

УДК 631.58:633.2

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННО-ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРМОВЫХ ТРАВ

© 2022 г. Д. А. Иванов¹, Я. С. Лисицын¹, Д. И. Лотц^{2,*}, П. С. Лотц²¹Федеральный исследовательский центр “Почвенный институт имени В.В. Докучаева”
119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Россия²Тверская государственная сельскохозяйственная академия
170904 Тверь, ул. маршала Василевского (Сахарово), 7, Россия

*E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Поступила в редакцию 05.07.2022 г.

После доработки 14.08.2022 г.

Принята к публикации 15.09.2022 г.

Изучили влияние факторов природной среды конечно-моренного холма на формирование и взаимовлияние химических составов надземной и подземной биомассы молодого клеверо-тимофеечно-го травостоя. Исследования проводили в 2019 г. на трансекте, пересекающей основные микроландшафтные позиции холма — межхолмные депрессии, склоны и вершину. Содержание химических элементов определяли рентгенфлуорисцентным методом в образцах вегетативных органов, корней и почв, взятых в точках опробования, регулярно расположенных вдоль трансекты. Там же определяли агрохимические, физические и водно-физические свойства почв. Полученные данные статистически исследовали. Приведены результаты статистического исследования химического состава трав. Выявлено, что химические составы надземных и подземных органов трав принципиально не различались. Химический состав вегетативных органов был менее вариабелен по сравнению с корнями, однако зависел от большего количества факторов. Увеличение доли злаков в фитоценозе приводило к снижению содержания в кормах бора, меди, магния и к увеличению в них концентрации марганца и цинка. Преобладание бобовых способствовало накоплению в кормах бора, кадмия, меди и магния, а также обеднению их марганцем. От содержания бора, меди, магния, марганца и стронция в подземных органах зависела концентрация бора, бария, кальция, меди, магния, марганца, молибдена, натрия в кормах. В кормах изменчивость концентрации кальция имела уникальный характер, тогда как в корнях он образовал с другими металлами единый кластер. Содержание химических элементов в травах в наибольшей степени зависело от агрохимических свойств почв. Слабее на него влиял валовой состав почв. Агрофизические свойства почв в наименьшей степени воздействовали на содержание химических элементов в биомассе растений. Изменчивость химического состава растений во многом зависела от неоднородности геологического фундамента агроландшафта и от вариабельности характера геохимических обстановок. Учет комплекса факторов, влияющих на миграционные возможности различных химических элементов в пределах сельскохозяйственно-го угодья, позволит управлять качеством кормов в режиме адаптивно-ландшафтного земледелия.

Ключевые слова: химический состав растений, кормовые травы, агроландшафт, статистический анализ.

DOI: 10.31857/S0002188122120055

ВВЕДЕНИЕ

Процессам взаимосвязи химического состава горных пород, почв, вод и растений посвящены труды основателей почвоведения и геохимии [1, 2]. В.В. Докучаев, а вслед за ним и В.И. Вернадский уделяли вопросу миграции макро- и микроэлементов в ландшафте пристальное внимание. С момента становления классического почвоведения и аналитической геохимии накоплен большой материал по вопросу трансформации химического состава горных пород в процессе почво-

образования, ландшафтогенеза и формирования биомассы. Однако на современном этапе развития ноосферы и человеческого общества проблема формирования химического состава продукции растениеводства стала более актуальной в связи с обострением экологического и продовольственного кризисов.

Процесс исследования химического состава разнообразных сред и компонентов ландшафта сопряжен с определенными трудностями, связанными с технологией взятия, обработки и хра-

нения образцов, а также с экономическими аспектами непосредственно анализа. В связи с этим количество литературы, посвященной проблемам геохимии растениеводства, не столь велико, как следовало бы ожидать из масштаба и важности проблемы.

Весьма ограниченный объем работ, написанных по этой тематике с 2017 г., может быть разделен на несколько потоков. Прежде всего следует отметить работы, посвященные описанию химического состава горных пород и почв. Например, в работе [3] отмечена необходимость контроля содержания тяжелых металлов в почвах, используемых в сельском хозяйстве. В центре внимания должны оказаться пахотные почвы. В работе [4] исследовали химический состав вулканического пепла на предмет использования его в качестве удобрения. Процессы трансформации химических свойств почв под воздействием человека изучены в работах [5, 6].

Важным вопросом является характер взаимодействия химического состава почв и культурной растительности. В статье [7] исследовано влияние почв атлантических горных лугов на характер кормов, в работе [8] изучали агрономические характеристики и химический состав глирицидии заборной, выращиваемой на разной высоте и в разные сезоны года. Проведены исследования химического состава почв, кормов и продуктов метаболизма животных в системе взаимосвязанных круговоротов [9, 10]. На современном этапе все более актуально изучение процессов загрязнения продукции растениеводства в результате промышленной деятельности [11].

Значительная часть публикаций направлена на выявление зависимости химического состава лекарственных растений от условий среды [12–15]. Некоторые авторы приходят к выводу о действии генетических барьеров при формировании вегетативных органов лекарственных трав, что приводит к относительной стабильности их химического состава [14].

Большинство работ рассматривают химический состав растений как производное от химического состава других компонентов ландшафта. Однако можно предположить, что на содержание макро- и микроэлементов в растениеводческой продукции влияют и другие параметры природной среды, такие, например, как физические свойства почв. Практический интерес представляет также взаимовлияние химических составов разных органов растений в различных ландшафтных условиях. Цель работы – изучение влияния факторов природной среды агроландшафта ко-

нечно-моренного холма на формирование и взаимовлияние химических составов надземной и подземной биомассы молодого клеверо-тимофеечного травостоя.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение химического состава надземной и подземной биомасс клеверо-тимофеечного травостоя под покровом овса проводили на агроэкологическом полигоне ВНИИ мелиоративных земель площадью 50 га, расположенном в 4-х км к востоку от г. Тверь, на холме с относительной высотой 15 м, состоящим из плоской вершины, северного пологого (2–3°) и южного более крутого (3–5°) склонов и межхолмных депрессий.

Двучленные отложения, состоящие из верхнего, относительно легкого слоя, подстилаемого моренными карбонатными закаменными суглинками, являются основными почвообразующими породами стационара. В его южной части мощность песчано-супесчаного наноса иногда превышает 1.5 м, на вершине и северном склоне холма она меняется ≈ 1 м, а в межхолмной депрессии на севере морена местами выходит на поверхность. Почвы в ареалах с господством мощных поверхностных слоев, как правило, характеризуются пахотными горизонтами более легкого гранулометрического состава, чем в местах с близким к поверхности залеганием морены.

В пределах полигона основным типом элементарных почвенных структур являются подзолисто-гидроморфно-эрозионные вариации-ташеты. Пестрота почвенного покрова обусловлена литологической неоднородностью почвообразующих пород по горизонтали и вертикали. Полигон осушен регулярным гончарным дренажем со средним междренним расстоянием 30 м.

Для достижения поставленной цели провели химический анализ надземной и подземной биомассы молодого травостоя рентген-флюоресцентным методом [16]. Травостой состоял из клевера красного сорта ВИК 7, тимopheевки луговой сорта ВИК 9 и сорных видов, вышедшего в 2019 г. из-под покрова ярового овса сорта Аргамак. Травостой произрастал на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком севооборотном массиве, шириной 7.2 м и длиной 1300 м, пересекающим все микроландшафтные позиции конечно-моренного холма: транзитно-аккумулятивные (Т-А) геокомплексы межхолмных депрессий и нижних частей склонов, где происходит накопление элементов питания из намывных и грунтовых вод; транзитные (Т) ландшафты центральных частей склонов, в которых

преобладает латеральный (параллельный поверхности) ток влаги; элювиально-транзитные (Э-Т) местоположения верхних частей склонов, где происходит латерально-вертикальное перемещение влаги по почвенному профилю и элювиально-аккумулятивный (Э-А) ландшафт вершины, в котором наряду с вертикальным промыванием почвенного профиля происходит локальная концентрация влаги в микропонижениях.

Мониторинг химических показателей вегетативных частей растений, химических и физических свойств почвенного покрова [17, 18] осуществляли в 30-ти точках, равномерно расположенных по трансекте на расстоянии 40 м друг от друга. Химический состав корней определяли в 27 точках. Площадь учетной делянки – 20 м².

