

Научная статья

УДК 911.2:504.06

doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-109-122

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В НАДЗЕМНОЙ МАССЕ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ РАСТЕНИЙ В ГЕОСИСТЕМАХ ОНОН-АРГУНСКОЙ СТЕПИ

Светлана Сергеевна Дубынина

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

sdubynina@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты анализа химических особенностей жизненных форм надземной массы и доминирующих видов геосистем Онон-Аргунской степи на Харанорском полигон-трансекте. На основе биогеохимических исследований растений выявлена возможность анализировать закономерности функционирования геосистем. Выбор Харанорского полигон-трансекта обусловлен особенностями ландшафтной структуры, образуя ландшафтно-экологический ряд, где фации сопряжены друг с другом. Фации Онон-Аргунской степи в целом определяются низкогорным рельефом, резко континентальным изменением климата. Для оценки климата исследуемого района анализировались атмосферные осадки и температура воздуха (данные метеостанции «Борзя»). Микроэлементы в золе растений выполнены в лицензированном химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Каждая фация характеризуется вполне определенным содержанием химических элементов в зеленой части надземной массы, а также в органах отдельных видов растений, жизненных форм. Прослежена динамика накопления и распределения микроэлементов в доминирующих видах растений. Содержание их существенно меняется в течение вегетационного периода. Отмечено, что весной во время активного роста растений содержание микроэлементов повышено. Максимум их приходится на фазы кущения и созревания. В фазе колошения и цветения накопление химических элементов ослабевает, а к концу вегетации происходит вновь увеличение.

Ключевые слова: геосистемы, фации, жизненные формы, растительный и почвенный покровы, микроклимат и микроэлементы

Финансирование: исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А19-119080700040-8, АААА-А21-121012190055-7)

Для цитирования: Дубынина С.С. Особенности накопления микроэлементов в растениях жизненных форм надземной массы в геосистемах Онон-Аргунской степи // Географический вестник = Geographical bulletin. 2022. № 2(61). С. 109–122. doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-109-122.

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-109-122

THE ACCUMULATION OF TRACE ELEMENTS IN THE ABOVEGROUND MASS OF PLANT LIFE FORMS IN THE GEOSYSTEMS OF THE ONON-ARGUN STEPPE

Svetlana S. Dubynina

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

sdubynina@yandex.ru

© Дубынина С.С., 2022



Экология и природопользование
Дубынина С.С.

Abstract. The paper presents the results of analysis performed to reveal chemical features of the life forms of the aboveground mass of plant species predominating in the geosystems of the Onon-Argun steppe on the Kharanor transect testing area. On the basis of biogeochemical studies of plants, the possibility of analyzing the patterns of the geosystems' functioning has been revealed. The choice of the Kharanor transect testing area was determined by the features of the landscape structure, forming a landscape-ecological series where facies are connected with each other. Facies of the Onon-Argun steppe as a whole are characterized by the low-mountain relief and a sharply continental climate change. To assess the climate of the study area, atmospheric precipitation and air temperature were analyzed (data from the Borzya weather station). Trace elements in plant ash were studied at the licensed chemical-analytical center of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS. Each facies is characterized by a well-defined content of chemical elements in the green part of the aboveground mass as well as in the organs of individual plant life forms. The dynamics of accumulation and distribution of trace elements in the dominant plant species is traced. Their content changes significantly during the growing season. In the spring, during the active growth of plants, the content of trace elements increases, and their maximum falls on the tillering and maturation phases. The accumulation of chemical elements weakens in the earing and flowering phase and increases again by the end of the growing season.

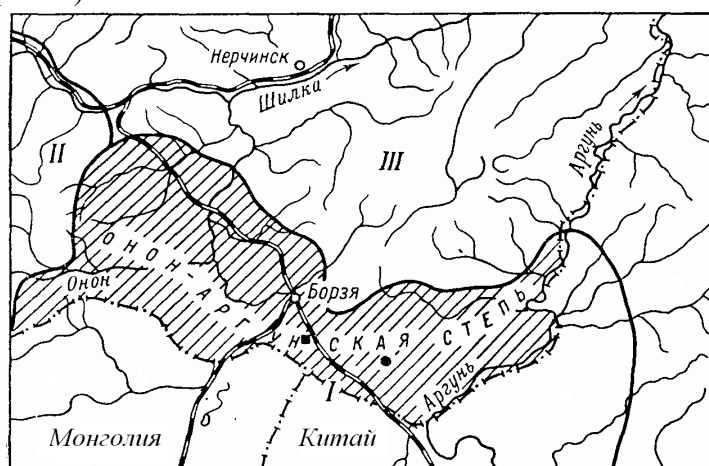
Keywords: geosystems, facies, life forms, vegetation and soil cover, microclimate and trace elements

Funding: the study was funded as part of a state assignment (topic state registration No. AAAA-A19-119080700040-8, AAAA-A21-121012190055-7).

For citation: Dubynina S.S. (2022). The accumulation of trace elements in the aboveground mass of plant life forms in the geosystems of the Onon-Argun steppe. *Geographical Bulletin*. No. 2(61). Pp. 109–122. doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-109-122.

Введение

Степи юго-востока Читинской обл. своеобразны в природном отношении [1; 2; 23]. На ландшафтной карте территории России они не имеют аналогов и представляют собой один из видов центральноазиатских степных ландшафтов, вклинивающийся в сибирскую тайгу почти до 51° с.ш. (рис. 1).



1 2 3

Рис. 1. Географическое положение Онон-Аргунской степи (сост. В.Б. Сочава, 1964): I–III – физико-географические области: I – Центрально-Азиатская, II – Южно-Сибирская, III – горная Байкало-Джугджурская; 1 – северная граница Центрально-Азиатской области: участки степного стационара Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и годы мониторинга: 2 – Алкучанский Говин (1958–1960 гг.), 3 – ст. Харанор (1961–1980, 2001–2020 гг.)

Fig. 1. Geographical position of the Onon-Argun steppe (compiled V.B. Sochava, 1964): I–III – physico-geographical areas: I – Central Asian, II – South Siberian, III – mountainous Baikal-Dzhugdzhur; 1 – the northern border of the Central Asian area: sites of the steppe station of the V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS and years of monitoring: 2 – Alkuchansky Govin (1958–1960), 3 – Kharanor station (1961–1980, 2001–2020)

При комплексных стационарных работах в Онон-Аргунской степи уделяется внимание изучению различным сторонам ландшафтно-геохимических исследований в природных ландшафтах, что позволяет анализировать уровень содержания микроэлементов взаимодействующих компонентов – надземной массы и почв. Одними из таких направлений являются *геохимия, биогеохимия и экогеохимия ландшафтов*, где познается поведение химических элементов и их соединений в элементарных ландшафтно-геохимических системах локальной и региональной размерности [9; 16; 17; 28; 30]. Изучение микроэлементного состава: Ва, Sr, Mn, Cu, Ni, Zn, Cr, V, Co, Pb в растениях проводились в фациях полигон-трансекта Харанорского стационара Юго-Восточного Забайкалья Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Полученные количественные данные по химическому составу позволили установить их содержание в растениях разного систематического положения. Для систематизации материала использовались классификация И.Г. Серебрякова и ее таксономические единицы, так называемые «жизненные формы» [20]. В группе оценочных параметров жизненных форм по микроэлементному составу вошли следующие показатели: виды и органы растений, а также накопление и распределение микроэлементов доминирующих видов в течение вегетационного периода.

