

УДК 57.04

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ ФЛОРИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ЗАПАДНОЙ ТУВЕ

Ондар С.О., Ондар У.В., Очур-оол А.О.

ФГБОУ ВПО «Тувинский государственный университет», Кызыл, e-mail: ondar17@yandex.ru

Проведена количественная оценка значимости различных одновременно действующих факторов (климат, структура почвы, геохимический ландшафт, техногенный ландшафт) на химический (элементный) состав флористических комплексов и изучена закономерность накопления ими химических элементов. В разных ландшафтах Хемчикской котловины фитоценозы отличаются неодинаковым общим содержанием макро- и микроэлементов. Это определяется геохимическими и климатическими условиями разных ландшафтов горной территории. При одинаковых исходных экологических условиях отличия в содержании химических элементов зависят от экобиологических особенностей отдельных растительных сообществ и видов растений и способности эдификаторов преобразовывать биотопы в сфере их воздействия, что оказывает влияние на содержание элементов у второстепенных видов. Также использование метода «пошагового включения – исключения факторов» и построенная регрессионная модель показали, что имеется прямая зависимость содержания большинства микроэлементов и основных макроэлементов. Большие значения содержания в высокогорных флористических комплексах некоторых элементов могут быть результатом разной интенсивности поглощения травянистых растений, с одной стороны, кустарников и деревьев, с другой, а также способности элементов к комплексообразованию с органическим веществом почв горно степного и степного поясов, и как следствие, снижения их биодоступности. Еще одной причиной высокого содержания некоторых элементов в высокогорной растительности может быть присутствие в растительном покрове высокогорий мхов и лишайников, обладающих высокой поглощательной и аккумулирующей способностью. Элементный химический состав исследованных флористических комплексов характеризует регион как экологически чистый с ненарушенными естественными биогеохимическими циклами.

Ключевые слова: содержание химических элементов, флористический комплекс, ландшафты горной территории, экологические факторы

FEATURES OF ACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN ELEVATED BODIES OF PLANTS OF FLORISTIC COMPLEXES IN THE WESTERN TUIVA

Ondar S.O., Ondar U.V., Ochur-ool A.O.

Tuvan State University, Kyzyl, e-mail: ondar17@yandex.ru

The quantitative assessment of the importance of various, at the same time operating factors (climate, structure of the soil, geochemical landscape, technogenic landscape) on chemical (element) composition of floristic complexes is carried out and regularity of accumulation of chemical elements by them is studied. In different landscapes of the Hemchiksky hollow of a fitotsenoza differ in the unequal general contents macro – and microcells. It is defined by geochemical and climatic conditions of different landscapes of the mountain territory. Under identical initial ecological conditions of difference in the content of chemical elements depend on ecobiological features of separate vegetable communities and species of plants and ability of edifikator to transform biotopes in the sphere of their influence that has impact on the maintenance of elements at minor types. Also use of a method of «step-by-step inclusion exception of factors» and the constructed regression model I showed that there is a direct dependence of the content of the majority of microcells and main macrocells. Great values of the contents in mountain floristic complexes of some elements can be result of different intensity of absorption of grassy plants on the one hand, bushes and trees, with another, and also with ability of elements to a complex formation with organic substance of soils of mountain steppe and steppe belts, and as a result, decrease in their bioavailability. Presence at a vegetable cover of highlands of the mosses and lichens possessing high absorbing and heat-sink ability can be one more cause of the high maintenance of some elements in mountain vegetation. The element chemical composition of the studied floristic complexes characterizes as the region, environmentally friendly with undisturbed natural biogeochemical cycles.

Keywords: content of chemical elements, floristic complex, landscapes of the mountain territory, ecological factors

Биогеохимия растений, изучающая историю атомов химических элементов в растениях во взаимосвязи с внешней средой, является одним из важнейших разделов биогеохимии, поскольку живая масса растений составляет более 98% общей биомассы большинства ландшафтов суши [6]. Задача получения информации об элементном составе природных и биологических систем была поставлена перед научным сообществом еще в начале прошлого столетия

В.И. Вернадским [1]. Благодаря многочисленным исследованиям [2; 7; 5] нарабатан значительный материал о функциональной роли отдельных химических элементов, о физиологической норме для некоторых из них. Изучались вопросы миграции отдельных химических элементов в биосфере, их накопления отдельными частями растительных организмов, взаимодействие элементов в системе «окружающая среда – организм», видовые отличия концентрации, наличие

биогеохимических барьеров и способность к безбарьерному накоплению химических элементов, формирования биогеохимических провинций [2; 6; 7; 9].