Статистический анализ массивов данных выполняли на основе пакета Statistica 12. При выполнении процедуры описательной статистики определяли общие черты и различия химического состава подземной и надземной частей агроценоза. В ходе корреляционного анализа рассчитывали влияние параметров почвенного покрова на химический состав различных частей растений. Кластерный анализ позволил выявить основные ассоциации химических элементов в корнях и вегетативных органах. Однофакторный дисперсионный анализ позволил выявить достоверные отличия в содержании элементов в растениях в разных частях агроландшафта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав надземной части растений в основном совпадал с таковой корневой массы (рис. 1а). Можно отметить только достоверное превышение содержания Li и Pb в корнях, что объясняется наличием генетического барьера, не позволяющего беспрепятственно проникать поллютантам в надземные органы растений. Достоверные различия в пробах, взятых в различных точках, обнаружены для десяти элементов: Ва, Са, Cd, Fe, Mn, Мо, Na, Pb, Ti и Zn. Железо, магний, алюминий и кальций образовали группу макроэлементов, концентрация которых в органах растений значительно больше, чем других элементов, что обусловлено их господством в земной коре и почвах [19, 20].

Данные описательной статистики, выраженные через соотношения средних величин содержаний элементов в надземной и подземной биомассе, а также их коэффициентов вариации, показали, что большая часть из 20-ти исследованных элементов сильнее концентрировалась в корнях (рис. 1б).

Сравнение соотношений средних содержаний элементов, а также их показателей вариабельности обнаружило, что только 7 элементов из изученных двадцати (мышьяк, бор, барий, кальций, магний, марганец и стронций) интенсивнее накапливались в вегетативных органах растений, а 8 элементов (кальций, хром, литий, магний, молибден, натрий, свинец и стронций) сильнее варьировали в пространстве в составе надземной биомассы. Следовательно, можно сказать, что в основном в корнях происходило усиленное накопление макро- и микроэлементов, а также более сильная изменчивость их химического состава в пространстве, что объясняется, во-первых, нахождением этих органов растений непосредственно в почве, а во-вторых, наличием, по-видимому, генетических барьеров, регулирующих химический состав генеративных органов.

На химический состав надземной массы, которая является кормом для животных, большое влияние оказывал видовой состав травостоя. Корреляционный анализ показал, что на содержание в сене таких элементов как бор, кадмий, медь, магний, марганец и цинк существенное влияние оказывал характер пространственной динамики суммарной массы основных компонентов травостоя – тимофеевки, клевера и пырея. Увеличение массы тимофеевки в травостое приводило к снижению содержания в кормах бора ($r = -0.58$), меди ($r = -0.63$) и магния ($r = -0.55$) и увеличению в них содержания марганца ($r = 0.77$) и цинка ($r = 0.58$). Вариабельность массы пырея также оказывала влияние на содержание в кормах бора, меди и магния ($r = -0.65$, -0.56 и -0.61 соответственно). В отличие от злаков, пространственная вариабельность массы бобовых (клевера) оказывала влияние на содержание в сене следующих элементов: бора ($r = 0.82$), кадмия ($r = -0.54$), меди ($r = 0.78$), магния ($r = 0.67$) и марганца ($r = -0.66$). В данной работе были достоверны корреляции $\geq |0.34|$.

Наблюдали определенную зависимость качества сена и от химического состава корней. Можно сказать, что наибольшее влияние на химический состав корма оказывали 5 элементов, содержащихся в корнях, – бор, медь, магний, марганец и стронций. Бор, медь и магний в корнях в основном влияли на содержание в сене бора, бария, кальция, меди, магния, марганца, молибдена и натрия. Содержание марганца в корнях оказывало влияние еще и на содержание свинца и цинка. Стронций в корнях в некоторой степени определял содержание в кормах бора, кальция, хрома, меди, лития, магния, марганца, молибдена, натрия, стронция, ванадия и цинка. Наиболее силь-

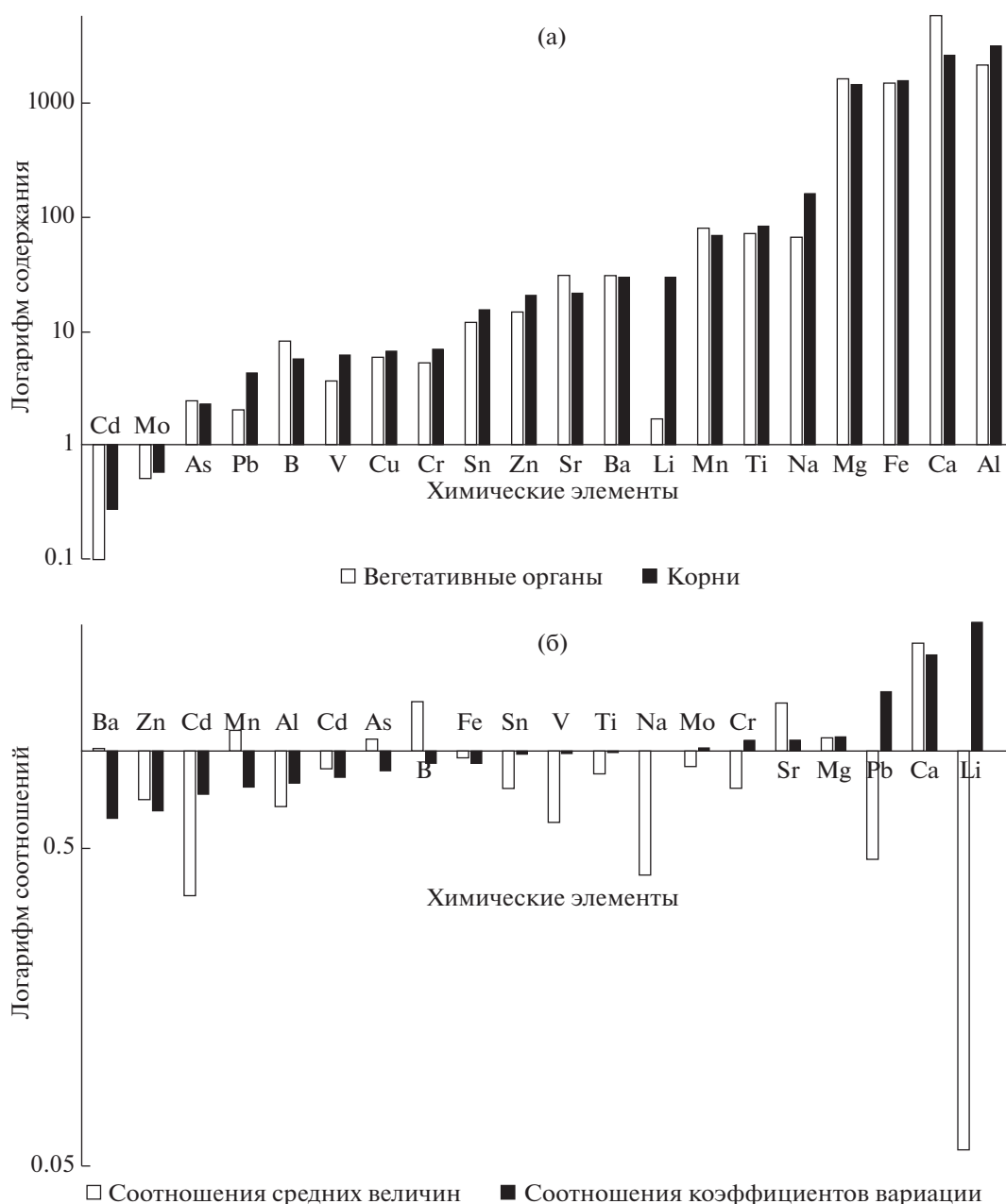


Рис. 1. Средние показатели содержания химических элементов (а) и отношения “вегетативные органы/корни” параметров описательной статистики (б).

но от химического состава корней зависело содержание в корме натрия, магния и кальция (табл. 1).