Цель данного исследования – показать распределение микроэлементов надземной массы в фациях полигон-трансекта, рассмотреть распределение химических элементов в органах растений жизненных форм и выявить полноценную характеристику распределения элементов в доминирующих видах в разные фазы фенологического (сезонного) развития на Харанорском полигон-трансекте Онон-Аргунской степи.

Характеристика объекта исследований

При изучении флористического состава Забайкальских степей было отмечено В.Б. Сочавой (1964), что в растительном покрове нет границы между настоящими и луговыми степями, в покрове присутствует большая группа видов – криоксерофитов, поэтому более правильным называть Забайкальские степи криоксерофильным вариантом центральноазиатских степей. Самым первым криоксерофитом является пижма сибирская – *Tanacetum sibiricum* L. Вторым типичным криоксерофитом является прострел Турчанинова – *Pulsatilla turczaninowii* Kryl. et Serg. Основную роль в сложении растительного покрова степей Забайкалья играют дерновинные злаки: ковыль байкальский (тырса) – *Stipa baicalensis* Rosh и типчак ленский – *Festuca lenensis* Drob, вострец ложнопырейный – *Aneurolepidium pseudoagropyrum* Trin, которые являются эдификаторами настоящих степей. Довольно сильными задернителями почвы являются осока стоповидная – *Carex pediformis* С. А. М., осока твердоватая – *Carex duriuscula* С. А. М. (ксерофит), обильно распространены в пониженных формах рельефа – днище пади. К числу ксерофитов относится низкорослый кустарник карагана мелколистная – *Caragana microphylla* Pall. Lam. Полукустарнички: полыни *Artemisia tanacetifolia* L, *gmelinii* Web, *frigida* Willd характерны для степей Забайкалья, но они значительно обильнее в степях смежной территории Внутренней Монголии, где основными доминантами опустыненных степей являются *Artemisia frigida* Willd, а из ковылей – *Stipa krylovii* Rochev [15; 29; 31]. На каменистых почвах растения имеют розеточную или подушкообразную форму: *Chamaerodos trifida* Ledeb, *Festuca lenensis* Drob. Встречаются на каменистых почвах виды из группы разнотравья, это мезоксерофиты: горец узколистный – *Polygonum angustifolium* Pall, качим даурский – *Gypsophila dahrica* L, стелера карликовая – *Stellera chamaejasme* L.

Объект исследований: шесть главных фаций Харанорского полигон-трансекта. Растительность полигон-трансекта разнообразна и представлена коренными, квазикоренными и серийными ассоциациями. Коренные сообщества занимают склоны сопок, возвышенные плакорные поверхности и относятся к формациям тырсовых и пижмовых степей (рис. 2).

Экология и природопользование
Дубынина С.С.

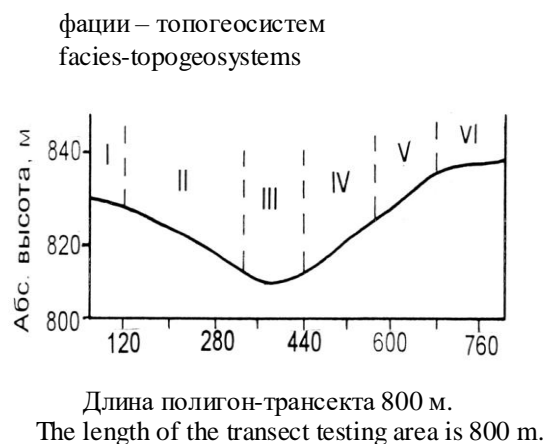


Рис. 2. Топологические подразделения – степные фации Харанорского полигон-трансекта:

I–VI – фации полигон-трансекта сопряжены друг с другом, образуя ландшафтно-экологический ряд:

I – литоморфная типчаково-хамеродосовая на черноземах слабо развитых бескарбонатных щебнистых вершин денудационного останца; II – пижмовая на черноземах мучнисто-карбонатных глубоковскипающих на денудационно-аккумулятивной склоновой поверхности северной экспозиции; III – луговая злаково-разнотравная на лугово-черноземных почвах полугидроморфного днища пади; IV – вострещово-тырсовая на черноземах мучнисто-карбонатных глубоко-вскипающих солонцеватых маломощных нижней части склона южной экспозиции; V – разнотравно-тырсовая на черноземах мучнисто-карбонатных с повышенным вскипанием на склонном денудационном педименте южной экспозиции; VI – тырсово-пижмовая на черноземах мучнисто-карбонатных с пониженным вскипанием древней поверхности выравнивания

Fig. 2. Topological divisions – steppe facies of the Kharanorsky transect testing area:

I–VI – facies of polygon-transect are conjugated with each other, forming landscape-ecological series:

I – lithomorphic Типчак-hamerodose on chernozems of poorly developed non-carbonate rubbly tops of denudation remnant; II – pixie on chernozems of powdery-carbonate deep-dipping on denudation-accumulative slope surface of northern exposure; III – meadow cereal-grass on meadow-chernozem soils of half-hydromorphic bottom of fallow; IV – vostretsovo-peat on chernozems of powdery-carbonate deep-swollen solonetzic low-powered lower part of slope of southern exposure; V – mixed-grass-peat on chernozems of powdery-carbonate with increased swelling on inclined denudative pediment of southern exposure; VI – pyrite-peat on chernozems of powdery-carbonate with decreased swelling of ancient leveling surface

Профиль полигон-трансекта начинается на вершине останца, проходит по склону северной экспозиции, днищу пади, склону южной экспозиции и заканчивается на вершине сопки древней поверхности выравнивания [19]. Ширина полигон-трансекта 100 м, длина 800 м, перепады вершин 800–840 м над уровнем моря. Коренные породы представлены верхнеюрскими конгломератами, перекрытыми на склонах и в днище пади четвертичными отложениями разной мощности.

Климат Онон-Аргунского междуречья характеризуется резкой континентальностью, сочетающейся с недостаточным увлажнением, распространением многолетней мерзлоты, обилием солнечного света. Зимой наибольшее количество дней наблюдается с температурой воздуха от -30 до -25°C . Летом преобладают температуры $15-20^{\circ}\text{C}$, иногда в очень жаркие дни достигают до 40°C . Сумма активных температур – более 2000°C [4; 21]. Среднегодовая температура воздуха $-2,7^{\circ}$, среднегодовое количество атмосферных осадков – 320 мм. Анализ данных (метеостанции Борзя) за период с 2000 по 2020 г. показал, что в новом XXI в. климат значительно меняется в сторону иссушения [11; 7]. Отмечается резкое снижение количества атмосферных осадков на 60–70 мм в год, а среднегодовая температура воздуха повысилась на $1,1^{\circ}$ вследствие глобальных изменений температуры [5]. Распределение осадков по сезонам года крайне неравномерно, меняясь во времени от 150 до 520 мм. Сухой период, который затянулся на 11 лет с 2001 по 2012 г., сказался на дефиците продуктивной влаги вегетационного периода (рис. 3).

