экологического нормирования М.: Наука, 1993. 304 с.
23. Давыдова Н.Д. Биогеохимическая специализация растений степных геосистем Онон-Аргунского междуречья // Географ. и природ. ресурсы. 2012. № 3. С. 93–99.
24. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пушино, 2008. 32 с.
25. Егорова И.А., Кислицина Ю.В. Микроэлементы (Yb, Y, V, Ti, Zr, Nb) в растениях северо-западного Алтая // Мир науки, культуры, образования. 2010. № 10(23). С. 267–269.
26. Азаренко Ю.А., Ермохин Ю.И. Оценка потенциала поглощения микроэлементов растениями в зависимости от их концентрации в почве // Омск. научн. вестн. 2012. № 2(114). С. 150–183.
27. Романкевич Е.А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. 1988. № 2. С. 292–306.
28. Таланов Г.А., Хмелевский Б.Н. Санитария кормов: Справочник. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
29. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.
30. Москаленко Н.Н. Биогеохимические особенности зеленых насаждений урбанизированных территорий (на примере г. Москвы): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1991. 24 с.
31. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.
32. Махонько К.П. Аэрозольное и корневое загрязнение растительности Ni в окрестности действующего предприятия // Тр. V Всесоюз. совещ. по исследованию миграции загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеоздат, 1989. С. 207–221.
33. Копылова Л.В. Фолиарное поступление тяжелых металлов в древесные растения // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 12. С. 126–133.
34. Водяницкий Ю.Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрохимия. 2013. № 9. С. 88–96.
35. Степанок В.В. Влияние комплексов техногенных элементов на химический состав сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2003. № 1. С. 50–60.
36. Ветеринарные правила и нормы по безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства кормов. ВетПиН 13-5-01/0101 (проект). М., 2003. 28 с.
37. Фещенко В.П. Содержание тяжелых металлов в кормовых культурах Новосибирской области // Вестн. АлтайГАУ. 2014. № 10(120). С. 33–36.
38. Демарчук Г.И. Долголетние культурные пастбища в Западной Сибири. Новосибирск: Зап-Сиб. кн. изд-во, 1976. 126 с.

## Effect of Biopreparations on the Elemental Chemical Composition of the Grass Species during Vegetation Period

A. N. Lebedev<sup>1</sup>, M. V. Khazov<sup>1</sup>, O. M. Potseluev<sup>2</sup>, M. A. Lebedeva<sup>3,4</sup>, T. I. Syromlya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology RAS Siberian Research Institute of Fodder Krasnoobsk, a/b 532, Novosibirsk region 630501, Russia

<sup>2</sup>Research Institute of Experimental Clinical Lymphology 630060 Novosibirsk, ul. Timakova 2, Russia

<sup>3</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, PR prosp. Academician Lavrentyev 8/2, Novosibirsk 630090, Russia

<sup>4</sup>Novosibirsk State Agrarian University ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia

E-mail: sl20095@yandex.ru

The content of 32 chemical elements in grass species was studied and evaluated in accordance with statistical, sanitary, and biogeochemical criteria using bluegrass (*Poa pratensis* L.) as an example. The quantitative changes in the elemental chemical composition of plants during the vegetation period were identified. The positive effect of treatment with biopreparations on a density of the grass stand was established.

Key words: biopreparations, elemental chemical composition, grass species, vegetation period.