Кластерный анализ полученных данных показал, что имеются существенные различия в характере взаимосвязей элементов в различных частях растений (надземных и подземных) (рис. 2). Показано, что несмотря на определенное подобие характера ассоциации элементов в вегетативных органах и корнях, отмечены между ними и значительные различия. Во-первых, взаимосвязи меж-

ду содержаниями химических элементов в корнях значительно более тесные, чем в надземных частях растений; во-вторых, в надземной биомассе изменчивость концентрации кальция имела уникальный характер, тогда как в корнях он образовывал с другими металлами единый, хотя и рыхлый кластер. По-видимому, поглощение кальция корнями растений во многом было связано с кислотностью почв (кластер с алюминием), тогда как концентрация кальция в надземных органах регу-

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между показателями химического состава подземной и надземной биомассы

		Элементы, мг/кг																			
		Вегетативные органы																			
		Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn
Корни	Al	0.14	-0.01	0	0.07	-0.16	-0.03	0.13	0.01	0.2	0.11	-0.14	-0.05	-0.05	-0.34	0.32	0.1	-0.33	0.2	0.11	-0.18
As	-0.24	-0.32	-0.32	-0.4	-0.33	-0.18	-0.37	-0.25	-0.27	-0.33	-0.29	0.27	0.46	-0.39	-0.06	-0.4	0.05	-0.26	-0.26	-0.39	0.37
B	-0.05	0.04	0.82	0.69	0.84	-0.27	0.14	0.84	-0.01	0.14	0.84	-0.68	-0.62	0.68	-0.15	0.19	-0.14	-0.16	-0.16	0.23	-0.27
Ba	0.1	0.03	0.03	0.16	-0.13	0.02	0.1	0.04	0.19	0.09	-0.14	0.05	-0.11	-0.36	0.31	0.09	-0.26	0.18	0.08	0.08	-0.01
Ca	-0.25	-0.08	0.1	0.01	0.08	-0.25	-0.24	0.2	-0.19	-0.23	0.09	-0.07	0.2	-0.09	-0.04	-0.2	-0.16	-0.21	-0.18	-0.18	0.3
Cd	-0.26	-0.07	-0.46	-0.3	-0.39	0.3	-0.26	-0.4	-0.18	-0.31	-0.55	0.34	0.09	-0.46	-0.04	-0.28	0.08	-0.11	-0.34	-0.34	0.34
Cr	0.02	-0.06	0.03	0.04	-0.1	-0.16	0.03	0.06	0.09	0.05	-0.05	-0.05	0.02	-0.29	0.07	0.03	-0.25	0.08	0.02	0.02	-0.19
Cu	-0.02	-0.02	0.88	0.74	0.85	-0.21	0.18	0.87	0.03	0.17	0.82	-0.66	-0.7	0.63	-0.09	0.23	-0.1	-0.12	-0.12	0.25	-0.26
Fe	0.15	0.01	0.17	0.2	0	-0.08	0.18	0.18	0.22	0.15	0.02	-0.16	-0.17	-0.22	0.3	0.16	-0.36	0.19	0.17	0.17	-0.23
Li	0.15	0.05	0.17	0.26	0.03	0.01	0.2	0.19	0.24	0.17	0.03	-0.14	-0.24	-0.2	0.3	0.18	-0.37	0.2	0.2	0.2	-0.23
Mg	-0.15	-0.05	0.69	0.52	0.76	-0.23	0.05	0.74	-0.11	0.02	0.74	-0.65	-0.48	0.6	-0.15	0.08	-0.27	-0.22	-0.22	0.14	-0.26
Mn	0.09	0.02	-0.64	-0.45	-0.75	0.17	-0.03	-0.66	0.12	-0.06	-0.72	0.74	0.43	-0.75	0.39	-0.07	-0.07	0.23	-0.11	0.18	0.44
Mo	-0.18	-0.02	0.08	-0.22	-0.01	-0.4	-0.2	0.16	-0.16	-0.18	0.14	-0.06	0.35	-0.14	-0.06	-0.18	-0.11	-0.15	-0.14	-0.14	0.12
Na	0.01	-0.12	0.5	0.34	0.55	-0.19	0.16	0.47	0.01	0.11	0.46	-0.44	-0.27	0.41	-0.1	0.16	-0.03	-0.09	0.18	0.18	-0.15
Pb	0.08	0.02	-0.23	-0.14	-0.37	-0.02	0.02	-0.22	0.15	0	-0.36	0.14	0.13	-0.53	0.23	-0.01	-0.16	0.19	-0.01	-0.01	-0.04
Sn	0.07	-0.05	0.05	0.1	-0.09	-0.04	0.09	0.08	0.15	0.05	-0.07	-0.12	-0.12	-0.29	0.28	0.07	-0.37	0.13	0.08	0.08	-0.19
Sr	-0.28	-0.06	-0.44	-0.34	-0.4	-0.02	-0.44	-0.41	-0.26	-0.38	-0.49	0.57	0.53	-0.52	-0.11	-0.4	0.45	-0.19	-0.19	-0.43	0.76
Ti	0.14	-0.04	-0.22	-0.13	-0.38	0.01	0.08	-0.2	0.18	0.06	-0.35	0.13	0.12	-0.5	0.38	0.03	-0.36	0.23	0.04	0.04	-0.1
V	0.14	-0.03	-0.06	0	-0.22	-0.06	0.11	-0.04	0.18	0.08	-0.19	-0.01	0.04	-0.38	0.35	0.07	-0.36	0.2	0.09	0.09	-0.15

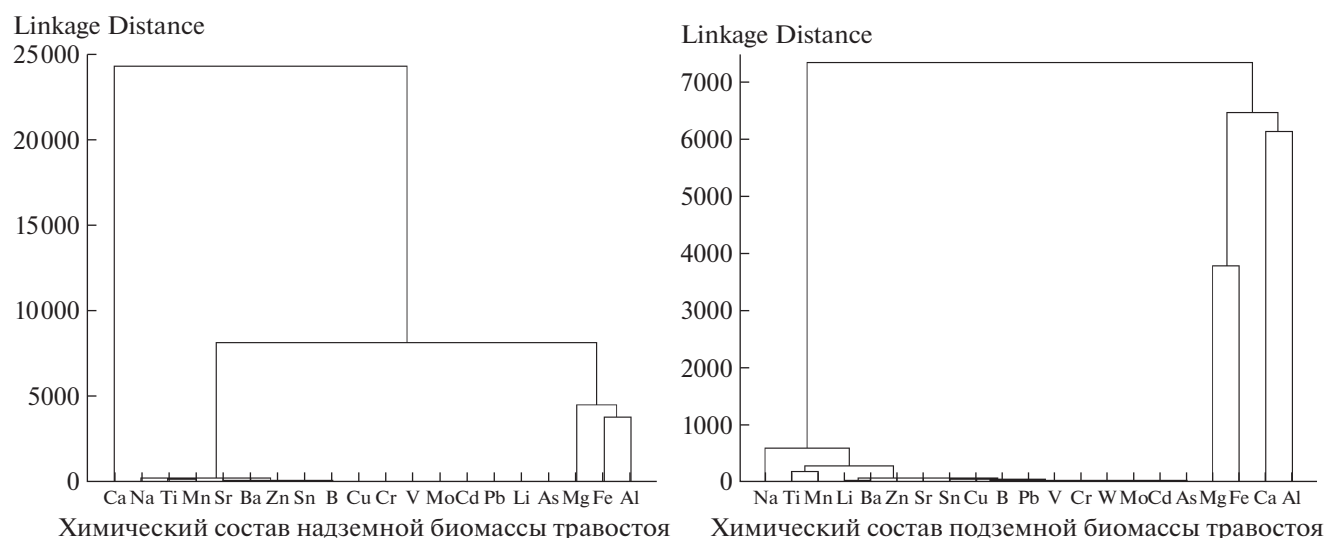


Рис. 2. Результаты кластерного анализа химического состава различных частей растений.

лировалась генетическим барьером, определяющим миграцию этого элемента в растении.

В ходе работы было рассчитано множество коэффициентов корреляции, анализ которых удобно осуществить в рамках вероятностного подхода. На основе данных табл. 2 и 3 отмечено количество случаев (частота) достоверного влияния (независимо от знака) какого-либо фактора почвенно-ландшафтной среды на содержание химических элементов в растениях и, тем самым, определялась вероятность его воздействия на их химический состав.

На рис. 3 показаны результаты данного подхода. Видно, что с максимальной вероятностью трансформация содержания макро- и микроэлементов в различных частях биомассы трав происходит при изменении агрохимических свойств почв. Содержание только 7-ми элементов (Al, As, Cd, Fe, Pb, Sr, Ti) из 20-ти, определенных в надземной части растений, достоверно не зависели от агрофона. В корнях таких элементов было больше (Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Fe, Sn, Ti, V). Пространственная вариабельность содержания валовых форм элементов в почвах также значительным образом влияла на химический состав биомассы. Валовые формы элементов не оказывали влияния на содержание в вегетативных частях растений таких элементов как алюминий, мышьяк, кадмий, железо, стронций, в корнях — кальция, хрома, молибдена. Динамика агрофизических свойств почвы влияла на химический состав биомассы в наименьшем числе случаев, однако полностью в надземных органах от нее не зависело лишь содержание свинца, а в корнях —

кальция, кадмия, молибдена, натрия (рис. 3а). Следует отметить, что на химический состав надземной биомассы указанные группы факторов влияли, как правило, чаще, чем на содержание элементов в корнях.

