

Зависимость фитомассы травяных сообществ, произрастающих на антропогенно трансформированных территориях, от погодных факторов

Т. В. ЖУЙКОВА^{1,2}, В. С. БЕЗЕЛЬ², И. Е. БЕРГМАН², В. А. ГОРДЕЕВА¹, Э. В. МЕЛИНГ¹

¹ Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт филиал Российского государственного профессионально-педагогического университета 622031, Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 57
E-mail: hbfnt@rambler.ru

² Институт экологии растений и животных УрО РАН 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Статья поступила 02.10.2017

Принята к печати 16.11.2017

АННОТАЦИЯ

Изучена фитомасса травяных фитоценозов Среднего Урала, находящихся на разных стадиях сукцессии, произрастающих на антропогенно трансформированных территориях в градиенте загрязнения почв тяжелыми металлами. Сообщества, формирующиеся на молодых почвах отвалов, обладают меньшей устойчивостью и повышенной чувствительностью к изменению погодных факторов в отличие от фитоценозов залежей. Методом общих регрессионных моделей показано, что надземная и подземная фитомасса сообществ техноземов зависит от суммы осадков за периоды октябрь – ноябрь предыдущего года, январь – май текущего года и гидротермического коэффициента Селянинова за сентябрь. Степень этой зависимости для отдельных исследуемых сообществ определяется эдафическими условиями, влияющими на видовое разнообразие и структуру доминирования.

Ключевые слова: травяные фитоценозы, надземная и подземная фитомассы, погодные факторы, антропогенно трансформированные территории, тяжелые металлы.

Стабильное функционирование живых организмов возможно только в конкретных условиях среды обитания: состава почвенного субстрата, фитоценотического окружения, погодных факторов и др. Обладая спектром эволюционно закрепленных реакций, они адекватно реагируют на возможную смену этих “традиционных” факторов среды. Эти же механизмы имеют место и в стрессовых ситуациях, вызванных, например, антропоген-

ным воздействием на почвы, включая их интенсивное химическое загрязнение. В случае растений это проявляется в коррекции физиологических, биохимических и иных суборганизменных процессов, а также в возможной смене видового состава и продуктивности растительных сообществ.

В обширных публикациях реакция фитоценозов на смену эдафических условий, включая антропогенное загрязнение почв,

подробно обсуждается [Prasad et al., 2001; Kosobrukhov et al., 2004; Khudsar et al., 2004; Глазунов, 2005; Игошева, 2007; Дымова, 2009; Морозова, 2009; Андреяшкина, 2012; Лайдинен и др., 2013; Казнина и др., 2015; Belykh et al., 2015]. Под воздействием аэрогенных выбросов промышленных предприятий наблюдается трансформация растительности, сопровождающаяся изменением структуры сообществ, уменьшением таксономического разнообразия и продуктивности фитоценозов. В ряде случаев подчеркивается, что реакция растительных сообществ на смену условий вегетационного сезона неоднозначна [Горчаковский, Коробейникова, 1975; Куркин, 1996; Миркин и др., 2001; Каюмов и др., 2014; Крючков, 2016; Pozolotina, Antonova, 2017]. Однако исследования фитоценозов, произрастающих на территориях техногенной трансформации при изменяющихся погодных факторах немногочисленны и фрагментарны [Жуйкова, 2009; Жуйкова и др., 2010; Мелинг, Жуйкова, 2012, 2015; Гордеева, Жуйкова, 2014], поскольку требуют длительного периода наблюдений за видовым составом и продуктивностью сообществ в градиенте условий.

Цель работы – изучение в различные вегетационные сезоны фитомассы травяных фитоценозов, находящихся на разных стадиях сукцессии, произрастающих на антропогенно преобразованных территориях в градиенте загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ). Предполагается, что реакция фитомассы сообществ на ведущие погодные факторы неоднозначна и зависит от эдафических и фитоценологических условий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучение продуктивности травяных сообществ проводили в Притагильской зоне Среднего Урала (60° в. д., 58° с. ш., таежная географическая зона, подзона южной тайги). Для района характерна техногенная трансформация природных комплексов как результат 300-летней деятельности горнодобывающей и металлургической промышленности, выраженная в изменении физико-химических параметров почв, в том числе депонированием в них тяжелых металлов.

Химический состав почв изучали в соответствии с аттестованными методами анализа в аккредитованной лаборатории ИЭРиЖ УрО РАН (Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.515630). Отбор проб почв и их анализ на содержание тяжелых металлов проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01, а также требованиями методик [РД 52.18.191–89 Методические указания..., 1981 ([http://docs.cntd.ru.document/1200048597](http://docs.cntd.ru/document/1200048597)); Методические рекомендации... 1981; Временные методические рекомендации..., 1983]. В кислотных вытяжках (экстрагент – пятимолярная HNO₃ (соотношение почва : кислота = 1 : 5)) измеряли содержание тяжелых металлов (табл. 1) методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре AAS Vario 6 фирмы Analytik Jena AG.

Зоны техногенной трансформации выделены на основе концентраций тяжелых металлов в почвах и расчетного индекса токсической нагрузки [Безель и др., 1998]:

$$Z = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{C_i}{C_{\phi}}, \text{ отн. ед.},$$

где C_i и C_{ϕ} – концентрации токсических элементов на загрязненных металлами и фоновом участках; n – количество исследуемых химических элементов.

Названия зон (фоновая, буферная, импактная) используются в соответствии с номенклатурой ЮНЕП [Global..., 1973]. В пределах зон выделены следующие участки: фоновый (Ф: $Z = 1,0$ отн. ед.), буферные (Б-1: $Z = 3,3$ и Б-2: $Z = 6,2$ отн. ед.) и импактные (И-1: $Z = 22,8$ и И-2: $Z = 30,0$ отн. ед.).

Кроме уровней токсической нагрузки, рассматриваемый градиент сопряжен с комплексом физико-химических параметров почв, позволяющих относить их к двум группам: агроземы (Ф, Б-1) и техноземы (Б-2, И-1, И-2).

Первые расположены на залежных землях (возраст более 25 лет), характеризуются средней насыщенностью основаниями ($V = 76\%$), низкой и средней обеспеченностью подвижными соединениями фосфора и калия. Содержание легкогидролизуемого азота в агроземах среднее и низкое. Техноземы расположены в техногенных ландшафтах (на промышленных отвалах возрастом более 45 лет).