В настоящей работе изучена биогеохимия флористических комплексов Западной Тувы и факторы формирования их химического состава.

Материалы и методы исследований

Объектами исследований являлись флористические комплексы, приуроченные к вертикальной высотной ландшафтной организации экосистем горной территории: высокогорный элювиальный (2400–3100 м над у.м.), транзитный среднегорный (1500–1800 м над у.м.) и аккумулятивный равнинно-степной (ниже 1000 м над у.м.). Полевые исследования проводили на 8 репрезентативных ключевых участках на территории 4-х административных районов (Бай-Тайгинский, Барун-Хемчикский, Дзун-Хемчикский и Сут-Хольский).

Растительный материал отбирали ежегодно в сезон вегетации (июнь – август) на одних и тех же точках в пробных площадках площадью 10×10 м. В пробах определяли содержания Cu, Mn, Co, Zn, Pb, Cd, Ni, Al, Cr, Fe, B, Mg, Ca, P, K, Na. Всего было проанализировано более 100 образцов и проведено более 50 геоботанических описаний.

Анализ растительных образцов проводили методами атомно-эмиссионной, атомно-абсорбционной и рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Полученные результаты обработаны статистическими методами с использованием программы Statistica.

Результаты исследования и их обсуждение

В орографическом плане Хемчикская котловина характеризуется достаточной сложностью. Горные системы котловины в значительной степени препятствуют переносу влажных воздушных масс западного направления, определяя экстраконтинентальность климата на данной территории. Наиболее экстремальный гидротермический режим создается в дождевой тени экранирующих хребтов, где и расположена котловина. Сумма осадков составляет 80–150 мм в год. Средняя температура января –28°С, средняя температура июля +18,5°С. Годовое количество осадков составляет около 200 мм.

Сложный рельеф, определенный орографической схемой, климатический режим территории определяют разнообразие и пространственную неоднородность почвенного покрова. Для почв характерна замедленность процессов химического выветривания и кратковременность периода функциональной активности почв [8]. С другой стороны, активация процессов физического выветривания вовлекает в почвообразовательный процесс весь спектр сложных по литологическому составу коренных

пород, среди которых преобладают твердые устойчивые к выветриванию граниты и разнообразные метаморфизованные породы нижнего палеозоя [3; 4]. В результате отмеченных процессов высокогорные и горностепные ландшафты отличаются малой мощностью почвенного профиля, грубым механическим составом [12].

Отбор проб высокогорных ландшафтов проводился в верховье реки Монагы, притока озера Кара-Холь в Бай-Тайгинском районе и на хребте Кызыл-Тайга отрога хребта Западный Саян, у высокогорного озера Сут-Холь Сут-Хольского района. Здесь представлены скалисто-осыпные высокогорья с маломощным суглинисто-щебнистым покровом с альпийскими и субальпийскими лугами и кустарниками, участками тундр и редколесья на горно-луговых почвах. Степи высокогорий в основном представлены криофитно-злаковыми ассоциациями, разнотравными лугами на горно-тундровых и горностепных почвах с каменистыми россыпями. Лесные участки представлены редколесьями из кедра, лиственницы, они перемежаются с субальпийскими высокогорными лугами, кустарниками на горно-луговых почвах и участками тундр на торфянисто-перегнойных почвах. На высокогорных ландшафтах растительность представлена разнотравной криофитной луговой ассоциацией с доминированием злаковых. Высокогорная растительность при разнообразии условий, создаваемых разной ориентацией хребтов по отношению к влагонесущим ветрам, представлена луговым типом при мощном развитии горно-таежного пояса в среднегорьях. Субальпийский флористический комплекс высокогорий сложен из кедровых редколесий. Наибольшее распространение в высокогорном поясе имеют разнотравно-злаковые ассоциации: *Festuca sphagnicola*, *Helictotrichon hookeri*, *Festuca lenensis*, *Helictotrichon altaicum*, *Kobresia filifolia*, *Festuca altaica*, *Festuca ovina*. Горные тундры (ерниковые, дриадовые) не имеют широкого распространения и приурочены к платообразным вершинам, нагорным террасам.