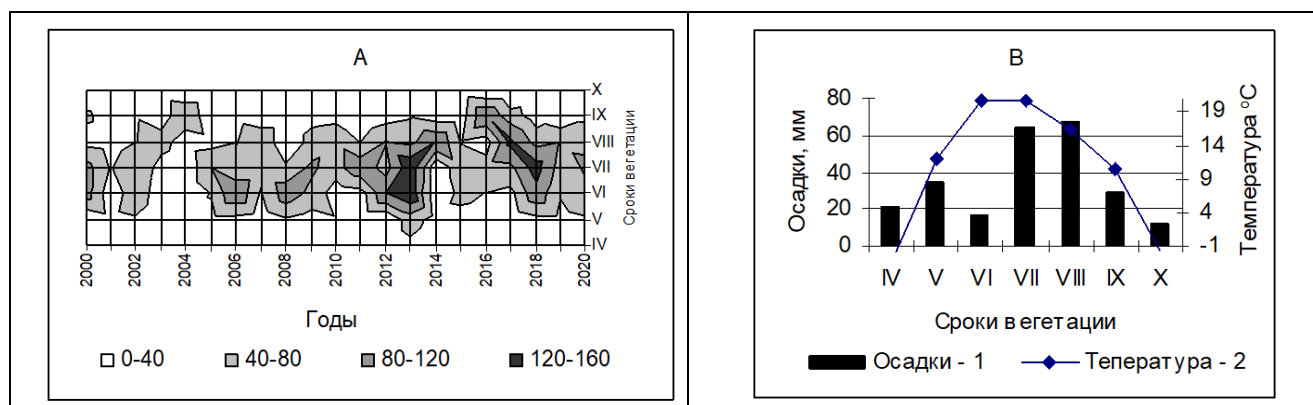


Рис. 3. Распределение атмосферных осадков и температуры в течение вегетационного периода:
 3_A – атмосферные осадки с 2000 по 2020 г. в течение вегетационного периода; 3_B – атмосферные осадки и температура в течение вегетационного периода 2010 г. (по данным метеостанции Борзя)

Fig. 3. Distribution of precipitation and temperature during the growing season:
 3_A – precipitation from 2000 to 2020 during the growing season; 3_B – precipitation and temperature during the growing season in 2010 (according to the Borzya weather station).

Распределение осадков по сезонам года крайне неравномерно, большая часть приходится на июль, август, примером может служить исследуемый 2010 г. (рис. 3, B). В 2013 г. выпало небывало большое количество осадков, начиная с июня, при этом запасы влаги в слое почвы 0–100 см увеличились в 2,5 раза и степь буйно начала вегетировать (рис. 3, A). Климат вызывает разнообразные изменения в геосистемах, в том числе в динамике гидрологических показателей надземной массы и видовом разнообразии растительного покрова [12].

Материалы и методы исследования

Для оценки биологической продуктивности используются данные общего количества (запаса) растительного вещества и его составных частей. Определение этих показателей геосистем проводилось общепринятыми методами [24; 26]. Надземная масса растений учитывалась на площадках в $0,25 \text{ м}^2$ методом укосов в 3–5-кратной повторности с разбором на зеленую и отмершую массу (степной войлок). Строго соблюдались рекомендации по репрезентативности исследований, для чего установлено необходимое количество повторных наблюдений, а также их наиболее приемлемые сроки. В данной работе рассмотрим материалы и методы исследования надземной зеленой массы. Зеленую массу разбирали на виды по жизненным формам: кустарники, полукустарнички, злаки, осоки и разнотравье. Для систематизации материала воспользовались одной из существующих классификаций учения о жизненных формах, используя ее таксономические единицы. Собранный материал по живой надземной массе и видовому составу высушивался до абсолютносухого состояния, взвешивался на электрических весах (ВЛТК-500) и был подвергнут зольному анализу в муфельной печи при температуре 500°C . Количественный химический анализ золы фитомассы (140 образцов), взятой и обработанной в 2010 г., выполнен в лицензированном химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Для общего представления о содержании микроэлементов пробы золы и почвы были проанализированы на спектрометре ДФС-8-2. В зависимости от чувствительности метода анализа Sr, Ba, Mn с концентрацией $n \cdot 10^{-2}$ определяли на спектрометре атомно-эмиссионном с индуктивно связанной плазмой Optima 200, DV. Cr, V, Cu, Ni, Co, Pb с концентрацией $n \cdot 10^{-3}$ – на спектрометре атомно-абсорбционном с прямой электротермической атомизацией проб Analyst 400 Фирмы Perkin Elmer.

Результаты и обсуждение

Результаты по показателям микроэлементов в надземной массе Харанорского полигон-трансекта представлены в табл. 1. Для исключения влияния пространственного варьирования содержания микроэлементов в фитомассе на конечный результат (среднее значение) отбор проб проводили в 25–29 – кратной повторности (табл. 1) согласно применению статистического метода анализа [10].

Таблица 1

Среднее содержание микроэлементов в надземной массе фаций Харанорской степи
(% на золу)
The average content of trace elements in the aboveground mass of the facies of the Kharanor steppe
(%, per ash)

Фа-ция	n*	Медь	Строн-ций	Хром	Вана-дий	Никель	Кобальт	Барий	Свинец	Марга-нец
<i>Содержание микроэлементов в зеленой массе полигон-трансекта</i>										
I	26	0,0053	0,0951	0,0023	0,0018	0,0018	0,0005	0,0511	0,0035	0,1583
II	25	0,0056	0,0911	0,0021	0,0032	0,0037	0,0012	0,0924	0,0028	0,0652
III	20	0,0101	0,1227	0,0024	0,0035	0,0038	0,0016	0,1292	0,0026	0,2014
IV	24	0,0063	0,1268	0,0048	0,0057	0,0028	0,0021	0,0901	0,0021	0,1198
V	23	0,0101	0,1196	0,0027	0,0039	0,0031	0,0011	0,0838	0,0025	0,0831
VI	22	0,0037	0,1513	0,0028	0,0028	0,0152	0,0014	0,1081	0,0027	0,0479
<i>Среднее</i>		0,0069	0,1178	0,0029	0,0035	0,0051	0,0013	0,0925	0,0027	0,1122
<i>Содержание микроэлементов в надземной массе полигон-трансекта</i>										
I	26	0,0040	0,0949	0,0035	0,0025	0,0020	0,0004	0,0618	0,0035	0,1765
II	25	0,0037	0,0634	0,0032	0,0036	0,0032	0,0008	0,0695	0,0028	0,0721
III	20	0,0071	0,1182	0,0048	0,0042	0,0042	0,0010	0,1106	0,0026	0,1805
IV	24	0,0070	0,1090	0,0045	0,0063	0,0031	0,0014	0,1171	0,0020	0,1134
V	23	0,0069	0,1236	0,0030	0,0034	0,0041	0,0008	0,0587	0,0025	0,0848
VI	22	0,0049	0,1203	0,0046	0,0033	0,0044	0,0010	0,0505	0,0027	0,0649
<i>Среднее</i>		0,0056	0,1049	0,0039	0,0039	0,0035	0,0009	0,0780	0,0027	0,1154

Как известно, в большинстве исследуемых степей геохимическая специфика геосистем обусловлена интенсивно накапливающимися микроэлементами. Самое существенное значение по всему профилю имеют Sr, Ba – щелочноземельные элементы [8]. Полученные данные химического состава в зеленой массе отмечают самое высокое содержание стронция – до 0,1513% в тырсово-пижмовой фации (ф. VI). Его значительное накопление характерно и для вострещово-тырсовой фации в количестве 0,1268%. Относительно понижено в зеленой массе этих фаций содержание бария, по сравнению со стронцием, зато барий аккумулируется больше всего в днище пади (ф. III) в количестве 0,1292%. Существенно содержание марганца для Забайкальских степей, аккумулируется марганец больше всего в днище пади (ф. III) до 0,2014%, в этой фации наблюдаем повышенное содержание меди до 0,0101%. Величины, характеризующие накопление никеля по всему полигон-трансекту, колеблются в среднем для всех фаций в пределах от 0,0018 до 0,0152, большая его часть накапливается в тырсово-пижмовой фации (ф. VI). Содержание хрома, ванадия и кобальта, по сравнению со свинцом, заметно меньше в золе надземной зеленой массы в хамеродосово-типчактовой фации (ф. I). Каждая топогеосистема отличается своей динамикой зеленой массы и ее специфическим химическим составом, а по средним показателям имеет следующий геохимический ряд: Sr>Mn>Ba>Cu>Ni>V> Cr> Pb> Co [12].