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в образцах исследованной почвы ($M \pm m$) (по данным 2011 г.)

Участок	Z, отн. ед.	Группа почв	Тип сообщества	Содержание микроэлементов, мкг/г								
				Cd ²⁺	Co ²⁺	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
Ф	1,0	Агроземы	Луговые	0,2±0,96	6,5±0,85	13,1±0,78	12,6±0,89	788,9±50,9	291,6±27,2	13,0±0,86	8,1±0,91	17,5±1,61
Б-1	3,3			1,3±0,00	16,8±0,21	20,0±0,46	38,6±0,59	964,5±1,65	359,0±9,37	18,0±0,32	13,2±0,18	58,1±1,10
Б-2	6,2	Техноземы		0,9±0,08	14,5±3,63	7,8±1,08	101,6±11,13	841,1±13,23	375,2±54,02	7,4±1,37	38,8±4,91	262,7±39,56
И-1	22,8		Злаковые	1,5±0,47	124,2±17,79	7,1±2,26	951,5±236,10	—	2364,9±93,52	7,8±1,30	12,4±3,88	391,0±125,92
И-2	30,0			2,8±0,44	—	51,9±3,44	194,6±6,60	2736,6±85,36	—	—	—	850,4±18,26

Примечание. Z – суммарная токсическая нагрузка; M – среднее арифметическое, m – ошибка среднего арифметического; n ≥ 10; прочерк – данные отсутствуют.

Это молодые почвы, формируемые по буроземному и литоземному типу. Насыщенность их основаниями высокая – до 99 %, в обменном комплексе преобладает кальций. Обеспеченность обменными формами фосфора и калия высокая и очень высокая, концентрация азота при слаборазвитой дернине низкая, при наличии дернины – высокая.

По сукцессионному статусу травяные сообщества определены как луговые (Ф, Б-1, Б-2) и злаковые (И-1 и И-2). В их составе на исследуемой территории произрастает 78 видов, входящих в 60 родов и 19 семейств. Сообщества участков фоновой и буферных зон относятся к классу *Molinio-Arrhenatheretea* и соответствуют гликофитному варианту лугового типа растительности. Сообщества импактных зон являются переходными между классами *Artemisietea vulgaris* (рудеральные сообщества высокорослых двулетних и многолетних видов) и *Agropyretea repentis* (рудеральные сообщества с преобладанием многолетних злаков, представляющие предшествующую лугам стадию восстановительной сукцессии). Подробная характеристика эдафических условий и фитоценозов на исследуемых территориях представлена ранее [Кайгородова и др., 2013; Ившина и др., 2014; Жуйкова и др., 2015; Безель и др., 2016].

Изучение фитомассы травяных сообществ выполнена в вегетационные сезоны 2006, 2009–2012 гг. в период максимального развития травостоя. В исследуемых фитоценозах закладывали по 10 учетных площадок размером 25 × 25 см, расстояние между которыми более 3 м. Отбор проб проводили методом монолитов с 25 см глубины [Шалыт, 1960; Харитонов, Бойков, 1999; и др.]. В пределах каждой учетной площади растения разбирали по видам. В лаборатории определяли воздушно-сухую надземную и подземную фитомассу всех видов в пределах учетных площадок.

В качестве погодных факторов, влияющих на фитомассу, рассмотрены: среднемесячные температуры воздуха, сумма осадков по месяцам (мм), гидротермический коэффициент Т. Г. Селянинова (ГТК) [Романова и др., 1993; The Encyclopedia..., 2005]. Действующие факторы анализировали начиная с августа предыдущего года и заканчивая июлем текущего года. Использованы данные автоматизи-

рованного мониторинга состояния атмосферного воздуха и осадков в г. Нижний Тагил (пост № 2 – пос. Сухоложский Дзержинский р-н; пост № 4 – Техпоселок, Тагилстроевский р-н).

Статистический анализ результатов. Для анализа зависимости фитомассы от градиента эдафических условий использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (R_s), межгодовую изменчивость оценивали через средние квадраты расстояния Махаланобиса (SMD), долю влияния условий вегетационного сезона и эдафических факторов на фитомассу оценивали дисперсионным анализом.

Для выделения ведущих климатических факторов, влияющих на надземную и подземную фитомассу, использован метод главных компонент. Для каждой зоны загрязнения рассчитаны зависимости фитомассы от климатических параметров: среднемесячных температур, количества осадков, гидротермического коэффициента Селянинова. Определение совокупного влияния факторов “участок \times погодный параметр” проводили методом общих регрессионных моделей (GRM).

Статистическую обработку и построение графических иллюстраций выполняли с помощью стандартных пакетов программ Microsoft Excel 2007, STATISTICA 8.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изменение надземной и подземной фитомассы в градиенте почвенных условий в разные вегетационные сезоны. Ранее [Безель и др., 2016] подробно проанализированы изменения в градиенте почвенных условий фитомассы трех основных фракций травяных сообществ (разнотравье, бобовые и злаки). В настоящем сообщении в том же градиенте изучено влияние погодных условий вегетации на надземную и подземную фитомассу сообществ (табл. 2). Надземная фитомасса рассматриваемых травяных сообществ является результатом продукционного процесса и соответствует их первичной продуктивности. Подземная отражает результат продукционного процесса, а также степень сохранности многолетних частей растений и выражает в целом запас фитомассы.

Т а б л и ц а 2

Фитомасса сообществ антропогенно трансформированных территорий в разные вегетационные сезоны ($M \pm m$)