Среднегорные ландшафты выделены в среднем течении реки Алаш, левого притока реки Хемчик, на территории Барун-Хемчикского района, горно-таежные и смешанные леса – на отрогах Западного Танну-Ола в Дзун-Хемчикском районе, а также в среднем течении реки Устуу-Ишкин с горными степями на южных макросклонах и горно-таежными флористическими комплексами на северных макросклонах в Сут-Хольском районе. Среднегорные ландшафты распространены на горнолесных бурых перегнойных

почвах под доминированием хвойных и широколиственных лесов, а также – лиственных лесами на горно-луговых в сочетании с сухими степными ассоциациями на горностепных почвах. Более крутые склоны покрыты типичной каменистой степью. В целом этот пояс можно выделить как горностепной, в котором доминируют степи. По южным склонам степи поднимаются до 2000 м и нередко контактируют с высокогорной растительностью, причем в значительной степени обогащены высокогорными видами. Долинные степные ландшафты состоят из широколиственных смешанных травянистых лесов, часто парковых, на лесных серых дерново-слабоподзоленных или черноземовидных дерново-луговых почвах. На контактах горностепных экосистем с высокогорными травянистыми биомами типа современных кобрезиевников и осочников сформировались криофитные степи [14]. К числу основных видов криофитных степей относятся: *Koeleria altaica*, *Poa attenuata*, *Festuca lenensis*, *Carex rupestris*, *Kobresia filifolia*, *Eritrichium subrupestre*, *Eremogone formosa*, *Oxysitopisma crosema*, *Allium rubens*.

Исследования проводились на равнинных степях и остепненных придолинных лугах, каменистых предгорных степях на левом берегу реки Хемчик на территории Сут-Хольского, Барун-Хемчикского районов и к северу от г. Чадан сухих степях на предгорьях хребта Адар-Тош Дзун-Хемчикского района. Степи межгорно-котловинные, в основном с сухой мелкодерновинной полынно-злаковой растительностью, а в условиях лучшего увлажнения развиваются разнотравно-ковыльнозлаковые луговые сообщества на разнообразных каштановых почвах. В степных ландшафтах выделяются подпояса разнотравно-дерновиннозлаковых, сухих дерновиннозлаковых и опустыненных степей на светло-каштановых почвах с доминированием в сообществах *Stipa krylovi*, *Cleistogenes squarrosa*, *Agropyron cristatum*, *Artemisia frigida*, *Caragana pygmaea*. На высоких террасах, покатых шлейфах южных экспозиций предгорных гряд нередко опустыненные ковыльковые и прутняковые степи. На щебнистых склонах останцовых возвышений характерны оригинальные плаунковые сообщества [10].

Для большинства химических элементов характерна зависимость их накопления от эколого-фитоценотической приуроченности. Некоторая зависимость по накоплению макро- и микроэлементов в исследованных флористических комплексах проявляется от типа геохимического ландшафта. Скорее всего, определенную роль играют и функ-

циональные аккумулятивные особенности ландшафта. В частности, для флористических комплексов сухих степей характерны довольно высокие показатели содержания основных макроэлементов – N, P, K, и некоторых микроэлементов – Mn, Ni, Fe, Mg.

Из данных таблицы следует, что содержание некоторых макроэлементов (K, Na) и микроэлементов (особенно магния), в том числе из группы тяжелых металлов (Cu, Co, Zn, Pb) в наземных частях высокогорных флористических комплексов выше, чем в сообществах среднегорий и равнинных степей. При этом отмечается высокая вариабельность содержания химических элементов в высокогорных растительных комплексах, что видно из величин стандартных отклонений от средней. Максимальные содержания элементов в основном приурочены к горно-тундровым ассоциациям с присутствием в их структуре мхов и лишайников.

Отличительной особенностью флористических комплексов среднегорий (таблица) являются низкие значения концентрации элементов по сравнению с другими флористическими комплексами, а также довольно низкая вариабельность.

Для флористических комплексов равнинных степей характерны средние значения содержания макро- и микроэлементов, кроме того установлена заметная их вариабельность. Колебания содержания макро- и микроэлементного состава равнинно-степных флористических комплексов в первую очередь связаны с присутствием в достаточном количестве норových комплексов со своеобразными физическими и химическими параметрами зоны их влияния. В количественном отношении площадь, занимаемая ими, может достигать до 50% единицы площади естественных степных экосистем и пренебрегать их вкладом в определении химизма среды, в том числе растений, некорректно. Химизм и физические параметры таких участков определяются роющей деятельностью норových мелкопитающих [12].