Наименее часто влияло на химический состав вегетативных органов растений изменение кислотности почв и содержания в них гумуса. Наблюдалась прямо пропорциональную зависимость содержания в надземной части растений бора и кальция и обратно пропорциональную — марганца от показателя pH почв. Увеличение содержания гумуса в почве положительно влияло на содержание в сене магния и натрия, при этом в нем снижалось содержание марганца, молибдена и цинка. С наибольшей вероятностью на химический состав надземной биомассы влияло содержание в почве обменных калия и магния, а также легкоподвижного фосфора. Внесение в почву калия и фосфора способствовало накоплению в сене молибдена и цинка и препятствовало накоплению в нем бора, бария, кальция, хрома, меди, лития, магния, натрия, олова и ванадия. Используя удобрения с большим содержанием магния, можно управлять этими процессами, ингибируя влияние на растения калия и фосфора. Для корней были характерны практически те же закономерности, однако наиболее частое влияние на их химический состав оказывало содержание в почве обменного кальция (рис. 3б).

Пространственная вариабельность содержания в почве валовых форм кальция, железа, свинца и титана, зависящего во многом от минералогического состава пород — наиболее частая причина транс-

Таблица 2. Результаты корреляционного анализа зависимости химического состава вегетативных органов трав от факторов ландшафтно-почвенной среды

Фактор	Элементы, мг/кг																				
	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn	
Агрохимические свойства почв																					
pH	-0.05	-0.17	0.37	0.05	0.37	-0.3	0	0.35	-0.12	0	0.36	-0.48	-0.1	0.3	-0.24	0.02	0.09	-0.18	-0.01	-0.29	
Легкоподвижный фосфор, мг/кг	-0.16	-0.25	-0.5	-0.66	-0.46	-0.24	-0.37	-0.54	-0.29	-0.35	-0.49	0.28	0.69	-0.45	-0.21	-0.4	0.34	-0.18	-0.42	0.23	
Обменный Ca, мгэкв/кг	0.16	0.01	0.57	0.48	0.61	-0.07	0.32	0.57	0.11	0.31	0.6	-0.65	-0.55	0.71	-0.11	0.33	-0.16	0.03	0.33	-0.44	
Обменный Mg, мгэкв/кг	0.29	0.2	0.6	0.57	0.47	-0.08	0.41	0.52	0.3	0.37	0.48	-0.46	-0.58	0.33	0.18	0.4	-0.27	0.18	0.4	-0.3	
Обменный калий, мг/кг	-0.29	-0.27	-0.56	-0.5	-0.56	0.08	-0.47	-0.56	-0.29	-0.47	-0.6	0.3	0.51	-0.54	-0.23	-0.47	0.12	-0.27	-0.53	0.4	
Легкогидролизуемый азот, мг/кг	0.1	0.11	0.48	0.38	0.5	-0.07	0.23	0.52	0.09	0.32	0.65	-0.45	-0.39	0.77	-0.15	0.31	-0.12	0.01	0.32	-0.39	
Гумус, %	0.21	0.21	0.28	0.22	0.28	0.07	0.31	0.27	0.21	0.35	0.39	-0.44	-0.38	0.5	-0.07	0.34	-0.16	0.15	0.32	-0.55	
Валовой химический состав почв																					
K, %	-0.31	-0.3	0.25	0.13	0.4	-0.16	-0.26	0.29	-0.35	-0.28	0.29	-0.28	-0.03	0.33	-0.42	-0.23	0.29	-0.38	-0.24	0.17	
Zn, %	-0.03	0.09	0.32	0.2	0.36	-0.21	0.05	0.41	-0.05	0.04	0.31	-0.36	-0.35	0.26	-0.07	0.02	0.04	-0.09	0.07	-0.19	
Ca, %	0.11	0.04	0.53	0.34	0.56	-0.28	0.18	0.43	0.05	0.2	0.59	-0.54	-0.3	0.67	-0.21	0.26	0.26	-0.03	0.25	-0.34	
Fe, %	0.16	0.21	0.87	0.7	0.88	-0.15	0.4	0.84	0.19	0.39	0.9	-0.74	-0.75	0.86	-0.04	0.45	-0.04	0.03	0.48	-0.53	
Pb, %	0.05	-0.08	0.39	0.32	0.33	-0.1	0.17	0.48	0.09	0.12	0.35	-0.51	-0.48	0.21	0.15	0.15	-0.29	0.03	0.21	-0.4	
Ti, %	0.01	-0.06	0.62	0.44	0.68	-0.23	0.21	0.58	0	0.17	0.71	-0.66	-0.53	0.61	-0.04	0.22	-0.09	-0.04	0.26	-0.48	
Cu, %	-0.07	-0.13	-0.26	-0.22	-0.21	0.26	-0.07	-0.19	-0.08	-0.11	-0.23	0	-0.03	-0.13	0.19	-0.13	-0.21	0.03	-0.09	-0.13	
Агрофизические свойства почв																					
Плотность, г/см ³	0.18	0.07	-0.32	-0.02	-0.32	0.26	0.15	-0.33	0.24	0.2	-0.32	0.26	-0.1	-0.08	0.23	0.17	-0.03	0.23	0.18	-0.26	
ПВ, об. %	0.19	0.14	0.29	0.21	0.2	-0.12	0.28	0.26	0.16	0.23	0.33	-0.1	-0.14	0.21	0.1	0.26	-0.28	0.17	0.23	0.08	
НВ, об. %	0.26	0.24	0.27	0.24	0.22	0.04	0.38	0.22	0.26	0.3	0.22	0.05	-0.17	0.2	0.28	0.38	-0.14	0.26	0.34	0.16	
Гравитационная пористость, %	0.08	0.02	0.22	0.12	0.12	-0.21	0.12	0.21	0.03	0.1	0.31	-0.19	-0.08	0.15	-0.07	0.08	-0.32	0.04	0.07	-0.01	
МГ, %	0.16	0.04	0.5	0.53	0.38	-0.03	0.27	0.54	0.21	0.27	0.51	-0.44	-0.46	0.4	0.02	0.31	-0.44	0.07	0.28	-0.24	

Таблица 2. Продолжение

Фактор	Элементы мг/кг																				
	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn	
Сухое просеивание	>10 мм	0.03	-0.04	0.13	0.33	0.07	0	0.05	0.08	0.06	0.1	-0.14	-0.17	-0.01	-0.06	0.09	-0.12	0.02	0.05	-0.12	
	10-7 мм	0.15	0.09	0.36	0.62	0.33	0.22	0.43	0.22	0.31	0.37	-0.46	-0.66	0.49	0.11	0.37	-0.52	0.13	0.35	-0.41	
	7-5 мм	0.23	0.21	0.17	0.35	0.13	0.3	0.38	0.3	0.34	0.21	-0.34	-0.55	0.36	0.26	0.39	-0.63	0.26	0.37	-0.42	
	5-3 мм	0.23	0.22	0.15	0.27	0.14	0.16	0.4	0.21	0.27	0.24	-0.29	-0.54	0.4	0.26	0.39	-0.5	0.29	0.4	0.4	-0.5
	3-2 мм	0.37	0.3	0.1	0.19	0.03	0.2	0.47	0.11	0.38	0.17	-0.2	-0.45	0.3	0.27	0.44	-0.37	0.43	0.46	0.46	-0.58
	2-1 мм	0.35	0.37	-0.03	-0.02	-0.04	0.11	0.4	-0.04	0.33	0.4	0.02	0.03	-0.16	0.18	0.3	0.37	-0.12	0.4	0.38	-0.35
	1-0.5 мм	-0.08	-0.07	-0.12	-0.3	-0.1	0.19	-0.13	-0.2	-0.05	-0.15	-0.19	0.39	0.37	-0.25	-0.03	-0.13	0.33	-0.04	-0.15	0.38
	0.5-0.25 мм	-0.13	0.06	-0.36	-0.43	-0.36	-0.07	-0.23	-0.41	-0.14	-0.25	-0.41	0.58	0.54	-0.42	-0.02	-0.23	0.35	-0.1	-0.27	0.63
	<0.25 мм	0.03	0.08	-0.28	-0.5	-0.28	-0.16	-0.11	-0.34	-0.06	-0.15	-0.34	0.33	0.5	-0.42	0.12	-0.19	0.38	0.04	-0.15	0.27
Мокрое просеивание	7-5 мм	-0.12	0.01	0	0.01	0.1	0.33	0	-0.09	-0.05	0.07	-0.23	-0.21	0.14	-0.02	0.01	-0.03	-0.02	0	-0.46	
	5-3 мм	0.11	0.12	-0.05	-0.09	-0.07	0.14	0.2	-0.07	0.16	0.01	-0.08	-0.14	-0.02	0.21	0.15	-0.23	0.21	0.17	-0.39	
	3-2 мм	0.31	0.3	-0.12	-0.02	-0.17	0.23	0.32	-0.1	0.3	-0.12	0.22	0.02	-0.07	0.28	0.29	-0.28	0.38	0.25	-0.09	
	2-1 мм	0.22	0.23	0.05	0.05	0.02	0.07	0.23	0.02	0.19	0.14	0.07	-0.05	0.02	0.01	0.19	0	0.22	0.2	-0.23	
	1-0.5 мм	0.23	0.19	0.45	0.47	0.42	0.15	0.41	0.41	0.3	0.47	-0.35	-0.56	0.58	0.23	0.48	-0.26	0.24	0.47	-0.41	
	0.5-0.25 мм	0.21	-0.04	0.16	0.39	0.04	0.22	0.19	0.17	0.21	0.13	0.05	-0.24	-0.34	0.07	0.18	-0.27	0.16	0.15	0.15	-0.03
	<0.25 мм	-0.37	-0.26	-0.25	-0.4	-0.17	-0.38	-0.49	-0.21	-0.4	-0.45	-0.26	0.26	0.51	-0.3	-0.31	-0.48	-0.41	-0.46	-0.46	0.49