Вегетационный сезон, год	Участки				
	агроземы		техноземы		
	Ф	Б-1	Б-2	И-1	И-2
Надземная фитомасса, г/м ²					
2006	280,0 ± 46,3	360,2 ± 83,0	235,6 ± 34,5	176,4 ± 60,7	–
2009	215,0 ± 30,4	226,2 ± 27,9	196,1 ± 34,3	336,0 ± 92,4	371,4 ± 54,8
2010	310,8 ± 35,5	204,5 ± 15,3	279,6 ± 32,3	193,4 ± 29,6	334,1 ± 49,3
2011	252,7 ± 56,8	249,7 ± 56,5	113,7 ± 23,1	112,9 ± 19,0	115,7 ± 17,2
2012	277,0 ± 23,0	206,7 ± 46,8	198,3 ± 42,6	333,1 ± 44,7	206,7 ± 49,9
$M \pm m$	267,11 ± 15,96	249,44 ± 28,87	204,65 ± 27,35	230,36 ± 44,60	257,00 ± 58,84
Подземная фитомасса, г/м ²					
2006	385,9 ± 41,9	401,9 ± 82,5	366,7 ± 62,2	237,7 ± 27,8	–
2009	364,3 ± 45,2	350,1 ± 56,6	219,3 ± 56,6	221,6 ± 50,3	351,0 ± 51,9
2010	310,6 ± 44,9	284,5 ± 59,4	173,0 ± 32,8	90,8 ± 9,5	458,0 ± 50,5
2011	285,9 ± 51,5	334,4 ± 66,7	108,5 ± 22,7	78,4 ± 12,6	85,1 ± 12,5
2012	270,8 ± 46,2	204,4 ± 45,5	123,4 ± 19,7	187,5 ± 23,2	199,0 ± 49,2
$M \pm m$	321,71 ± 22,60	315,03 ± 33,45	198,16 ± 46,43	163,21 ± 33,16	273,24 ± 82,19

П р и м е ч а н и е. M – среднее арифметическое, m – ошибка среднего арифметического; прочерк – данные отсутствуют.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа оценки влияния условий вегетационного сезона ("год") и эдафических факторов участков на фитомассу

Фактор	df	F	P	% объясненной дисперсии
Надземная фитомасса				
Год (1)	3; 216	4,68	0,003	6,5
Участок (2)		4,30	0,006	6,0
Взаимодействие (1) × (2)	15; 216	3,03	0,0002	21,6
Подземная фитомасса				
Год (1)	3; 216	7,06	0,002	9,8
Участок (2)		15,37	<<0,001	21,4
Взаимодействие (1) × (2)	15; 216	5,08	<<0,001	35,3

Установлено, что изменение фитомассы в градиенте эдафических условий в разные вегетационные сезоны различно. В отдельные годы (2006 и 2011 гг.) этот показатель в исследуемом градиенте снижается (надземная фитомасса: $R_s = -0,58$ и $-0,38$; $p < 0,01-0,001$; подземная: $R_s = -0,62$ и $-0,46$; $p < 0,001$); в другие (2009 г.) значительно повышается (надземная: $R_s = 0,30$; $p < 0,05$) или наблюдаются ее слабые изменения (2010 и 2012 гг. надземная: $R_s = -0,03$ и $-0,02$; $p > 0,05$; подземная: $R_s = 0,06$ и $0,01$; $p > 0,05$). Выявленный факт связан, вероятно, с разной реакцией на погодные условия вегетационного сезона травяных сообществ, произрастающих в различных эдафических условиях.

Влияние эдафических факторов и условий вегетации на фитомассу сообществ оценено методом двухфакторного дисперсионного анализа (табл. 3). Из двух анализируемых факторов на надземную фитомассу в большей степени действует смена условий вегетации (год наблюдений), а на подземную – эдафические условия (участок). Влияние обоих рассматриваемых факторов на подземную сферу, согласно доле объясненной дисперсии, выше, чем на надземную. Наибольший вклад в объясненную дисперсию вносит взаимодействие эдафических факторов и условий вегетации.

Для оценки межгодовой изменчивости фитомассы различных сообществ вычислены средние квадраты расстояния Махаланобиса (SMD). Анализ проведен отдельно для каждого исследуемого сообщества, группирующая переменная – год наблюдения (рис. 1).

Установлено, что сообщества агроземов характеризуются низким уровнем межгодовой изменчивости и сходством чувствительности надземной и подземной фитомассы к погодным условиям, о чем свидетельствуют значения SMD. Фитоценозы техноземов обладают более высокой чувствительностью, которая выше для подземной фитомассы по сравнению с надземной. Такое различие, видимо, обусловлено прямым контактом с почвой подземной сферы растений, испытывающей максимальное токсическое воздействие. С ростом химического загрязнения чувствительность травяных сообществ по показателю фитомассы к погодным факторам повышается и становится максимальной в сообществе участка И-2.

Зависимость чувствительности фитоценозов к погодным факторам от уровня токсичности

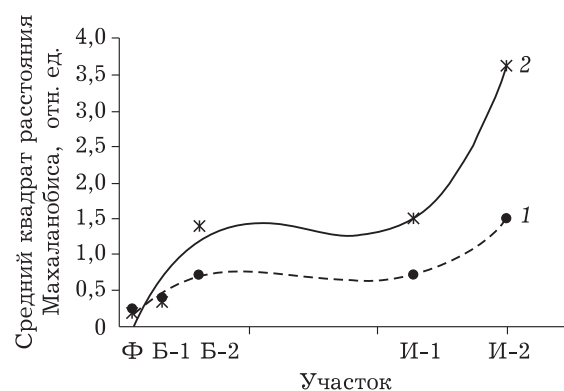


Рис. 1. Средние квадраты расстояний Махаланобиса, характеризующие реакцию надземной (1) и подземной (2) фитомассы на условия вегетационного сезона

Факторные нагрузки основных погодных показателей на главные компоненты за период 1995–2015 гг.

Показатель	Месяц	Главные компоненты	
		1	2
Среднемесячная температура	Апрель	-0,427	0,076
	Май	-0,325	0,285
	Июнь	-0,293	0,660
	Июль	-0,581	-0,471
Среднемесячное количество осадков	Январь	-0,793	0,110
	Февраль	-0,840	-0,041
	Март	-0,956	0,086
	Апрель	-0,816	-0,190
	Май	-0,789	0,172
	Июнь	-0,355	-0,277
	Июль	-0,580	-0,509
	Август	-0,544	0,464
	Сентябрь	-0,505	0,441
	Октябрь	-0,915	-0,221
	Ноябрь	-0,825	-0,057
	Декабрь	-0,657	-0,095
ГТК	Май	-0,612	-0,016
	Июнь	-0,612	0,157
	Июль	-0,125	-0,038
	Август	-0,437	-0,481
	Сентябрь	-0,243	0,775
Собственные значения		7,852	2,495
Доля дисперсии		0,393	0,125

П р и м е ч а н и е. Полужирным шрифтом выделены показатели максимальных факторных нагрузок.