Для определения содержания микроэлементов в растениях были взяты наиболее характерные представители степной флоры Харанорской степи, которые объединены в группы или так называемые – жизненные формы (табл. 2). Перед анализом растения разбирались на лист, стебель и озольялись. Из травянистых растений меньшую зольность имеют листья злаков,

Экология и природопользование
Дубынина С.С.

несколько выше у осок, самая высокая зольность отмечается у представителей степного разнотравья. Зольность обуславливается физиологическими функциями самих органов растений.

Таблица 2

Среднее содержание микроэлементов в органах растений жизненных форм Харанорской степи
Average content of trace elements in the organs of plant life forms of the Kharanor steppe

Жизненные формы и название вида	Органы	Зола, %	Микроэлементы, % на золу						
			Mn	Sr	Ba	Cu	Ni	Cr	V
<i>Кустарники</i>									
Карагана мелколистная <i>Caragana microphylla</i>	лист	7,9	0,073	0,098	0,061	0,0031	0,0031	0,0042	0,0024
	стебель	3,6	0,077	0,093	0,073	0,0037	0,0049	0,0049	0,0034
<i>Полукустарнички</i>									
Полынь Гмелина <i>Artemisia gmelini</i>	лист	8,9	0,113	0,069	0,063	0,0049	0,0016	0,0055	0,0038
	стебель	4,9	0,043	0,100	0,065	0,0035	0,0018	0,0038	0,0032
Полынь холодная <i>Artemisia frigida</i>	лист	7,7	0,113	0,085	0,032	0,0055	0,0018	0,0031	0,0038
	стебель	4,1	0,068	0,083	0,089	0,0037	0,0028	0,0031	0,0032
Тимьян обыкновенный <i>Thymus serpyllum</i>	лист	6,6	0,087	0,127	0,056	0,0037	0,0034	0,0037	0,0030
	стебель	6,3	0,070	0,119	0,074	0,0037	0,0033	0,0040	0,0033
<i>Злаки</i>									
Тырса байкальская <i>Stipa baicalnsis</i>	лист	4,1	0,033	0,055	0,057	0,0032	0,0014	0,0042	0,0035
Типчак ленский <i>Festuca lenensis</i>	лист	4,1	0,046	0,046	0,065	0,0055	0,0035	0,0033	0,0050
Вострец <i>Aneurolepidium</i>	лист	5,9	0,045	0,075	0,018	0,0069	0,0019	0,0033	0,0044
<i>Осоки</i>									
Осока твердоватая <i>Carex duriuscula</i>	лист	5,3	0,093	0,034	0,048	0,0055	0,0019	0,0061	0,0036
Осока стоповидная <i>Carex pediformis</i>	лист	6,2	0,120	0,020	0,040	0,0023	0,0025	0,0045	0,0027
<i>Разнотравье</i>									
Пижма сибирская <i>Tanacetum sibiricum</i>	лист	7,9	0,108	0,080	0,039	0,0046	0,0033	0,0035	0,0042
	стебель	3,8	0,111	0,097	0,056	0,0040	0,0028	0,0047	0,0042
Серпуха васильковид. <i>Serratula centauroides</i>	лист	11,0	0,138	0,040	0,019	0,0037	0,0044	0,0024	0,0035
	стебель	3,6	0,068	0,086	0,071	0,0029	0,0036	0,0035	0,0029
Красоднев желтый <i>Hemerocallis flava</i>	лист	5,6	0,060	0,029	0,042	0,0032	0,0024	0,0029	0,0031
	стебель	5,7	0,051	0,038	0,055	0,0037	0,0021	0,0029	0,0036
Горец узколистный <i>Polygonum angustifolium</i>	лист	10,9	0,130	0,044	0,067	0,0045	0,0036	0,0023	0,0039
	стебель	5,1	0,142	0,064	0,054	0,0049	0,0031	0,0029	0,0035
Кровохлебка екарствен. <i>Sanguisorba officinalis</i>	лист	16,0	0,155	0,111	0,073	0,0050	0,0027	0,0020	0,0023
	стебель	3,3	0,106	0,086	0,069	0,0046	0,0035	0,0041	0,0030
Ирис мечевидный <i>Iris insata</i>	лист	9,2	0,079	0,085	0,110	0,0015	0,0015	0,0018	0,0035
	стебель	3,9	0,067	0,041	0,072	0,0032	0,0022	0,0011	0,0017
Ломонос 6-лепестковый <i>Clematis hexapetala</i>	лист	8,8	0,083	0,058	0,057	0,0031	0,0025	0,0022	0,0032
	стебель	4,0	0,089	0,045	0,064	0,0019	0,0014	0,0031	0,0043
Прострел Турчанинова <i>Pulsatilla turczaninowii</i>	лист	8,1	0,075	0,124	0,064	0,0039	0,0014	0,0023	0,0018

Для степей Забайкалья можно отметить, что количество золы в растениях не пропорционально содержанию в ней микроэлементов. При одинаковой зольности (7,9%) относительно: листьев караганы (*Caragana microphylla*) и листьев пижмы (*Tanacetum sibiricum*), принадлежности их к одним условиям среды обитания, содержание химических элементов в золе было различным. Главным фактором, влияющим на содержание золы в растениях, является доступность химических элементов для зольного питания. Содержание