Таблица 3. Результаты корреляционного анализа зависимости химического состава корней трав от факторов ландшафтно-почвенной среды

Фактор	Элементы, мг/кг																				
	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn	
Агрохимические свойства почв																					
pH	-0.15	-0.09	0.18	-0.19	-0.12	-0.29	0.04	0.23	-0.09	-0.2	0.1	-0.42	0.11	0.37	-0.19	-0.15	-0.34	-0.2	-0.16	-0.47	
Легкоподвижный фосфор, мг/кг	-0.19	0.33	-0.62	-0.24	-0.25	0.01	-0.08	-0.64	-0.29	-0.43	-0.65	0.27	0.05	-0.3	0.05	-0.25	0.27	-0.04	-0.15	0.04	
Обменный Са, мгэкв/кг	-0.13	-0.37	0.53	-0.23	-0.28	-0.24	-0.07	0.54	-0.05	-0.05	0.46	-0.67	-0.42	0.64	-0.32	-0.12	-0.57	-0.26	-0.17	-0.65	
Обменный Mg, мгэкв/кг	0.07	-0.21	0.63	0.06	-0.02	-0.32	0.05	0.62	0.16	0.2	0.54	-0.5	-0.23	0.46	-0.14	0.08	-0.33	-0.06	0.02	-0.37	
Обменный калий, мг/кг	-0.26	-0.2	0.47	-0.27	0.06	-0.35	-0.1	0.43	-0.18	-0.16	0.45	-0.62	0.13	0.18	-0.41	-0.23	-0.38	-0.35	-0.29	-0.58	
Легкогидролизуемый азот, мг/кг	0.15	0.42	-0.51	0.12	-0.04	0.31	0.01	-0.47	0.04	-0.04	-0.57	0.32	-0.03	-0.28	0.38	0.11	0.43	0.21	0.15	0.24	
Гумус, %	-0.08	-0.12	0.25	-0.19	-0.27	-0.05	0.01	0.11	-0.05	-0.07	0.21	-0.53	-0.19	0.13	-0.13	-0.11	-0.42	-0.16	-0.11	-0.61	
Валовой химический состав почв																					
K, %	-0.26	0.11	0.16	-0.25	0.12	0	-0.22	0.23	-0.21	-0.24	0.13	-0.27	-0.13	0.34	-0.34	-0.25	-0.14	-0.33	-0.26	-0.18	
Zn, %	0.07	0.13	0.29	0.09	-0.04	0.08	0.04	0.23	0.1	0.17	0.2	-0.25	-0.13	-0.04	0.02	0.11	-0.2	-0.02	0.05	-0.11	
Ca, %	-0.31	-0.1	0.33	-0.35	-0.18	-0.47	-0.26	0.3	-0.22	-0.33	0.18	-0.48	-0.12	0.41	-0.38	-0.3	-0.39	-0.43	-0.34	-0.41	
Fe, %	-0.15	-0.38	0.83	-0.16	-0.04	-0.42	-0.17	0.77	0.01	0.04	0.77	-0.72	-0.06	0.56	-0.41	-0.08	-0.59	-0.36	-0.2	-0.52	
Pb, %	0.54	-0.11	0.53	0.49	0.19	0.02	0.34	0.51	0.61	0.64	0.56	-0.29	0.04	0.26	0.36	0.6	-0.27	0.37	0.52	-0.1	
Ti, %	0.07	-0.32	0.77	-0.04	0.1	-0.25	-0.04	0.69	0.16	0.17	0.8	-0.62	-0.11	0.56	-0.21	0.1	-0.38	-0.11	0.06	-0.54	
Cu, %	0.3	0.04	0.03	0.2	0.11	0.36	0.03	-0.03	0.21	0.29	0.17	-0.09	-0.15	-0.22	0.25	0.27	0.19	0.3	0.32	-0.11	
Агрофизические свойства почв																					
Плотность, г/см ³	0.13	-0.2	-0.37	0.08	-0.38	0.18	0.16	-0.4	0.08	0.12	-0.35	0.39	-0.3	-0.06	0.2	0.14	-0.09	0.2	0.13	0.28	
ПВ, об. %	-0.16	0.14	0.2	-0.07	0.18	-0.23	-0.14	0.26	-0.08	-0.11	0.16	-0.04	0.16	0.13	-0.24	-0.17	-0.27	-0.18	-0.15	0.05	
НВ, об. %	-0.1	0.05	0.15	0.03	0.19	-0.06	-0.13	0.24	-0.01	-0.04	0.12	0.15	0.03	0.27	-0.17	-0.09	-0.12	-0.11	-0.08	0.3	
Гравитационная пористость, %	-0.17	0.17	0.18	-0.14	0.11	-0.3	-0.1	0.2	-0.11	-0.13	0.15	-0.19	0.22	-0.04	-0.23	-0.19	-0.31	-0.18	-0.17	-0.2	
МГ, %	0.28	0.02	0.54	0.27	0.24	-0.27	0.29	0.62	0.38	0.39	0.52	-0.44	0.05	0.32	0.05	0.34	-0.33	0.14	0.24	-0.29	

Таблица 3. Продолжение

Фактор	Элементы, мг/кг																				
	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn	
Сухое просеивание	>10 мм	0.54	0.11	0.1	0.51	0.22	0.24	0.41	0.21	0.57	0.52	0.09	0.07	-0.12	0.16	0.42	-0.05	0.47	0.52	0.01	
	10–7 мм	0.31	-0.27	0.54	0.32	0.21	-0.04	0.2	0.57	0.39	0.44	0.55	-0.33	-0.16	0.36	0.06	-0.33	0.19	0.28	-0.21	
	7–5 мм	0.31	-0.18	0.26	0.31	0.11	0.02	0.26	0.31	0.35	0.42	0.32	-0.18	0	0.13	0.14	-0.44	0.25	0.28	-0.14	
	5–3 мм	0.15	-0.3	0.19	0.13	-0.08	0	0.24	0.22	0.18	0.27	0.22	-0.1	-0.16	0.11	0.01	-0.5	0.15	0.13	-0.15	
	3–2 мм	0.09	-0.34	0.07	0.03	-0.25	-0.05	0.22	0.08	0.09	0.16	0.05	-0.18	-0.14	-0.03	0.03	0.08	0.09	0.06	-0.29	
	2–1 мм	-0.2	-0.3	-0.14	-0.25	-0.34	-0.05	0.04	-0.23	-0.22	-0.16	-0.16	0	-0.15	-0.07	-0.2	-0.23	-0.12	-0.2	-0.18	
	1–0.5 мм	-0.27	0.09	-0.27	-0.24	-0.07	-0.04	-0.32	-0.21	-0.31	-0.27	-0.24	0.1	0.1	-0.13	-0.12	-0.29	-0.25	-0.28	0.21	
	0.5–0.25 мм	-0.4	0.12	-0.41	-0.31	-0.19	0.11	-0.28	-0.47	-0.44	-0.49	-0.48	0.47	0.02	-0.28	-0.17	-0.4	0.44	-0.29	-0.38	0.48
	<0.25 мм	-0.31	0.1	-0.34	-0.34	-0.18	-0.1	-0.31	-0.43	-0.37	-0.43	-0.34	0.22	0.15	-0.25	-0.12	-0.34	0.32	-0.21	-0.26	0.16
	Мокрое просеивание	7–5 мм	0.06	-0.48	0.15	0	-0.06	0.09	-0.01	0.07	0.06	0.1	0.24	-0.24	-0.01	-0.04	0.01	-0.24	0	0.03	-0.25
5–3 мм		0.06	-0.41	0.14	0.01	-0.14	-0.1	0.02	0	0.02	0.07	0.15	-0.16	0.05	0.02	0.04	-0.1	0.05	0.05	-0.24	
3–2 мм		0.04	-0.17	-0.08	0.05	-0.1	0.12	0.24	-0.13	0	0.03	-0.07	-0.01	-0.08	-0.05	0.03	-0.02	0.13	0.06	-0.23	
2–1 мм		-0.3	-0.05	0.04	-0.29	-0.3	-0.2	-0.09	-0.18	-0.3	-0.24	-0.03	-0.21	-0.11	-0.03	-0.27	-0.32	-0.17	-0.29	-0.29	-0.3
1–0.5 мм		0.18	-0.3	0.42	0.14	0.19	-0.06	-0.01	0.51	0.25	0.33	0.5	-0.3	0.02	0.21	-0.03	-0.41	0.05	0.14	-0.13	
0.5–0.25 мм		0.36	-0.09	0.21	0.33	0.01	0.06	0.12	0.37	0.38	0.39	0.16	-0.16	-0.29	0.23	0.16	-0.24	0.25	0.31	-0.08	
<0.25 мм		-0.18	0.42	-0.32	-0.13	0.09	0.04	-0.09	-0.29	-0.2	-0.28	-0.33	0.36	0.18	-0.16	0	-0.17	-0.09	-0.14	0.36	