ческой нагрузки у сообществ техноземов не прямолинейна. Так на участках Б-2 и И-1, несмотря на значительную разницу в уровне загрязнения почв, на которых они произрастают, и различия в сукцессионном возрасте сообществ уровень межгодовой изменчивости их фитомассы сходен и незначительно отличается от таковой на агроземах. На участке И-2 резко возрастает зависимость сообществ от погодных факторов, особенно для подземной фитомассы. Это указывает на то, что реакция сообществ на погодные условия вегетационного сезона зависит не только от токсической нагрузки.

Приводимый выше анализ фитомассы фитоценозов не отвечает на вопрос, какие из погодных параметров и в какой мере влияют на нее. Сложность оценок подобного влияния условий вегетационного сезона на продукционные процессы в природных фитоценозах

связана со взаимной корреляцией многочисленных анализируемых показателей (среднемесячные температуры, осадки, ГТК), затрудняющих выделение ведущих, статистически значимых параметров. Метод главных компонент использован для редукции гидрометеорологических данных исследованного района за 20-летний период (1995–2015 гг.). Из выбранных погодных параметров максимальные факторные нагрузки связаны с осенними и зимне-весенними осадками (F1 и F2), объясняющими до 39 % дисперсии. Фактор F3 включает ГТК за сентябрь месяц (12,5 % дисперсии). В дальнейшем мы ограничились изучением влияния на фитомассу этих выделенных показателей, объясняющих до 52 % общей дисперсии условий вегетации (табл. 4).

В рассматриваемом временном интервале (2006–2012 гг.) погодные условия на всех участках соответствовали средней климати-

Характеристика уравнения (1) для надземной и подземной фитомассы

Участок	Константа и независимая переменная				R^2	p
	a_0	$a_1 \ln S_1$	$a_2 \ln S_2$	$a_3 \ln \Gamma \text{ТК}$		
Надземная фитомасса						
Ф	3,31	1,08	-0,48	-0,25	0,06	0,39
Б-1	2,23	-0,49	1,00	-0,11	0,05	0,47
Б-2	0,71	1,82	-0,66	-0,73	0,26	<0,003
И-1	1,00	3,17	-1,82	-0,55	0,23	<0,007
И-2	-8,41	-1,56	3,99	-0,76	0,30	<0,004
Подземная фитомасса						
Ф	3,17	-0,44	0,84	-0,15	0,11	0,15
Б-1	6,66	-1,49	1,00	-0,06	0,11	0,15
Б-2	-7,12	0,36	2,05	-0,69	0,38	<0,001
И-1	-7,65	0,59	1,98	-0,20	0,40	<0,001
И-2	-2,65	1,37	0,39	-1,37	0,45	<0,001

П р и м е ч а н и е. Полужирным выделены статистически значимые константы ($p < 0,05$).

ческой норме, поэтому согласно проведенному анализу главных компонент, оценивали влияние на надземную (P_a , г/м²) и подземную (P_r , г/м²) фитомассы трех основных параметров: суммы осадков октябрь – ноябрь (S_1), суммы осадков январь – май (S_2) и гидротермического коэффициента Селянинова за сентябрь (ГТК). Следует ожидать, что связь биологической продуктивности с погодными факторами нелинейная [Одум, 1975], поэтому перед регрессионным анализом использовали линеаризующее преобразование (логарифмирование обеих частей модели):

$$\ln P = a_0 + a_1 \cdot \ln S_1 + a_2 \cdot \ln S_2 + a_3 \cdot \ln \Gamma \text{ТК}, \quad (1)$$

где a_0 , a_1 , a_2 , a_3 – параметры модели; S_1 – суммы осадков октябрь – ноябрь; S_2 – сумма осадков январь – май; ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова за сентябрь.

Для сообществ агроземов (Ф и Б-1) константы регрессионных моделей статистически незначимы. Для сообществ техноземов (Б-2, И-1, И-2) выделенные погодные параметры могут оказывать значимое влияние как на надземную, так и подземную фитомассу (табл. 5). При этом изменение надземной фитомассы в зависимости от количества осадков по периодам может демонстрировать как положительные, так и отрицательные

тенденции. Связь подземной фитомассы с зимне-весенними осадками на всех участках положительная, с осенними – отрицательная для сообществ агроземов и положительная для сообществ техноземов. Слабое (статистически незначимое) влияние зимне-весенних осадков на подземную фитомассу на участке И-2, возможно, связано с отсутствием поблизости лесных массивов, способствующих снегозадержанию. В отличие от этого участка на Б-1 и И-1 в окружении представлены молодые лесные сообщества, которые и обеспечивают снегозадержание. Увеличение ГТК сентября во всех случаях отрицательно сказывается на фитомассе.

Однако в большинстве случаев константы при рассматриваемых предикторах статистически незначимы (см. табл. 5), что позволяет говорить только о тенденции возможного влияния рассматриваемых факторов на фитомассу.

С целью установить влияние совокупного действия эдафических условий участков и погодных параметров на фитомассу, выполнен анализ общих регрессионных моделей (GRM). Чтобы исключить возможное влияние стадии сукцессии фитоценозов соответствующей разным участкам, модели рассчитаны отдельно для агроземов и техноземов. Построена модель вида

$$\ln Pa = a_0 + a_1 Z + a_2 \ln S_1 + a_3 \ln S_2 + a_4 \ln \Gamma \text{ГТК} \quad (2)$$

(Z кодирует участок, принимая значения 1 или 0).

Константы, их статистическая значимость ($p < 0,05$, выделены полужирным), коэффициенты детерминации регрессионных моделей представлены ниже.

Агроземы:

надземная фитомасса,

$$\ln Pa = 2,81 + 0,09Z(\Phi) + 0,29 \ln S_1 + 0,25 \ln S_2 - 0,18 \ln \Gamma \text{ГТК}; R^2 = 0,05; \quad (3)$$

подземная фитомасса,

$$\ln Pr = 4,89 + 0,07Z(\Phi) - 0,94 \ln S_1 + 0,90 \ln S_2 - 0,10 \ln \Gamma \text{ГТК}; R^2 = 0,10. \quad (4)$$

Техноземы:

надземная фитомасса,

$$\ln Pa = 2,51 - 0,01Z(\text{И-1}) + 0,06Z(\text{И-2}) + \mathbf{2,06} \ln S_1 - \mathbf{1,21} \ln S_2 - \mathbf{0,75} \ln \Gamma \text{ГТК}; R^2 = 0,18; \quad (5)$$

подземная фитомасса,

$$\ln Pr = \mathbf{-5,95} - \mathbf{0,19}Z(\text{И-1}) + \mathbf{0,32}Z(\text{И-2}) + 0,76 \ln S_1 + \mathbf{1,51} \ln S_2 - \mathbf{0,75} \ln \Gamma \text{ГТК}; R^2 = 0,33. \quad (6)$$

В каждую из моделей (3)–(6) последовательно (отдельно друг от друга) включали совокупные эффекты ($Z \times \ln S_1$; $Z \times \ln S_2$; $Z \times \ln \Gamma \text{ГТК}$), устанавливали их статистическую значимость и вклад в улучшение соответствующей модели (увеличение коэффициента детерминации).