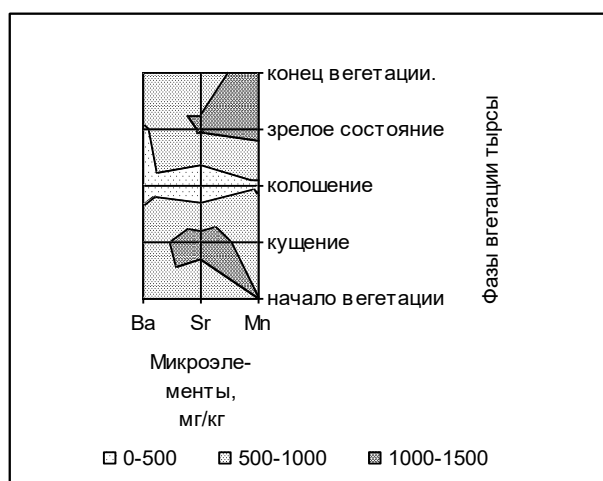
элементов в органах растений одного и того же вида имеет неодинаковый химический состав. Одни элементы накапливаются больше в листьях, другие – в стеблях. Изучение содержания у растений степного ландшафта (Mn, Sr, Ba, Cu, Ni, Cr, V (табл. 2)) выявило следующее: кустарник – карагана мелколистная (*Caragana microphylla*) – отличается высоким содержанием в стеблях Sr, Ba, Cr, Ni, а полукустарнички: полынь Гмелина и холодная (*Artemisia gmelini, frigida*) – высоким содержанием в листьях Mn, Cu, V. В больших пределах изменяется содержание химических элементов в группе злаковых и осоковых, при этом растения проявляют разную избирательную способность в накоплении элементов. Высоким содержанием в листьях Mn, Cu, V характеризуются осоки, а листья злаков – Sr, Ba, Cr; вид степного разнотравья: кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*) – повышенным содержанием Mn в листьях, превышающем в 1,5 раза, чем в стеблях. У серпухи васильковидной (*Serratula centauroides*) в листьях много марганца, а в стебле – в 2 раза меньше. Для всех видов и групп растений самое высокое содержание Sr снова отмечается в листьях кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis*), а так же в листьях и стеблях тимьяна обыкновенного (*Thymus serpyllum*) и в листьях прострела Турчанинова (*Pulsatilla turczaninovii*). Оценивая содержание стронция в целом, отметим, что для видов или групп растений характерно очень высокое содержание этого элемента. По результатам поглощения элементов из почвы Mn и Sr являются концентратами и меняются местами в ряду биологического поглощения. Больше всего Ba накапливается в листьях ириса мечевидного (*Iris ensata*). Барий по своим химическим свойствам близок к Sr и Ca, являясь щелочноземельным элементом, он концентрируется чаще всего в листьях растений и может усваиваться корнями растений из растворов в виде ионов Ba^{2+} . Он не считается элементом, необходимым для жизни растений. Высокое содержание Cu отмечено в группе злаков, накопителем является вострец ложнопырейный (*Aneurolepidium pseudoagropyrum*), а в группе осок – осока твердоватая (*Carex duriuscula*). Кустарники богаче Ni, чем некоторые растения из группы злаков и осок. Вместе с тем, как показатели работы последних лет [3; 18], проведенные в Забайкалье, никель выполняет очень важную роль в течение физиологических процессов. Он снижает полуденную депрессию фотосинтеза и способствует ночному поглощению углекислоты. Самое высокое содержание Cr – в листьях осоки стоповидной (*Carex pediformis*) и в стебле караганы мелколистной (*Caragana microphylla*), а самая низкая концентрация этого элемента – в ирисе мечевидном (*Iris ensata*); в 4,5 раза меньше по сравнению со стеблями караганы. Ванадий в исследуемых растениях содержится в небольшом количестве, самое высокое содержание концентрируют злаки: от 1,3 до 3,0 раз выше при сравнении с видами разнотравья.

Из состава степной флоры Харанорской степи для анализа были взяты растения, играющие наиболее выраженную роль в сложении фитоценозов – эдификаторы и доминанты: тырса (*Stipa baicalensis*), типчак (*Festuca lenensis*), осока (*Carex pediformis*), пижма (*Tanacetum sibiricum*). Основную роль в сложении растительного покрова Забайкальских степей играют дерновинные злаки: тырса и типчак. Типчак является эдификатором фрагментов горных степей, приуроченных к вершинам сопок с каменистыми почвами. Тырса – доминант широко распространенных настоящих степей, приуроченных к склонам различной крутизны и экспозиции, являясь крупным задернителем, так как образует довольно мощные в диаметре дернины. Осоки также считаются хорошим задернителем почвы, особенно осока стоповидная, зимующая с зелеными вегетативными побегами. К числу степного разнотравья относится пижма сибирская, которая широко распространена по западному и восточному Забайкалью, заходит в Монголию и Китай. По каменистым склонам преимущественно северной экспозиции является эдификатором пижмовых степей [6; 23].

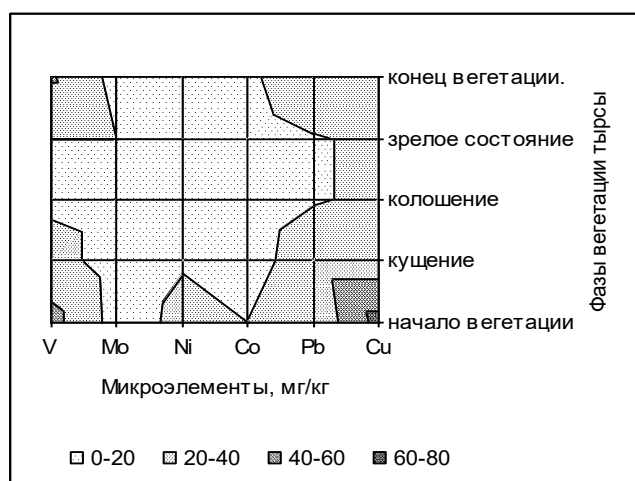
Содержание микроэлементов – Mn, Sr, Ba, Cu, Ni, V, Pb, Mo, Co существенно меняется в доминирующих видах в течение вегетационного периода, начиная с мая по октябрь. За вегетационный период виды растений проходят различные фазы фенологического развития:

Экология и природопользование
Дубынина С.С.

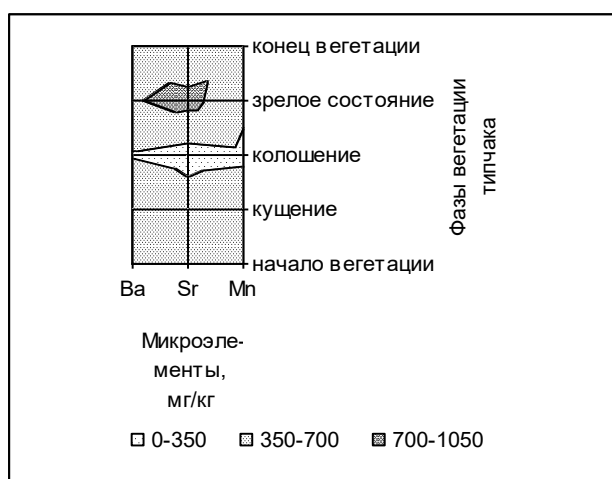
начало вегетации (всходы), кущения, цветения-колошения, период зрелого состояния и конец вегетации (рис. 4). Прослежена динамика накопления и распределения микроэлементов у видов растений из группы злаков – тырсы и типчака. В период активного роста весенних всходов и переходя в фазу кущения (май-июнь) в тырсе содержание микроэлементов Mn, Sr повышено (рис. 4, а, в). Так, типчак более активно, чем тырса, накапливает Ni в фазе кущения, содержание Cu повышено в фазе всходов и кущения и в конце вегетации почти в 2 раза. В тырсе содержание Cu в 2 раза больше в начале вегетации, а в остальных фазах вегетационного периода содержание меди оставалось стабильным (рис. 4, б, г). Содержание Mo, Co в тырсе и типчаке ниже в 4 раза по сравнению с другими элементами. Эти элементы обладают слабой поглотительной способностью. В тырсе содержание Mo, Co низкое в течение всего вегетационного периода (рис. 4, б). Хотя эти элементы присутствуют и в малых количествах, но они необходимы для жизни растений, так как отсутствие этих элементов задерживает рост и развитие растений [25].