Следует отметить, что в пробах, отобранных на этих участках, содержание химических элементов в десятки и сотни раз превышает содержание их в естественных флористических комплексах. Отмечены в следовых количествах в растительности некоторые химические элементы, не выявляющиеся в других растительных ассоциациях. К ним относятся Ba, Bi, As, Li, Sr, Ta. К элементам с аномально высоким содержанием в трех указанных выше точках относятся Al, Ca, K, Na, Mg, Mn, Cu, многие из которых являются элементами энер-

гичного накопления и физиологически наиболее значимы. В высокогорье к ним добавляются мышьяк и цинк. Высокое содержание химических элементов в них может быть связано со структурой растительного покрова.

Среднее содержание химических элементов в различных растительных сообществах, мг/кг

ХЭ*	Основные ландшафты Хемчикской котловины							
	Межгорные котловинные			Среднегорные			Высокогорные	
	Среднее количество осадков, мм							
	80–100	100–150	205					
	1**	2**	3**	4**	5**	6**	7**	8**
К	1,8 ± 0,9	1,8 ± 0,9	6,4 ± 3,0	1,4 ± 0,6	1,0 ± 0,5	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,9	2,6 ± 1,0
Na	0,35 ± 0,20	0,22 ± 0,12	0,70 ± 0,40	0,03 ± 0,01	0,24 ± 0,17	0,03 ± 0,02	169 ± 29	241 ± 33
Ca	1,11 ± 0,36	0,57 ± 0,53	0,71 ± 0,27	0,52 ± 0,10	0,71 ± 0,33	0,48 ± 0,11	0,75 ± 0,43	1,70 ± 1,04
P	0,80 ± 0,08	0,12 ± 0,03	0,30 ± 0,12	0,06 ± 0,03	0,14 ± 0,06	0,25 ± 0,16	0,85 ± 0,23	0,20 ± 0,10
B	22,4 ± 1,6	18,5 ± 1,2	21,6 ± 3,1	19,2 ± 1,6	18,5 ± 2,9	22,1 ± 4,2	22,5 ± 4,2	22,4 ± 1,5
Cu	4,6 ± 1,1	7,0 ± 2,5	7,2 ± 0,3	4,8 ± 2,3	4,7 ± 1,3	8,1 ± 3,5	12,8 ± 3,2	13,3 ± 2,5
Mn	20,9 ± 8,3	13,3 ± 1,9	11,4 ± 1,1	14,1 ± 1,3	16,3 ± 8,8	12,9 ± 1,0	11,7 ± 6,7	18,2 ± 8,8
Co	0,20 ± 0,08	0,20 ± 0,06	0,10 ± 0,03	0,13 ± 0,04	0,15 ± 0,03	1,17 ± 0,05	0,88 ± 0,98	1,98 ± 1,03
Zn	9,9 ± 2,6	15,4 ± 10,8	15,5 ± 10,5	18,9 ± 2,9	17,9 ± 5,2	14,3 ± 1,6	19,1 ± 6,1	20,4 ± 4,9
Pb	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,2	0,7 ± 0,5	0,6 ± 0,4	0,4 ± 0,1	0,8 ± 0,1	2,1 ± 0,9	4,0 ± 2,4
Cd	0,36 ± 0,08	0,19 ± 0,07	0,17 ± 0,13	0,21 ± 0,07	0,25 ± 0,12	0,27 ± 0,11	0,05 ± 0,09	0,14 ± 0,10
Ni	8,1 ± 2,4	5,1 ± 2,8	8,4 ± 5,4	10,5 ± 1,9	4,2 ± 2,8	7,3 ± 2,5	3,9 ± 2,1	5,0 ± 3,2
Fe	2325 ± 454	1411 ± 117	1545 ± 119	2246 ± 190	1574 ± 290	1631 ± 220	1784 ± 108	1930 ± 363
Cr	3,3 ± 0,8	1,8 ± 1,6	3,9 ± 2,2	2,1 ± 0,5	1,5 ± 0,7	1,1 ± 0,4	3,0 ± 0,8	2,3 ± 2,4
Al	0,07 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,04 ± 0,02
Mg	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	157 ± 87	260 ± 110

Примечания:

Сокращения: ХЭ* – химический элемент.