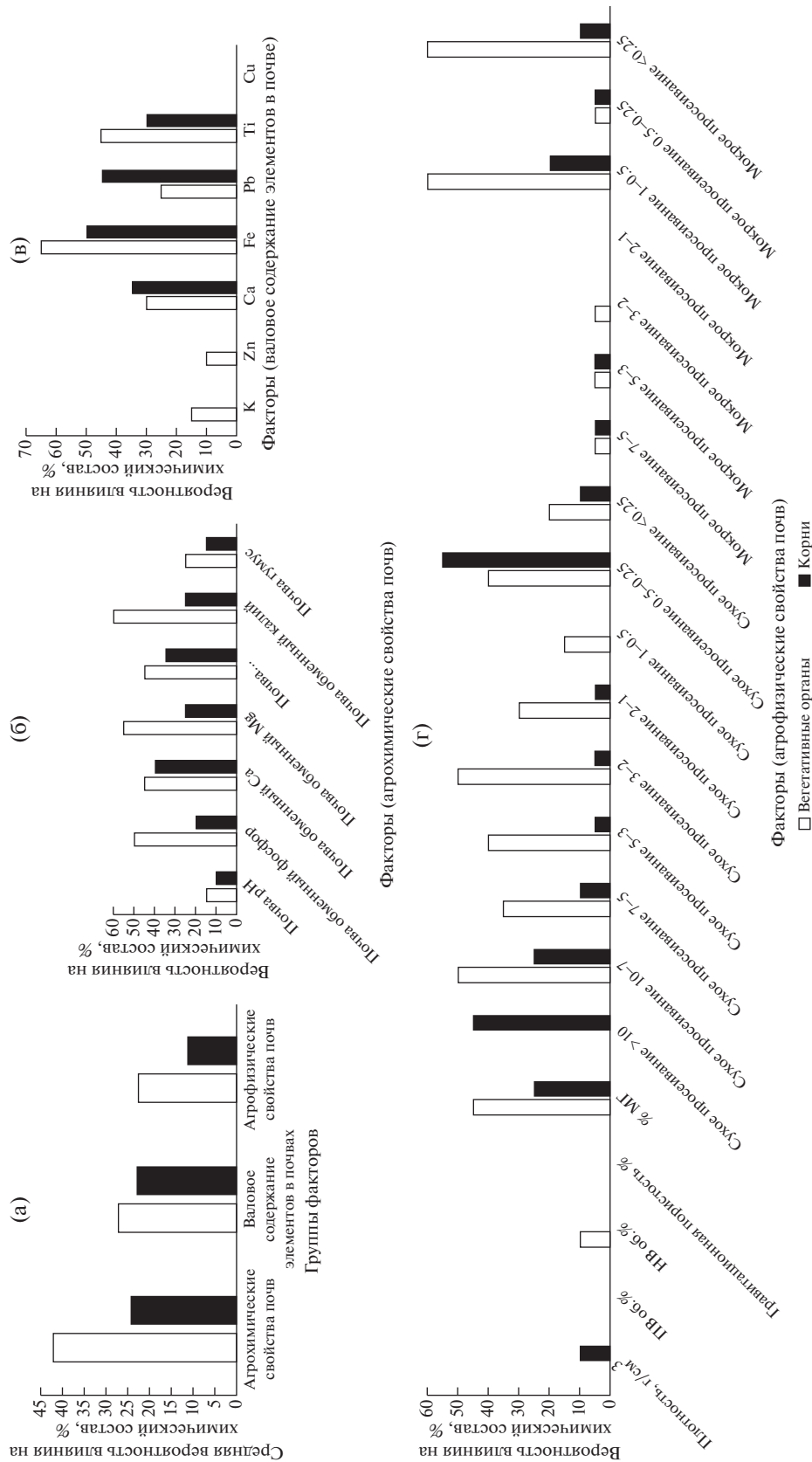


Рис. 3. Вероятности воздействия на химический состав различных частей растений групп факторов ландшафтной среды (а), агрохимических (б), химических (в) и агрофизических (г) свойств почв.

формации химического состава биомассы трав. Лидером по влиянию на химический состав как надземной, так и подземной биомассы было содержание в почве валового железа: отмечена сильная прямо пропорциональная зависимость между содержанием этого элемента и содержанием бора, бария, кальция, меди, магния и натрия в надземной биомассе и бора, меди и магния в корнях. Следует отметить, что на ожелезненных почвах во всей биомассе наблюдали пониженное содержание марганца и цинка, в кормах — еще и молибдена, а в подземной биомассе — стронция (табл. 2, 3).

Свинец и кальций чаще воздействовали на химический состав корней, а железо и титан — на качество надземных органов растений. Следует отметить, что изменчивость валового содержания в почвах калия и цинка влияла на химический состав только вегетативных органов растений, а зависимость химических свойств биомассы от валового содержания меди не обнаружена (рис. 3в).

Из всех факторов водно-воздушного режима почв максимальное влияние на химический состав растений оказывала пространственная вариабельность максимальной гигроскопической влажности почв, являющейся функцией их плотности, порозности, гранулометрического и минералогического состава. Она в 2 раза чаще воздействовала на химический состав вегетативных органов, чем корней. В местах с ее повышенными показателями наблюдали умеренное накопление в кормах бора, бария, кальция, меди, магния и натрия, однако в этом случае замедлялся процесс накопления в надземных органах растений марганца, молибдена и стронция. В корнях в этом случае заметно аккумулировались бор, медь, железо, литий, магний и терялся марганец. В 10% случаев вегетативные органы зависели от пространственного изменения показателей наименьшей полевой влагоемкости, а корни — от плотности почвы.

Гранулометрический состав почв, изученный методом сухого просеивания, заметно влиял на химический состав различных органов растений. По мере уменьшения диаметра частиц почвы от скелетных элементов до 1.0–0.5 мм их влияние на химический состав подземной биомассы уменьшался. Однако максимальное воздействие на состав корней оказывали частицы размером 0.5–0.25 мм: в местах с повышенным содержанием в почве среднего песка в корнях трав отмечена аккумуляция марганца, стронция и цинка, а также наблюдали снижение содержания алюминия, бора, меди, железа, лития, магния, олова и ванадия. Вегетативные органы трав также заметно зависели от содержания скелетных частиц в почве.

Их химический состав в половине случаев зависел от содержания в почве мелких камней (10–7 мм), увеличение которого способствовало повышению концентрации в кормах бора, бария, меди, натрия, олова, ванадия и уменьшению марганца, молибдена, стронция и цинка. Также от количества частиц диаметром от 2 до 3 мм прямо пропорционально зависело содержание алюминия, хрома, железа, лития, олова, титана, ванадия и обратно пропорционально — молибдена, стронция и цинка. Заметно слабее на него влияли частицы почвы от 3 до 5 мм и от 0.5 до 0.25 мм.

В 20% случаев на химический состав корней влияло содержание в почве водопрочных агрегатов размером от 1 до 0.5 мм, заметное влияние оказывали на него и самые мелкие водопрочные частицы. Химический состав вегетативных органов в 3 раза сильнее зависел от изменчивости этих же фракций водопрочной структуры почв (рис. 3г, табл. 2, 3). Увеличение в пахотном горизонте количества водопрочных частиц диаметром >0.5 мм приводило к заметному росту в сене молодых трав содержания бора, бария, кальция, хрома, меди, лития, магния, натрия, олова и ванадия и снижению содержания в нем марганца, молибдена и цинка. Увеличение содержания в почве наиболее мелких водопрочных агрегатов приводило к росту содержания в кормах молибдена, стронция и цинка и снижению — алюминия, бария, кадмия, хрома, железа, лития, олова, титана и ванадия.