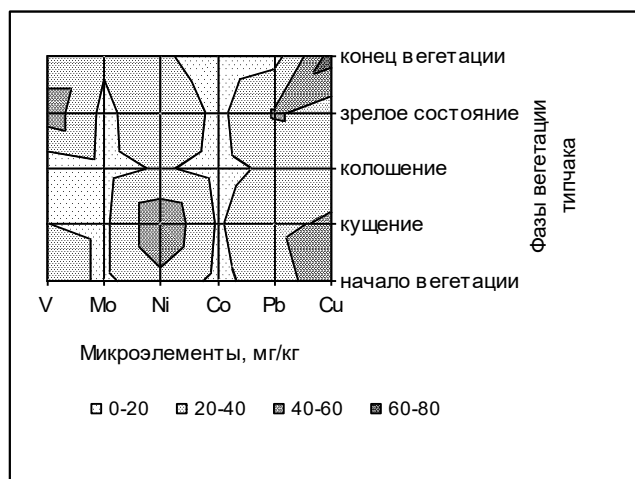
а



б



в



г

Рис. 4. Фазовые изменения микроэлементов в группе злаков: а, б – тырсы и в, г – типчаке в Харанорской степи
Fig.4. Phase changes of trace elements in the group of cereals: a, b – tyrsa and v, g – tipchak of the Kharanor steppe

Экология и природопользование
Дубынина С.С.

В фазе колошения (июль, начало августа) поглощение микроэлементов Ba, Sr, Mn надземной частью исследуемых растений ослабевает, так как за период от кущения до колошения происходит отток элементов в подземные органы. В этот промежуток времени количество живых корней степных растений Забайкалья в 4–5 раз выше [14]. Такое быстрое нарастание живых корней за относительно короткий срок (от кущения до цветения) вызывает значительное ослабление прироста надземных органов, обуславливая уменьшение содержания Ba, Sr, Mn почти в 3 раза, чем в начале вегетации и фазе созревания (рис. 4, а, в). К фазе созревания (август, сентябрь) и к концу вегетации (октябрь) количество микроэлементов в надземной части злаков снова увеличивается благодаря оттоку их из корней в листья, у тырсы – Sr, Mn, у типчака – Cu (рис. 4, а, г).

Представителем степного разнотравья является пижма сибирская (рис. 5, а, б), которая является эндемиком забайкальских и монгольских степей [27]. Широко распространяется по каменистым склонам преимущественно северной экспозиции, где является эдификатором. Вегетировать начинает в конце мая, распределение микроэлементов в этой фазе протекает так интенсивно, что содержание Mn в 4 раза выше Ba и в 2 раза Sr (рис. 5, а).

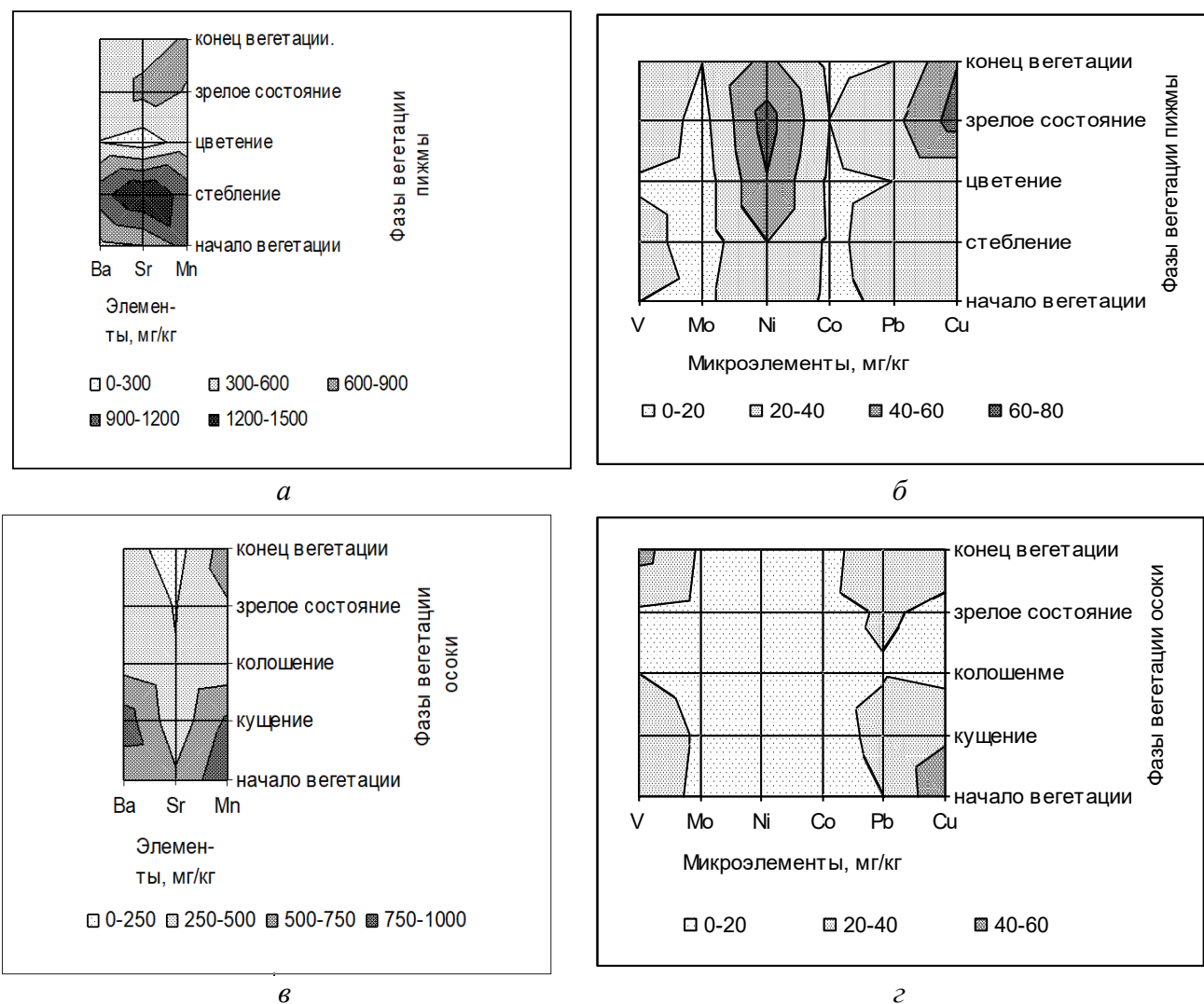


Рис. 5. Фазовые изменения микроэлементов: а, б – пижме; в, г – осоке в Харанорской степи
Fig. 5. Phase changes of trace elements: а, б – in tansy; в, г – sedges of the Kharanor steppe