** – ключевые участки:

1 – равнинные луговые и злаково-карагановые сухие степи на каменистых супесчаных светло-каштановых почвах на долине реки Эдегей;

2 – равнинные мелкодерновинные злаковые, полынно-злаковые степи и остепненные придолинные луга на левом берегу реки Хемчик, каменистые предгорные степи левобережья реки Чес-Булун (левый приток реки Хемчик) на территории Сут-Хольского района;

3 – сухие мелкодерновинно-злаково-разнотравные степи к северу от г. Чадан до предгорий хр. Адар-Тош (отрог Западного Танну-Ола) Дзун-Хемчикского района;

4 – среднее течение реки Устуу-Ишкин с горными степями на южных макросклонах и горно-таежными флористическими комплексами на северных макросклонах на территории Сут-Хольского района;

5 – горные степи, долинные смешанные леса в среднем течении реки Алаш, левого притока реки Хемчик, на территории Барун-Хемчикского района;

6 – среднегорные горно-таежные и смешанные леса на отрогах Западного Танну-Ола (хр. Адар-Тош), административно – территория Дзун-Хемчикского района;

7 – хребет Кызыл-Тайга отрога хребта Шапшальский, у высокогорного озера Сут-Холь Сут-Хольского района;

8 – верховье реки Монагы, притока озера Кара-Холь Бай-Тайгинского района.

В разных ландшафтах Хемчикской котловины фитоценозы отличаются неодинаковым общим содержанием макро- и микроэлементов. Это определяется геохимическими и климатическими условиями разных ландшафтов горной территории. При одинаковых исходных экологических условиях отличия в содержании химических элементов зависят от экобиологических особенностей отдельных растительных со-

обществ и видов растений и способности эдификаторов преобразовывать биотопы в сфере их воздействия, что оказывает влияние на содержание элементов у второстепенных видов. Также использование метода «пошагового включения – исключения факторов» и построенная регрессионная модель показали, что имеется прямая зависимость содержания большинства микроэлементов и основных макроэлементов.

Большим содержанием хрома, магния, кобальта, цинка, свинца, калия, натрия, меди отличается высокогорный флористический комплекс (горно-тундровый флористический комплекс, осоковый ерник и закочкаранный осоково-разнотравный луг).

Таким образом, на содержание химических элементов влияет эколого-фитоценотическая приуроченность флористических комплексов. При этом основным фактором, от которого зависит накопление химических элементов, является местообитание. В частности, при изменении местообитания в одном и том же флористическом комплексе содержание как основных макроэлементов, так и микроэлементов резко меняется в сторону увеличения. Такая ситуация характерна для флористических комплексов в зоне роющей активности мелких млекопитающих независимо от ландшафтной приуроченности (элювиальный, транзитный, аккумулятивный). А в высокогорьях высокое содержание некоторых элементов может быть связано с почвенно-климатическими, геохимическими и в большей степени с биоценотической организацией высокогорных экосистем.

Поглощение элементов растениями проявляет некоторую зависимость от типа ландшафта. Если по содержанию химических элементов больших различий в наземных частях (фотосинтезирующих) растений горностепных и степных ландшафтов не отмечается, то в высокогорной растительности происходит интенсивное поглощение некоторых химических элементов – К, Na, Cu, Mn, Co, Pb, Mg. Незначительные вариации в составе элементов, характерных для горностепных и степных ландшафтов, частично высокогорий, связаны с некоторым различием почвенно-геохимических условий. Что касается химического состава высокогорной растительности, то высокое содержание некоторых элементов может быть результатом разной интенсивности поглощения травянистых растений, с одной стороны, кустарников и деревьев, с другой, а также способности элементов к комплексообразованию с органическим веществом почв горностепного и степного поясов, и снижения биодоступности. Еще одной причиной значительного содержания некоторых элементов в высокогорной растительности, возможно, является присутствие в растительном покрове высокогорий мхов и лишайников, обладающих боль-

шой поглотительной и аккумулярующей способностью.

Содержание меди во флористических комплексах в зависимости от фитоценотической приуроченности варьирует в пределах от 4,7 до 13,3 мг/кг, цинка – от 9,9 до 20,4 мг/кг, железа – от 1930 до 2325,2 мг/кг, марганца от 11,4 до 20,9 мг/кг. Естественные уровни содержания свинца в фитоценозах находятся в пределах от 0,4 до 3,9 мг/кг, кадмия – от 0,05 до 0,36 мг/кг, хрома – от 1,12 до 3,9 мг/кг, кобальта – от 0,1 до 1,98 мг/кг, магния – от 0,10 до 260,9 мг/кг и никеля – от 3,9 до 10,5 мг/кг. Элементный химический состав растений исследованной территории можно рассматривать как отражение биогеохимической ситуации экологически чистого региона с ненарушенными естественными биогеохимическими циклами.