Результаты анализа фитомассы сообществ агроземов показали, что ни один из рассматриваемых совместных эффектов “участок \times погодный параметр” статистически незначим ($p > 0,05$) и не вносит существенный вклад в улучшение моделей 3 и 4 ($R^2 < 0,12$). Анализ фитомассы сообществ техноземов, напротив показал, что совместные эффекты “участок \times сумма осадков (октябрь – ноябрь)” и “участок \times ГТК (сентябрь)” статистически значимы ($p < 0,001$) и улучшают согласованность теоретических данных (полученных по моделям 5 и 6) с фактическими, как для надземной ($R^2 = 0,24$), так и подземной ($R^2 = 0,37-0,43$) фитомассы.

Таким образом, влияние погодных параметров (осадки и ГТК) на фитомассу изучаемых сообществ проявляется по-разному, в зависимости от эдафических условий, вклю-

чающих уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ влияния погодных условий на фитомассу сообществ травянистых растений показал, что наибольшее значение имеют осадки за период октябрь – ноябрь и январь – май месяцы, а также гидротермический коэффициент Селянинова за сентябрь месяц, однако их воздействие неоднозначно. Наблюдаемое отсутствие статистически значимого влияния этих показателей на надземную и подземную фитомассу агроземов (Φ и Б-1) и их значимое влияние на участках техноземов (Б-2, И-1, И-2) обусловлены в первую очередь спецификой почв. Первые два участка характеризуются агродерновоподзолистым типом почвы, проградированной дерновым процессом. Почва на этих участках тяжело-суглинистая-глинистая, каменистая, возникшая на делювии известковистых глин, обладающая выраженными горизонтами (О, АУ, Р, (ЕL), ВЕL, ВТ). Мощность задернованного гумусового горизонта (АУ 0–4 см), пахотного (Р) – 19–25 см.

В отличие от агроземов почвы техноземов относятся к молодым, формирующимся на отвалах различного рода и вида: Б-2 – пылеватый суглинок на тальковом сланце с техногенными включениями, И-1 – суглинисто-глинистый, каменистый с включениями железорудного агломерата, концентрата, шлака, известняка, талька и т. п.; И-2 – тяжелый суглинок, каменистый, с включениями шлака, руды, щебня кварца и талька [Жуйкова и др., 2015]. На техноземах выражены только горизонты О, АУ, Stech. Мощность дернового горизонта всего 0–6 см, пахотный – отсутствует. Структурированность почвы и присутствие развитого пахотного горизонта, видимо, и обеспечивают устойчивое плодородие агроземов и меньшую зависимость продуктивности сообществ от погодных факторов, в отличие от техноземов, являющихся молодыми формирующимися почвами, не способными поддерживать устойчивое плодородие. Это согласуется с представлениями о возрастной ресурса плодородия по мере развития почвы [Кукреш, 2011].

Установленные различия ответной реакции фитоценозов на погодные условия не могут сводиться исключительно к эдафическим условиям. Несомненна роль видового состава и структуры доминирования видов в травяных сообществах. Подобные различия особенно четко проявляются на участках техноземов.

Сообщество участка Б-2 включает 47 видов и по структуре доминирования является полидоминантным. В качестве содоминантов в разные годы (2006, 2009–2011 гг.) выступают виды: *Trifolium pratense* L. (13–18 %), *Festuca pratensis* Huds. (20 %), *Poa palustris* L. (17 %), *Lathyrus pratensis* L. (13–15 %), *Carum carvi* L. (11–16 %), *Achillea millefolium* L. (11 %), *Leucanthemum vulgare* Lam. (10 %), *Veronica chamaedrys* L. (12 %), *V. longifolia* L. (10 %). Доля участия группы “прочие виды” составляет 33–63 % в общей структуре надземной фитомассы. В 2010 г. в сообществе встречается один доминант *T. pratense* L. (23 %) и два субдоминанта: *L. pratensis* L. (13 %) и *C. carvi* (10 %). Степень межгодовой изменчивости надземной фитомассы доминанта – 42,5 %.

В фитоценозе участка И-1 произрастает 42 вида. Видовая структура сообщества характеризуется устойчивым доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. с долей его участия в надземной фитомассе 35–53 %. Абсолютным доминантом данный вид выступает только в 2011 и 2012 гг.; в 2006 и 2010 гг. – в статусе доминанта. В большинстве случаев субдоминантом является *T. pratense* L. (11–20 %), в отдельные годы – *Chamerion angustifolium* (L.) Holub (10 %), *Melilotus albus* Medik. (11 %). В 2009 г. в сообществе присутствуют два содоминанта: *C. epigeios* (L.) Roth. (45 %) и *L. pratensis* L. (25 %). Вклад “прочих” видов составил 29–53 %. Степень межгодовой изменчивости надземной фитомассы доминанта – 48,6 %.

Фитоценоз участка И-2 включает 32 вида и характеризуется устойчивым доминированием вейника наземного с долей участия 46–69 %. В 2009–2011 гг. он является абсолютным доминантом. В качестве субдоминантов выступают *L. pratensis* L. (11 %) или *Cirsium setosum* (Willd.) Bess. (16 %). В 2012 г. доля *C. epigeios* (L.) Roth. в общей фитомассе немного меньше 50 % (46,4 %) и наряду с ним

фитомассу соответствующую статусу доминанта развивает *L. pratensis* L. (28 %). Группа “прочие виды” в структуре доминирования составила 15–26 %. Степень межгодовой изменчивости надземной фитомассы доминанта – 48,6 %.