В июне появляются генеративные побеги, начинается период стеблевания, и пижма в этот период накапливает Ва, Mn, но наиболее богата Sr. В период цветения происходит резкое снижение содержание стронция, а так же молибдена и кобальта. Содержание Мо, Со низкое в течение всего вегетационного периода (рис. 5, б), хотя эти элементы присутствуют и в малых количествах, но необходимы для жизни растений. В период зрелого состояния (август) наблюдается повышение Ni и Cu, что согласуется с результатами исследования других авторов, только в пижме обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) [22; 32]. Вегетация у пижмы прекращается в конце сентября, в начале октября с наступлением заморозков накопленные элементы в пижме остаются в ветоши и уходят в зиму. Эдификатор – осока стоповидная распространяется в пределах полигон-трансекта, занимает средние и наиболее пониженные части рельефа. Осока, образуя плотные дернины, является мощным задернителем почвы. Молодые побеги растения зимуют в зеленом состоянии, что придает фациям после окончания вегетационного периода своеобразный облик. Ранней весной эти зимние побеги начинают вегетировать, и из верхушечной почки быстро развиваются генеративные побеги, которые накапливают больше всего марганца в мае, в начальную фазу вегетации (рис. 5, в); меньше – в 3 раза Mn в фазу колошения. Микроэлементы Sr и Ва в начале вегетации, начиная с мая по июнь, имеют одинаковое количество этих элементов, но в фазу кушения в июне отмечается заметное повышение Ва, но низкое содержание Sr. В фазе колошения в период ослабления прироста наземных органов и увеличения корневой массы, а так же зрелого состояния, происходит резкое уменьшение элементов Ва, Sr, Mn. К концу вегетации вновь наблюдаются увеличение Mn, довольно резкое уменьшение Sr. Элементы Cu, Ni, V, Pb, Мо, Со обладают слабым поглощением, но присутствуют во всех фазах вегетации (рис. 5, г). Проведенный микроэлементный анализ свидетельствует о превышении содержания меди и ванадия в начале вегетации (май, июнь), а ванадия – еще и в конце вегетации (сентябрь). В данном случае рассматриваемые химические элементы в осоке стоповидной в конце вегетации (октябрь) с зелеными побегами уходят в зиму.

Заключение

Результаты исследований микроэлементного состава растений в фациях на Харанорском полигон-трансекте Онон-Аргунской степи показали следующие особенности. Установлено, что каждая топогеосистема отличается своей динамикой зеленой массы и ее специфическим химическим составом, а по средним показателям имеет следующий геохимический ряд: Sr>Mn>Ba>Cu>Ni>V>Cr>Pb>Co. Определено, что одни элементы накапливаются больше в листьях, другие – в стеблях. К первой группе относятся полукустарнички с высоким содержанием в листьях: Mn, Cu, V. Ко второй группе – кустарники с большим содержанием элементов в стеблях – Sr, Ba, Cr, Ni. Показано, как изменяется содержание химических элементов в группе злаковых и осоковых, при этом растения проявляют разную избирательную способность в накоплении элементов. Высоким содержанием в листьях Mn, Cu, V отличаются осоки, а листья злаков – Sr, Ba, Cr, в листьях разнотравья отмечено повышенное содержание Mn, Sr, Ba, Cu. Динамика накопления и распределения микроэлементов Mn, Sr, Ba, Cu, Ni, V, Pb, Мо, Со в доминирующих видах растений существенно меняется в течение вегетационного периода. Весной во время активного роста растений содержание микроэлементов Mn, Sr, Ba, Cu повышено, максимум их приходится на фазы кушения и созревания. Химические элементы Мо, Со, V имеют низкое содержание в течение вегетационного периода, присутствие этих элементов и в малых количествах необходимы для жизни растений, отсутствие этих элементов задерживает рост и развитие растений. В фазе колошения и цветения накопление химических элементов ослабевает, кроме видов осок, так как за период от кушения до колошения происходит отток элементов в подземные органы. В фазу созревания (август, сентябрь) количество микроэлементов в надземной части злаков и разнотравья снова увеличивается благодаря оттоку их из корней в надземные органы. К концу вегетации (октябрь) происходит вновь их

увеличение. Проведенные исследования позволили оценить распределение микроэлементов в зеленой массе в фациях полигон-трансекта, рассмотреть распределение химических элементов в органах растений жизненных форм и выявить полноценную характеристику распределения элементов в доминирующих видах в разные фазы фенологического (сезонного) развития.

Список источников

1. Алкучанский Говин. Опыт стационарного изучения степного ландшафта. М.; Л.: Наука, 1964. 166 с.
2. Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская обл.). М.: Иркутск: ГУТК, 1967. 176 с.
3. Афанасьева Л.В., Кашин В.К. Содержание микроэлементов в растениях голубики, произрастающих в южном Прибайкалье // Химия растительного сырья. 2013. № 2. С. 195–200. doi: 10.14258/jcrpm.1302195.
4. Баженова О.И., Мартынова Г.Н. Оценка изменений геоэкологических условий субаридных районов Сибири при современном потеплении климата // География и природ. ресурсы. 2003. № 4. С. 51–58.
5. Будыко М.И. Глобальное потепление // Изменение климата и их последствия. СПб.: Наука, 2002. С. 7–12.
6. Горшкова А.А. Биология степных пастбищных растений Забайкалья. М.: Наука, 1966. 272 с.
7. Давыдова Н.Д. Динамика показателей степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья в условиях глобальных изменений климата // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 120–125.
8. Давыдова Н.Д. Биохимическая специализация растений степных геосистем Онон-Аргунского междуречья // География и природ. ресурсы. 2012. № 3. С. 93–99.
9. Добровольский В.В. Геохимия почв и ландшафтов: избр. тр. М.: Научный мир, 2009. Т. 2. 752 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс. 2011. 350.
11. Дубынина С.С., Давыдова Н.Д. Сравнительный анализ состояния коренных и антропогенно-измененных геосистем Юго-Восточного Забайкалья // География и природ. ресурсы. 2005. № 1. С. 90–95.
12. Дубынина С.С. Современное состояние степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья: их продуктивность и видовой состав // Проблемы сохранения разнообразия растительного покрова Внутренней Азии. Улан-Удэ, 2004. С. 130–131.
13. Дубынина С.С. Ландшафтно-геохимические исследования фитомассы и почв в фациях Харанорского полигон-трансекта Онон-Аргунской степи // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 62–68. doi: 10.17513/use.37516.
14. Дубынина С.С. Биологическая продуктивность растительного вещества степей Юго-Восточного Забайкалья в экстремальных условиях климата // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2. С. 753–757.
15. Казанцева Т.И. Продуктивность зональных растительных сообществ степей и пустынь Гобийской части Монголии. М.: Наука, 2009. 336 с.
16. Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов. М.: И.П. Филимонов М.В., 2013. 208 с.
17. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения и экогеохимии // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
18. Кашин В.К. Особенности накопления микроэлементов степной растительностью Западного Забайкалья // Агрехимия. 2014. № 6. С. 69–76.
19. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем Сибирских регионов. Новосибирск: Наука, 2010. 315 с.
20. Серебряков И.Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. С. 146–202.
21. Снытко В.А., Давыдова Н.Д., Дубынина С.С. Процессы трансформации криоксерофитных степей Юго-Восточного Забайкалья // География и природ. ресурсы. 2003. № 4. С. 20–26.

22. Соловьев А.Д., Щербань М.Г., Плотникова М.Д. Влияние техногенных и природных факторов на содержание металлов-поллютантов в лекарственных растениях среднего Предуралья (о. Закурье г. Чусовой) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №4(55). С. 152–165. doi 10.17072/2079-7877-2020-4-150-163.

23. Степи Центральной Азии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 298 с.

24. Титлянова А.А. Методология и методы изучения продукционно-деструкционных процессов в травяных экосистемах // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С.6–14. Изд. 2-е, испр. и доп. doi: 10.31251/978-5-600-02350-5.