В целом уточнение особенностей накопления химических элементов – задача будущих исследований. Также предстоят исследования, связанные с изучением биодоступности отдельных элементов видами растений, их возможными биоиндикационными свойствами во флористических комплексах фоновых и техногенно нарушенных ландшафтов.

Список литературы

1. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры. – СПб., 1922. – 48 с.
2. Виноградов А.П. Химический элементный состав организмов и периодическая система Д.И. Менделеева // Труды Биогеохим. – лаб. 1935. – Вып. 3. – С. 5–30.
3. Гросвальд М.Г. Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья (оледенение, вулканизм, неотектоника). – М.: Наука. 1965. – 167 с.
4. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. – М.: Наука, 1965. – 244 с.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
6. Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений и поиски рудных месторождений. Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – М., 2007. – 45 с.
7. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 229 с.
8. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
9. Мирошниченко Ю.М. Влияние климата и почв на доминирование макроэлементов в растениях пустыни и степей // Фиторазнообразии Восточной Европы. – 2007. – № 3. – С. 204–206.
10. Намзалов Б.Б. О некоторых особенностях распределения растительности в Хемчикской котловине в Туве // Растительные ресурсы Сибири и их использование. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. – С. 4–10.
11. Намзалов Б.Б. Степи Южной Сибири. – Новосибирск-Улан-Удэ, 1994. – 309 с.
12. Носин В.А. Почвы Тувы. – М.: Изд-во СССР, 1963. – 342 с.

13. Ондар С.О. Механизмы функционирования ультраконтинентальных степных экосистем: устойчивость и динамические процессы: дис. ... д-ра биол. наук. – М., 2001. – 178 с.

14. Юрцев Б.А. Основные направления современной науки о растительном покрове // Ботан. журн. – 1988. – Т. 73. – № 10. – С. 1380–1395.

References

1. Vernadskij V.I. Ximicheskij sostav zhivogo veshhestva v svyazi s ximiej zemnoj kory. Pg., 1922. 48 p.

2. Vinogradov A.P. Ximicheskij e'lementnyj sostav organizmov i periodicheskaya sistema D.I. Mendeleeva // Trudy Biogeoim. lab. 1935. Vyp. 3. pp. 5–30.

3. Grosval'd M.G. Razvitie rel'efa Sayano-Tuvinskogo nagor'ya (oledenenie, vulkanizm, neotektonika). M.: Nauka. 1965. 167 p.

4. Devyatkin E.V. Kajnozojskie otlozheniya i neotektonika Yugo-Vostochnogo Altaya. M.: Nauka. 1965. 244 p.

5. Kabata-Pendias A., Pendias X. Mikroelementy v pochвах i rasteniyax. M.: Mir, 1989. 439 p.

6. Kovalevskij A.L. Biogeoimiya rastenij i poiski rudnyx mestorozhdenij. Avtoref. diss. ...dokt. geol.-miner. Nauk. Moskva. 2007. 45 p.

7. Koval'skij V.V. Geoximicheskaya e'kologiya. M.: Nauka, 1974. 229 p.

8. Kononova M.M. Organicheskoe veshhestvo pochvy. M.: Izd-vo AN SSR. 1963. 314 p.

9. Miroshnichenko Yu.M. Vliyanie klimata i pochv na dominirovanie makroe'lementov v rasteniyax pustyni i stepej. Fitoraznoobrazie Vostochnoj Evropy. 2007. no. 3. pp. 204–206.

10. Namzalov B.B. O nekotoryx osobennostyax raspredeleniya rastitel'nosti v Xemchikskoj kotlovine v Tuve // Rastitel'nye resursy Sibiri i ix ispol'zovanie. Novosibirsk. Nauka. Sib. otd-nie. 1978. pp. 4–10.

11. Namzalov B.B. Stepi Yuzhnoj Sibiri. Novosibirsk-Ulan-Ude', 1994. 309 p.

12. Nosin V.A. Pochvy Tuvy. M.: Izd-vo SSSR, 1963. 342 p.

13. Oндар С.О. Механизмы функционирования ультраконтинентальных степных экосистем: устойчивость и динамические процессы. Дис. ...докт. биол. наук. М. 2001. 178 p.

14. Юрцев В.А. Основные направления современной науки о растительном покрове // Ботан. журн. 1988. Т. 73. no. 10. pp. 1380–1395.

Рецензенты:

Забелин В.И., д.б.н., главный научный сотрудник Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл;

Андрейчик М.Ф., д.г.н., доцент, профессор, ФГБОУ ВПО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл.

Работа поступила в редакцию 19.12.2014.