В ходе исследования установлено, что общая фитомасса сообществ скоррелирована с фитомассой доминанта ($R_s = 0,61$; $N = 20$; $p = 0,004$). Степень изменчивости последней возрастает в градиенте загрязнения от 26,0–26,5 % на агроземах до 42,5–53,5 % на техноземах и коррелирует со значениями средних квадратов расстояний Махаланобиса ($R_s = 0,8$), которые отражают реакцию надземной фитомассы на условия вегетационного сезона (см. рис. 1). Чувствительность сообществ к погодным условиям по показателю фитомассы связана и с видовым богатством. В пределах всего рассматриваемого градиента загрязнения наблюдается снижение видового богатства от 55 видов на агроземах до 32 на И-2 ($R_s = -0,9$; $N = 5$; $p = 0,0037$), которое обратно пропорционально межгодовой изменчивости фитомассы ($R_s = -0,8$).

Специфика видового состава сообществ агроземов и техноземов четко проявляется при кластерном анализе 5-летних наблюдений фитомассы растений изучаемых участков (рис. 2).

Сообщества участков Ф и Б-1, близких по агрохимическим особенностям почв, на которых они произрастают (агроземя), и

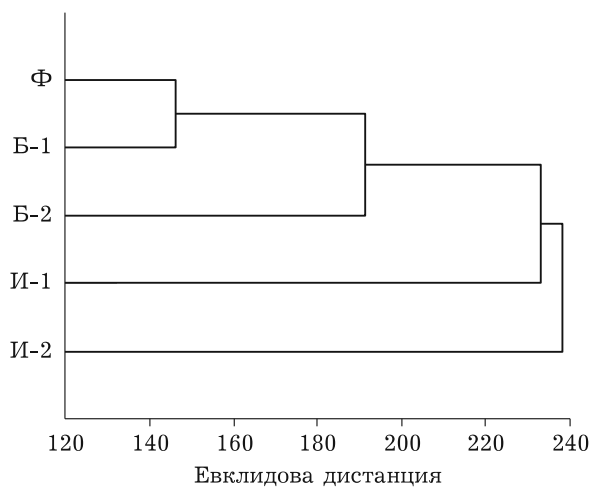


Рис. 2. Кластерный анализ надземной фитомассы травяных сообществ на участках с различным уровнем их химического загрязнения

сукцессионному возрасту (луговые сообщества), объединяются в один кластер, а сообщества техноземов (Б-2, И-1, И-2) не образуют единого кластера, что, видимо, определяется выше перечисленными различиями почвы этих участков и видовым составом фитоценозов.

Установленная зависимость фитомассы от суммы осадков октября – ноября и января – мая на этих участках, скорее всего, обусловлена тем, что в развитии травянистых многолетников выделяют два важных периода, влияющих на их продуктивность: весенний, связанный с началом вегетации и активными процессами нарастания фитомассы, и осенний, во время которого происходит формирование вегетативных и генеративных почек, качество и количество которых влияет на урожай следующего года [Куперман, 1977; Мустафаев, 2007]. У многолетних луговых злаков наблюдается весенний и летне-осенний периоды кущения, на интенсивность которых влияют водный режим, вид, дозы, сроки внесения удобрений и другие факторы [Мустафаев, 2007].

Осадки октября – ноября выполняют влагозарядную функцию и положительно влияют на надземную фитомассу. Это связано также с предотвращением зимнего иссушения и весеннего недостатка влаги, от которого зависит начало вегетации. С другой стороны теплоемкость сырой почвы значительно выше, чем сухой, поэтому хорошо увлажненная осенью почва дольше сохраняет тепло, промерзает и оттаивает медленнее, поэтому в случае зимних оттепелей колебания температуры будут более сглаженными, что благоприятно для растений [Умарова и др., 2011; Юдаев, Буланова, 2013; Ляшевский, Тищенко, 2017].

Согласно предложенной модели положительное влияние на подземную фитомассу оказывает сумма осадков в январе – мае. Возможно, связано это с высотой снежного покрова, не только защищающего от промерзания корнеобитаемый слой почвы, но и обеспечивающего необходимый запас почвенной влаги в весенний период снеготаяния.

Отрицательное влияние зимне-весенних осадков на надземную фитомассу, выявлен-

ное только для участка И-1, возможно, связано с эффектом выпревания [Подгорный, 1971]. Прежде всего, это касается незимостойких видов, к числу которых относится, например, *T. pratense* L. [Мустафаев, 2007]. Данный вид, представленный на участке И-1, занимает изменчивое положение в структуре сообщества. В сезоны с малоснежной зимой он развивает наибольшую фитомассу (до 68 г/м²) и выступает в качестве субдоминанта (доля доминирования в сообществе более 20 %), что способствует общему повышению фитомассы до 333 г/м². В сезоны с многоснежной зимой имеет меньшую фитомассу (4–20 г/м²) и не входит в доминантную группу или характеризуется меньшей долей участия в общей фитомассе сообщества (1–11 %).

Кажется неожиданным отсутствие прямого влияния среднемесячных температур на продуктивность рассмотренных травяных сообществ. Этот погодный параметр учитывается только в гидротермическом коэффициенте Селянинова, влияние которого на участках техноземов отрицательно коррелирует с фитомассой (см. табл. 5). Такое влияние ГТК сентября на продуктивность обусловлено избыточным накоплением воды в почве и низкими температурами воздуха. В этих условиях повышается вязкость воды и, как следствие, понижается ее подвижность, уменьшается проницаемость цитоплазмы и скорость всех метаболических процессов. При подобной “физиологической засухе” возможно подавление развития подземных и надземных органов [Якушкина, Бахтенко, 2005]. Осенние периоды с небольшим количеством осадков и высокими активными температурами являются благоприятными для формирования надземной и подземной фитомассы.

Повышенная чувствительность к погодным факторам подземной фитомассы сообществ техноземов, выраженная в большей межгодовой изменчивости по сравнению с надземной фитомассой, видимо, обусловлена прямым контактом с почвой подземной сферы растений, испытывающей максимальное токсическое воздействие от присутствия в почвах этих участков высоких концентраций тяжелых металлов.

ВЫВОДЫ

1. На основании 20-летних гидрометеорологических наблюдений методом главных компонент показано, что для условий Среднего Урала из числа выбранных параметров (среднемесячные температуры и сумма осадков по месяцам, гидротермический коэффициент Селянинова) максимальные факторные нагрузки связаны с осенними и зимне-весенними осадками, а также с ГТК сентября.