Пространственная динамика концентрации некоторых металлов в кормах и корнях, а также соотношения их содержаний в надземной и подземной биомассе показаны на рис. 4. Все металлы принадлежали к группе, содержание которых в кормах достоверно изменялись в пределах агроландшафта. Содержание кальция и натрия возрастало в кормах по мере утяжеления гранулометрического состава почв, в то время как содержание марганца уменьшалось. Качественный перелом был обнаружен в районе расположения точек № 14–17 — в элювиально-аккумулятивном микроландшафте вершины и транзитно-аккумулятивном АМЛ северного склона — там, где песчаные и супесчаные почвы уступали место супесчаным и легкосуглинистым. Более тяжелые породы характеризовались значительными запасами Са и Na, что отразилось на качестве кормов. Эти породы также склонны к заболачиванию, что активизирует миграционные процессы Mn, который наиболее растворим в своей закисной, токсичной форме, что обуславливает изменение химического состава сена (рис. 4а).

Пространственная вариабельность содержаний этих элементов в корнях не подчинялась выше опи-

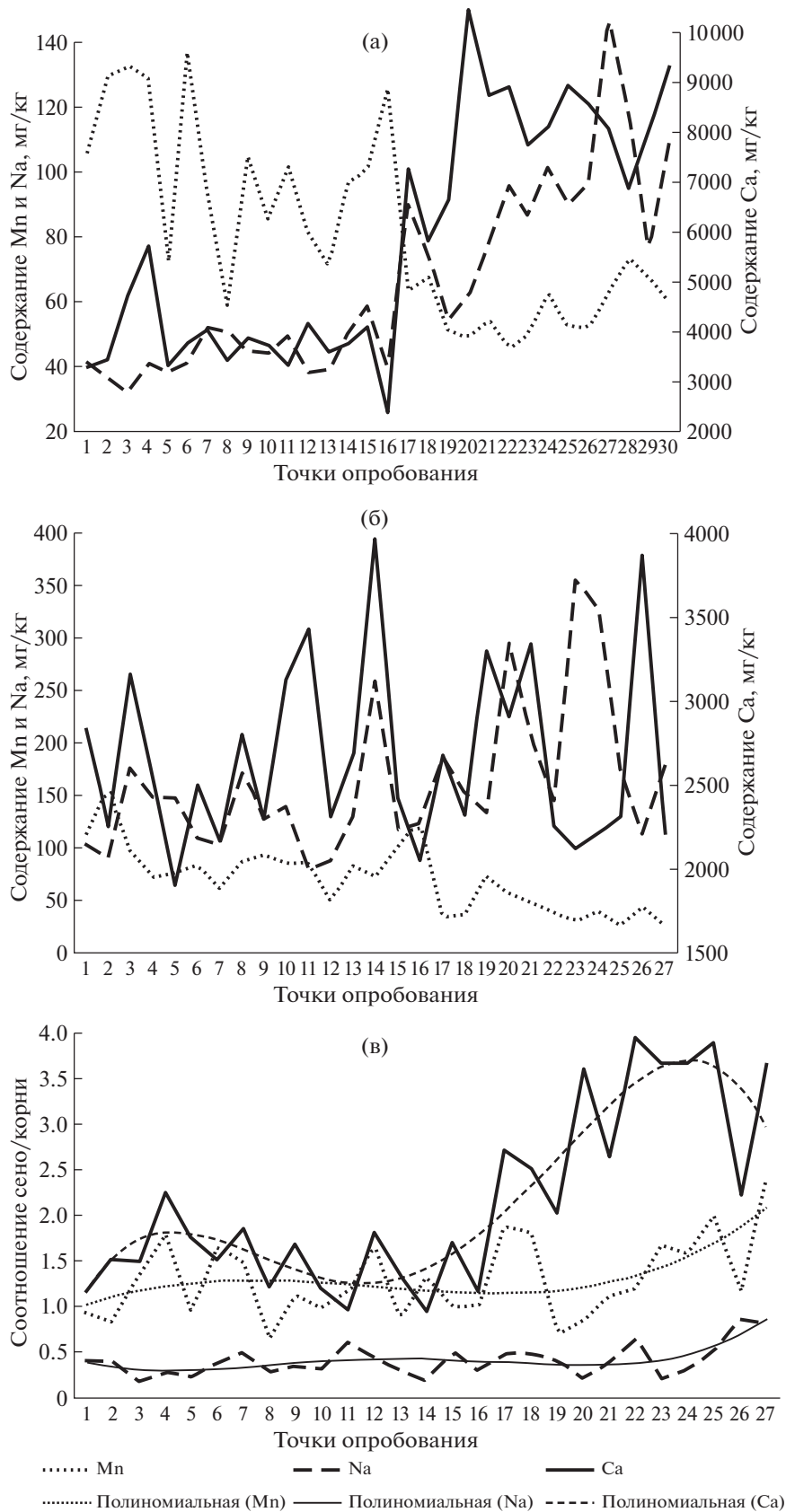


Рис. 4. Пространственная динамика содержания кальция, марганца и натрия в кормах (а), корнях (б) и их соотношений между надземной частью растений и корнями (в) в пределах конечно-моренного холма.

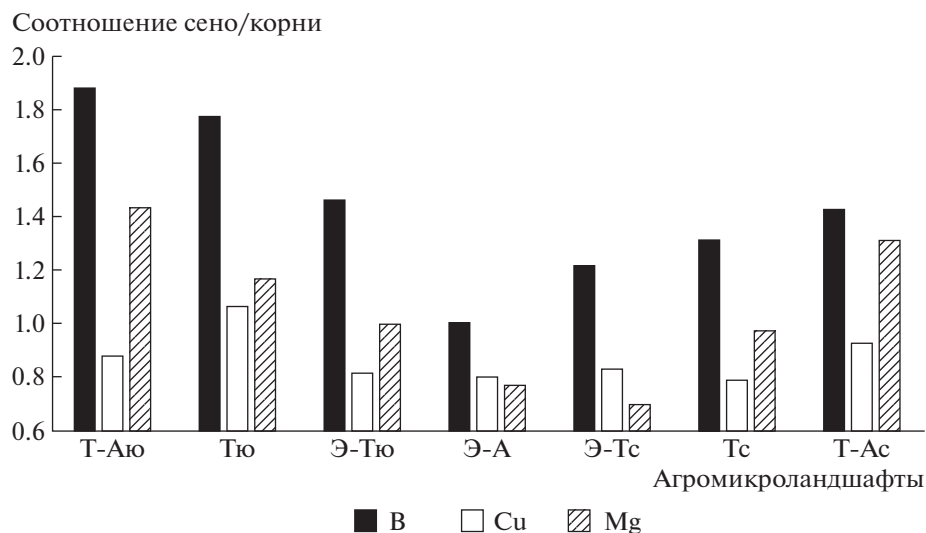


Рис. 5. Показатели соотношений химических элементов в надземных и подземных частях трав в различных частях агроландшафта моренного холма.

саным закономерностям — на фоне сильных микроколебаний тренда к изменению содержания кальция не обнаружено, тогда, как содержания марганца и натрия характеризовались их разнонаправленными динамиками (рис. 4б).

Анализ рис. 4в показал механизм поглощения различных элементов растениями. В среднем в агроландшафте максимальным коэффициентом поглощения (соотношение содержаний элемента в надземной части и в корнях) характеризовался кальций (2.16), у марганца этот коэффициент был лишь несколько >1 (1.3), содержание натрия в корнях превышало таковое в надземной части растений (0.8). Анализ пространственной динамики соотношений показал, что на северном склоне коэффициенты поглощения кальция резко возрастали — растения интенсивно накапливали этот элемент в надземных органах в тех местах, где почвы им были обогащены. Увеличение интенсивности накопления марганца и натрия наблюдали только в нижней части северного склона и в межхолмной депрессии — там, где отмечено интенсивное заболачивание почв. По-видимому, на переувлажненных почвах генетический барьер, регулирующий попадание этих элементов в надземные органы, ослабевал.

Наиболее наглядно закономерности пространственной динамики содержания химических элементов в растениях можно выразить на основе результатов дисперсионного анализа. Сравнение средних показателей в агромикрорландшафтах позволило выявить основные закономерности формирования химического состава растений в разных ландшафтных условиях (рис. 5). Показано,

что наиболее сильно от характера природных условий конкретных АМЛ зависело соотношение содержаний бора и магния. Пространственная динамика накопления этих элементов в кормах значительным образом была обусловлена напряженностью элювиальных процессов в агроландшафте. Максимальная их аккумуляция в сене отмечена в местах с отсутствием или весьма слабым развитием вертикального промывания почвенного профиля — в нижних и средних частях склонов, а на верхних гипсометрических отметках, где элювиальные процессы преобладают, содержание этих элементов в сене не превышало таковое в корнях. Содержание меди в сене было повсеместно меньше, чем в корнях за исключением средней части южного склона, что свидетельствовало о генетических механизмах регуляции ее метаболизма в вегетативных органах, которые могли изменяться в местах с экстремальными условиями (с наибольшим напряжением гидротермических стрессов).