25. Ткалич С.М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1970. 174 с.

26. Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири. Новосибирск: Наука, 2004. 184 с.

27. Davydova N.D., Dubynina S.S. The dynamics indicators of the state of north steppes of central Asia in modern conditions // Ecosystems of central Asia under current conditions of socio-economic development. Ulaanbaatar (Mogolia), 2015. Vol. 2. P. 347–351.

28. Kabata-Pendias A. Trace elements in soil and plants. 4-th edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. 505 p.

29. Kazantseva T.I. Some cases of phytomass production in arid ecosystems Mongolia // Abstr. of Intern. Confer. Nogano, Japan. 2000. 46 p.

30. Lao B., Daoerji S. Ch., Chen Z., Huang De. The dynamics of biomass and a relationship between and precipitation of desert steppe in Inner Mongolia // Arid Land Geogr. 1990. Vol. 13. No. 1. P. 10–17.

References

1. Alkuchansky Govin (1964), Experience of stationary study of the steppe landscape. Moscow, Leningrad, Nauka, 166 p. Russia.

2. Atlas of Transbaikalia (1967), Buryat ASSR and Chita region. Moscow: Irkutsk: GUGK. 176 p.

3. Afanasyeva, L.V., Kashin, V.K. (2013), The content of trace elements in blueberry plants growing in the southern Baikal region, *Chemistry of Plant Raw Materials*, no. 2. pp. 195–200. doi: 10.14258/jcprm.1302195.

4. Bazhenova, O.I., Martianova, G.N. (2003), Assessment of changes in geocryological conditions of subarid regions of Siberia under modern climate warming, *Resources*, no. 4, pp. 51–58.

5. Budyko, M.I. (2002), Global warming, *Climate change and their consequences*. St. Petersburg, Nauka, pp. 7–12.

6. Gorshkova, A.A. (1966), Biology of steppe pasture plants of Transbaikalia. Moscow: Nauka, Russia.

7. Davydova, N.D. (2014), Dynamics of indicators of steppe geosystems of South-Eastern Transbaikalia in the context of global climate change, *International Journal of Applied and Fundamental Research*, no 4, pp. 120–125.

8. Davydova, N.D. (2012), Biochemical specialization of plants of steppe geosystems of the Onon-Argun interfluves. *Geography and nature. resources*, no. 3, pp. 93–99.

9. Dobrovolsky, V.V. (2009), *Geochemistry of soils and landscapes*, Izbr. tr. Nauchny mir, Moscow, Russia, vol. 2.

10. Dospikhov, B.A. (2011), *Methodology of field experience*, Alliance.

11. Dubynina, S.S., Davydova, N.D. (2005), Comparative analysis of the state of indigenous and anthropogenic-altered geosystems of South-Eastern Transbaikalia, *Geography and nature. resources*, no. 1, pp. 90–95.

12. Dubynina, S.S. (2004), The current state of the steppe geosystems of the South-Eastern Transbaikalia: their productivity and species composition, *Problems of preserving the diversity of the vegetation cover of Inner Asia*. Ulan-Ude, pp. 130–131.

13. Dubynina, S.S. (2020), Landscape-geochemical studies of phytomass and soils in the facies of the Kharanor polygon-transect of the Onon-Argun steppe, *Successes of modern Natural Science*, no. 11, pp. 62–68. doi: 10.17513/use.37516.

Экология и природопользование
Дубынина С.С.

14. Dubynina, S.S. (2015), Biological productivity of plant matter in the steppes of South-Eastern Transbaikalia under extreme climate conditions, *Modern problems of science and education*, no. 2–2, pp. 753–757.
15. Kazantseva, T.I. (2009), *Productivity of zonal plant communities of steppes and deserts of the Gobi part of Mongolia*, Moscow, Nauka, Russia.
16. Kasimov, N.S. (2013), *Ecogeochemistry of landscapes*, Moscow.
17. Kasimov, N.S., Vlasov, D.V. (2015), Clarks of chemical elements as standards of comparison and ecogeochemistry, *Bulletin of Moscow. un-ta. Geography*, ser. 5, no. 2, pp. 7–17.
18. Kashin, V.K. (2014), Features of accumulation of trace elements by steppe vegetation of Western Transbaikalia, *Agrochemistry*, no. 6, pp. 69–76.
19. Monitoring and forecasting of the real-dynamic state of geosystems of Siberian regions (2010). Novosibirsk: Nauka.
20. Serebryakov, I.G. (1964), Life forms of higher plants and their study, *Polevaya geobotanika*, Moscow, Leningrad, Nauka Publishing House, pp. 146–202.
21. Snytko, V.A., Davydova, N.D., Dubynina, S.S. (2003), Transformation processes of cryoxerophytic steppes of South-Eastern Transbaikalia, *Geography and nature. resources*, no. 4, pp. 20–26.
22. Solovyev, A.D., Shcherban, M.G., Plotnikova, M.D. (2020), Influence of anthropogenic and natural factors on the content of pollutant metals in medicinal plants of the Middle Pre-Ural region (Zakurye Island in Chusovoy), *Geographical bulletin*, no. 4(55), pp. 150–163. doi: 10.17072/2079-7877-2020-4-150-163.
23. *Steppes of Central Asia* (2002), Novosibirsk: SB RAS Publishing House, Russia.
24. Titlyanova, A.A. (2018), Methodology and methods of studying production and destruction processes in grass ecosystems, *Biological productivity of grass ecosystems. Geographical patterns and ecological features*, Novosibirsk: IPA SB RAS, pp. 6–14. doi: 10.31251/978-5-600-02350-5.
25. Tkalich, S.M. (1970), *Phytogeochemical method of prospecting for mineral deposits*, Leningrad: "Nedra".
26. *Trends of landscape-geochemical processes in geosystems of the South of Siberia* (2004). Novosibirsk: Nauka.
27. Davydova, N.D., Dubynina, C.C. (2015), The dynamics indicators of the state of north steppes of central Asia in modern conditions, *Ecosystems of central Asia under current conditions of socio-economic development*, Ulaanbaatar (Mogolia), vol. 2, pp. 347–351
28. Kabata-Pendias, A. (2011), *Trace elements in soil and plants*. 4-th edition. CRC Press, Taylor & Francis Group.
29. Kazantseva, T.I. (2000), Some cases of phytomass production in arid ecosystems Mongolia. *Abstr. of Intern. Confer.* Nogano, Japan.
30. Lao, B., Daoerji, S. Ch., Chen, Z., Huang, De. (1990), The dynamics of biomass and a relationship between and precipitation of desert steppe in Inner Mongolia, *Arid Land Geogr.*, vol. 13, no. 1, pp. 10–17.

Статья поступила в редакцию: 24.09.21; одобрена после рецензирования: 08.04.22; принята к опубликованию: 07.06.22.

The article was submitted: 24 September 2021; approved after review: 08 April 2022; accepted for publication: 07 June 2022.

Информация об авторе

Светлана Сергеевна Дубынина

кандидат географических наук, научный сотрудник, профессор Российской Академии Естествознания, Институт географии им. В.Б. Сочавы СОРАН; 664033, Россия, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

Information about the author

Svetlana S. Dubynina

Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Professor, Russian Academy of Natural Sciences, V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia e-mail: sdubynina@yandex.ru