2. Результаты регрессионного анализа показали, что на антропогенно преобразованных, но структурированных, обладающих достаточным развитым пахотным горизонтом почвах залежей (агроземов) обеспечивается устойчивая продуктивность травяных сообществ и ее меньшая зависимость от условий вегетации.

3. Сообщества, формирующиеся на молодых почвах отвалов (техноземы), резко отличаются от фитоценозов, формирующихся на залежах (агроземы) и обладают меньшей устойчивостью и повышенной чувствительностью к изменению погодных факторов. В градиенте загрязнения почв тяжелыми металлами наблюдается возрастание чувствительности травяных сообществ по показателю фитомассы к погодным условиям в большей степени выраженное для подземной сферы. Однако эта зависимость непрямолинейна, так как определяется целым комплексом факторов.

4. Степень выраженности реакции отдельных фитоценозов техноземов на ведущие погодные факторы определяется эдафическими условиями, влияющими на видовое разнообразие и структуру доминирования сообществ. Наиболее благоприятными для формирования на этих почвах надземной и подземной фитомассы являются осенние периоды с небольшим количеством осадков и высокими активными температурами.

Работа выполнена в рамках Программы УрО РАН № 18-4-4-9 и Государственного заказа Института экологии растений и животных УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Андреяшкина Н. И. Состав растительных сообществ естественных и техногенно нарушенных экотопов на

- водоразделах Ямала: флористическое разнообразие // Экология. 2012. № 1. С. 22–26.
- Безель В. С., Жуйкова Т. В., Позолотина В. Н. Структура ценопопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов // Там же. 1998. № 5. С. 376–382.
- Безель В. С., Жуйкова Т. В., Гордеева В. А., Мелинг Э. В., Трубянов А. Б., Глотов Н. В. Надземная биомасса и скорость деструкции растительных остатков в травянистых сообществах при загрязнении почвы тяжелыми металлами // Экология. 2016. № 4. С. 264–269 [Bezel' V. S., Zhuikova T. V., Gordeeva V. A., Meling E. V., Trubyanov A. B., Glotov N. V. Aboveground phytomass and rate of plant debris decomposition in herbaceous communities exposed to soil pollution with heavy metals // Rus. Journ. Ecol. 2016. Vol. 47, N 4. P. 343–348].
- Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. М.: Гидрометеиздат, 1983. Ч. 1. С. 82–84.
- Глазунов В. А. Антропогенное воздействие на растительный покров в лесостепной зоне Тюменской области // Успехи соврем. естествознания. 2005. № 11. С. 80–81.
- Гордеева В. А., Жуйкова Т. В. Продуктивность травянистых сообществ в условиях сочетанного действия химического загрязнения и погодноклиматических факторов // Тобольск научный – 2014: мат-лы X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Тобольск, Россия, 7–8 ноября 2014 г. Тобольск: Тобол. типография фил. ОАО "Тюменский издательский дом", 2014. С. 58–61.
- Горчаковский П. Л., Коробейникова В. П. Первичная продуктивность некоторых луговых сообществ Южного Урала // Экология. 1975. № 3. С. 7–17.
- Дымова Т. В. Сукцессионная динамика растительного покрова дельты р. Волги под влиянием деятельности человека // Альманах современной науки и образования. № 11 (30): в 2 ч. Тамбов: Грамота, 2009. Ч. 1. С. 127–129.
- Ившина И. Б., Костина Л. В., Каменских Т. Н., Жуйкова Т. В., Жуйкова В. А., Безель В. С. Почвенный микробиоценоз как показатель стабильности луговых сообществ при химическом загрязнении среды тяжелыми металлами // Экология. 2014. № 2. С. 83–90 [Ivshina I. B., Kostina L. V., Kamenskikh T. N., Zhuikova V. A., Zhuikova T. V., Bezel' V. S. Soil microbiocenosis as an Indicator of stability of meadow communities in the environment polluted with heavy metals // Rus. Journ. Ecol. 2014. Vol. 45, N 2. P. 83–89].
- Игошева Н. И. Флора и растительность нарушенных земель в подзоне южных гипоарктических тундр // Там же. 2007. № 2. С. 144–148.
- Жуйкова Т. В. Реакция ценопопуляций и травянистых сообществ на химическое загрязнение среды: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2009. 40 с.
- Жуйкова В. А., Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В. Изменение надземной фитомассы луговых сообществ при сочетанном действии химического загрязнения и погодноклиматических факторов // Антропогенная трансформация природной среды: Междунар. конф. 18–21 октября 2010 г.: в 3 т. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2010. Т. 1, ч. 1. С. 287–293.

- Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Кайгородова С. Ю., Бель В. С., Гордеева В. А. Особенности почв и травянистых растительных сообществ в условиях техногенеза на Среднем Урале // *Экология*. 2015. № 3. С. 163–172 [Zhuikova T. V., Meling E. V., Kaigorodova S. Yu., Bezel' V. S., Gordeeva V. A. Specific features of soils and herbaceous plant communities in industrially polluted areas of the Middle Urals // *Rus. Journ. Ecol.* 2015. Vol. 46, N 3. P. 213–221].
- Казнина Н. М., Титов А. Ф., Батова Ю. Б., Доршакова Н. В., Карапетян Т. А. Оценка степени техногенного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами по состоянию растительности // *Тр. Карлского науч. центра РАН. Петрозаводск: КарНЦ РАН*. 2015. № 2. С. 89–94.
- Кайгородова С. Ю., Жуйкова Т. В., Жуйкова В. А., Бель В. С., Ившина И. Б. Характеристика антропогенно деградированных почв и микробного комплекса территорий Нижнетагильского промузла // *Современные проблемы загрязнения почв: мат-лы IV Междунар. науч. конф. М., 2013*. С. 226–231.
- Каюмов Ф. Г., Сидоров Ю. Н., Докина Н. Н. Природные фитоценозы и поддержание их продуктивности в зоне сухих степей Оренбургской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 10. С. 40–42.
- Крючков А. Г. Параметры моделей погодных факторов для формирования фотосинтетических показателей яровой твердой пшеницы в степи Оренбургского Зауралья // *Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та*. 2016. № 5 (61). С. 14–18.
- Кукреш Л. Главные факторы эффективного земледелия – грамотный севооборот // *Белорусское сельское хоз-во*. 2011. № 7. С. 16–19.
- Куперман Ф. М. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений. М.: Высш. шк., 1977. 287 с.
- Куркин К. А. Закон минимума и факторы, лимитирующие продуктивность луговых фитоценозов // *Экология*. 1996. № 5. С. 341–344.
- Лайдинен Г. Ф., Груздева Л. И., Титов А. Ф., Казнина Н. М., Батова Ю. В., Сузук А. А. Состояние травянистой растительности и сообществ почвенных нематод в условиях промышленного загрязнения // *Тр. Карел. науч. центра РАН*. 2013. № 6. С. 17–26.
- Ляшевский В. И., Тищенко А. П. Влагозарядковые поливы в Крыму // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2017. № 1 (65). С. 16–21.
- Мелинг Э. В., Жуйкова Т. В. Влияние погодно-климатических факторов на проективное покрытие видов луговых сообществ в градиенте химического загрязнения // *Биологические системы: устойчивость, механизмы и принципы функционирования: мат-лы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Нижний Тагил, 26–29 марта 2012 г. Нижний Тагил: Нижнетагил. гос. соц.-пед. акад.*, 2012. Ч. 2. С. 53–59.
- Мелинг Э. В., Жуйкова Т. В. Влияние погодно-климатических факторов на видовую насыщенность луговых сообществ при загрязнении почвы тяжелыми металлами // *Принципы и способы сохранения биоразнообразия: мат-лы VI Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Йошкар-Ола, 11–14 марта 2015 г.* С. 85–88.
- Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981. С. 9–33.
- Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности: учебник для вузов. М.: Логос, 2001. 264 с.
- Морозова Г. Ю. Мониторинг урбанизированной среды: структура популяций растений // *Изв. Самар. НЦ РАН*. 2009. Т. 11, № 1 (6). С. 1170–1173.
- Мустафаев Б. А. Практикум по основам луговодства: учеб.-метод. пособие по проведению лабораторно-практических занятий. Павлодар, 2007. 240 с.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
- Подгорный П. И. Вызревание растений // *Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М.: Сов. энцикл.*, 1971. Т. 5. С. 1581.
- РД 52.18.191–89 Методические указания “Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом”. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200048597>.
- Романова Э. П., Куракова Л. И., Ермаков Ю. Г. Природные ресурсы мира: учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1993. 304 с.
- Умарова С. А., Досов Д. Ж., Гулянов Ю. А. Особенности осеннего развития озимой пшеницы в условиях орошения на Южном Урале // *Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та*. 2011. Т. 1, № 29-1. С. 23–24.
- Харитонов Ю. Д., Бойков Т. Г. Биомасса подземных органов степных фитоценозов Западного Забайкалья // *Экология*. 1999. № 5. С. 344–347.
- Шалыт М. С. Вегетативное размножение и возобновление высших растений и методы его изучения // *Полевая геоботаника*. М.; Л., 1960. Т. 2. С. 163–208.
- Юдаев И. В., Буланова Ю. А. Влияние орошения виноградников на продуктивность и качество винограда в зоне Волго-Донского междуречья // *Плодородие*. 2013. № 5 (74). С. 21–22.
- Якушкина Н. И., Бахтенко Е. Ю. Физиология растений: учебник для вузов. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2005. 463 с.
- Belykh E. S., Maystrenko T. A., Grushev V. I., Vakhrusheva O. M., Kaneva A. V., Trapeznikov A. V., Zainullin V. G. Species diversity of plant communities from territories anthropogenically contaminated with natural radionuclides. // *Rus. Journ. Ecol.* 2015. Vol. 46, Iss. 5. P. 425–430.
- Global Environmental Monitoring System (GEMS): Action Plan for Phase I. SCOPE Rep. 3, Toronto, Canada, 1973. 132 p.
- Khudsar T., Mahmooduzzafar, Iqbal M., Sairam R. K. Zinc-induced changes in morpho-physiological and biochemical parameters in *Artemisia annua* // *Biol. Plantarum*. 2004. Vol. 48, Iss. 2. P. 255–260.
- Kosobrukhov A., Knyazeva I., Mudrik V. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis // *J. Plant Growth Regulation*. 2004. Vol. 42. P. 145–151.
- Pozolotina V. N., Antonova E. V. Temporal variability of the quality of *Taraxacum officinale* seed progeny from the East-Ural radioactive trace: Is there an interaction

between low level radiation and weather conditions? //
Int. Journ. Radifition Biol. 2017. 22–42. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/09553002.2016.1254835>
Prasad M. N. V., Malec P., Waloszek A., Bojko M., Strzalka K. Physiological responses of *Lemna trisulca* L.

(duckweed) to cadmium and cooper bioaccumulation //
Plant Sci. 2001. Vol. 161. P. 881–889.
The Encyclopedia of World Climatology (Encyclopedia of Earth Sciences Series) / ed. J. E. Oliver. Dordrecht: Springer, 2005. 854 p.

Dependence of Phytomass of Herbaceous Cenoses on Weather Factors in Anthropogenically Impacted Areas

T. V. ZHUIKOVA^{1,2}, V. S. BEZEL'², I. E. BERGMAN², V. A. GORDEEVA¹, E. V. MELING¹

¹ *Nizhny Tagil State Social Pedagogical Institute of Russian State Vocational Pedagogical University*
622031, Nizhny Tagil, Krasnogvardeyskaya str., 57
E-mail: hbfmt@rambler.ru

² *Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of RAS*
620144, Yekaterinburg, 8 Marta str., 202

The paper deals with phytomass of herbaceous phytocenoses growing on anthropogenically impacted areas in the Middle Urals at different stages of succession along heavy metal pollution gradient. Cenoses of young soils of dumps have less resistance and higher sensitivity to changes in weather factors, in contrast to the phytocenoses of the deposits. It is shown by the method of general regression models that the epiterranean and subterranean biomass of cenoses in technozems depends on the Selyaninov's hydrothermic coefficient for September and the amount of precipitation in October – November of the previous year and in January – May of the current year. The degree of this dependence for cenoses under study is determined by edaphic conditions that affect the species diversity and dominance structure.

Key words: herbaceous phytocenoses, epiterranean and subterranean biomass, weather factors, anthropogenically impacted areas, heavy metals.