ВЫВОДЫ

1. Химический состав надземных и подземных органов трав принципиально не различались. Вегетативные органы характеризовались меньшей пространственной вариабельностью содержания химических элементов, однако их химический состав, в отличие от корней, зависел от большего количества факторов.

2. Видовой состав травостоя существенным образом влиял на химический состав сена. Увеличение количества злаков в фитоценозе приводило к снижению содержания в кормах бора, меди,

магния и к увеличению в них содержания марганца и цинка. Преобладание бобовых способствовало накоплению в кормах бора, кадмия, меди и магния, а также обеднению их марганцем.

3. Установлено достоверное влияние химического состава корней на качество сена. От содержания бора, меди, магния, марганца и стронция в подземных органах зависело содержание бора, бария, кальция, меди, магния, марганца, молибдена, натрия и других элементов в кормах.

4. Взаимосвязи между химическими элементами в корнях были значительно более тесными, чем в надземных частях растений: в кормах изменчивость содержания кальция имела уникальный характер, тогда как в корнях он образовывал с другими металлами единый, хотя и рыхлый кластер. По-видимому, содержание кальция в надземных органах регулировалось генетическим барьером, определяющим миграцию этого элемента в растении.

5. С наибольшей вероятностью трансформация содержания макро- и микроэлементов в различных частях биомассы трав происходила при изменении агрохимических свойств почв. Немного слабее на химический состав растений влиял валовой состав почв. Агрофизические свойства почв в наименьшей степени воздействовали на содержание химических элементов в биомассе растений.

6. Пространственная изменчивость химического состава растений во многом зависела от неоднородности геологического фундамента агроландшафта и от варибельности характера геохимических обстановок в его пределах.

7. Учет комплекса факторов, влияющих на миграционные возможности различных химических элементов в пределах сельскохозяйственного угодья, позволит управлять качеством кормов в режиме адаптивно-ландшафтного земледелия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов Н.Н. В.В. Докучаев как геолог и геоморфолог // Сб. работ Центр. музея почвоведения им. В.В. Докучаева. Вып. 1. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 70–99.
2. Садовничий В.А. Владимир Иванович Вернадский (1863–1945). О людях Московского университета. 3-е изд., доп. М.: Изд-во МГУ, 2019. С. 81–87. 356 с.
3. Попова Ю.А., Иваненко Н.В. Содержание тяжелых металлов в пахотных почвах Приморского края // Усп. совр. естествознания. 2022. № 5. С. 65–69.
4. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С., Гайнатулина В.В., Аргунеева Н.Ю., Макарова М.А., Бредун О.В., Ряховская Н.И. Вулканические пеплы Камчатки как потенциальный источник улучшения биопродуктивности почв // Агрохимия. 2020. № 4. С. 66–75.
5. Рублюк М.В., Иванов Д.А., Карасева О.В. Влияние компоста многоцелевого назначения на агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур в мелиорированных агроландшафтах // Аграр. вестн. Урала. 2021. № 6. С. 12–21.
6. Рублюк М.В., Иванов Д.А., Карасева О.В. Мониторинг агрохимических свойств почв различных угодий в пределах агроландшафта // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2020. № 1. С. 27–30.
7. Gonzalo García-Baquero, Iñaki Odriozola, Arantza Aldezabal. Floristic composition mediates change in forage nutritive quality of atlantic mountain grasslands after experimental grazing exclusion // Agronomy. 2021. V. 11. № 1. P. 25.
8. Silva S.F., Carneiro M.S. de S., Edvan R.L., Pereira E.S., Neto L.B. de M., Pinto A.P., y Camilo D. de A. Características agronómicas y composición química de *Gliricidia sepium* cultivadas bajo diferentes alturas residuales en diferentes estaciones del año. Cien. Inv. // Ciencia e Investigación AGRARIA. 2017. V. 44. № 1. P. 35–42.
9. Касамун А.Д., Иванов Д.А., Анциферова О.Н., Павлючик Е.Н., Иванова Н.Н. Элементы метаболизма цинка в организме молочных коров в зимних и летних рационах кормления // Международный сел.-хоз. журн. 2020. № 3 (375). С. 13–16.
10. Касамун А.Д., Иванов Д.А., Павлючик Е.Н., Иванова Н.Н., Васильева Е.А. Элементы метаболизма кальция в организме молочных коров в зимних и летних рационах кормления // Бюл. науки и практики. 2018. Т. 4. № 9. С. 120–126.
11. Круглая А.А. Макро- и микроэлементный состав травы зопника колючего и зопника клубненосного, произрастающих на северном Кавказе // Вестн. ВГУ. Сер. химия, биология, фармацевтика. 2006. № 2. С. 294–296.
12. Сариев А.Х., Чербакова Н.Н., Дербенев К.В., Федина Е.В. Химический состав кормовых растений, произрастающих в зоне влияния промышленных предприятий // Вестн. КрасГАУ. 2019. № 5. С. 68–74.
13. Круглов Д.С. Лекарственные средства, применяемые для профилактики и лечения железодефицитных состояний // Научн. обзор. Мед. науки. 2017. № 4. С. 26–41.
14. Круглов Д.С., Круглова М.Ю. Микроэлементный состав растений рода *Filipendula* из различных мест произрастания // Международный научн.-исслед. журн. 2021. № 4 (106). С. 156–161.
15. Zhao Z., He X., Zhang Q., Wei X., Huang L. Traditional uses, chemical constituents and biological activities of plants from the genus *Sanguisorba* L., Am. J. // Chin. Med. 2017. V. 45. P. 199–224.
16. Ширкин Л.А. Рентгенофлуоресцентный анализ объектов окружающей среды: уч. пособ. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. 65 с.

17. *Радов А.С., Пустовой И.В., Корольков А.В.* Практикум по агрохимии. М.: Колос, 1978. 351 с.
18. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. Уч. пособ. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
19. *Лабушев М.М.* Бинарные массы земной коры и биосферы // Изв. Томск. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 1. С. 37–43.
20. *Ферсман А.Е.* Геохимия. Т. 1. Л.: Госхимтехиздат, 1933. 328 с.

Influence of Soil and Landscape Conditions on the Chemical Composition of Fodder Grasses

D. A. Ivanov^a, Y. S. Lisitsyn^a, D. I. Lotz^{b,#}, and P. S. Lotz^b

^a*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”
Pyzhevsky per. 7, bld. 2, Moscow 119017, Russia*

^b*Tver State Agricultural Academy
ul. Marshala Vasilevskogo (Sakharovo) 7, Tver 170904, Russia*

[#]*E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru*

The influence of environmental factors of a finite moraine hill on the formation and mutual influence of chemical compositions of aboveground and underground biomass of young clover-thymothecal herbage was studied. The research was carried out in 2019 on a transect crossing the main micro-landscape positions of the hill – inter-hill depressions, slopes and the top. The content of chemical elements was determined by the X-ray fluorescence method in samples of vegetative organs, roots and soils taken at sampling points regularly located along the transect. Agrochemical, physical and water-physical properties of soils were also determined there. The obtained data were statistically investigated. The results of a statistical study of the chemical composition of herbs are presented. It was revealed that the chemical compositions of aboveground and underground organs of herbs did not differ fundamentally. The chemical composition of the vegetative organs was less variable compared to the roots, but it depended on more factors. An increase in the proportion of cereals in the phytocenosis led to a decrease in the content of boron, copper, magnesium in feed and to an increase in the concentration of manganese and zinc in them. The predominance of legumes contributed to the accumulation of boron, cadmium, copper and magnesium in feed, as well as their depletion by manganese. The concentration of boron, barium, calcium, copper, magnesium, manganese, molybdenum, and sodium in feed depended on the content of boron, copper, magnesium, manganese, and strontium in underground organs. In the feed, the variability of calcium concentration had a unique character, whereas in the roots it formed a single cluster with other metals. The content of chemical elements in herbs was most dependent on the agrochemical properties of soils. It was less influenced by the gross composition of soils. The agrophysical properties of soils had the least effect on the content of chemical elements in the biomass of plants. The variability of the chemical composition of plants largely depended on the heterogeneity of the geological foundation of the agricultural landscape and on the variability of the nature of geochemical conditions. Taking into account the complex of factors affecting the migration capabilities of various chemical elements within the agricultural land will allow you to manage the quality of feed in the mode of adaptive landscape farming.

Key words: chemical composition of plants, fodder grasses, agricultural landscape, statistical analysis.