

С.О. ОНДАР^{1, 2}, Б.С. МОНГУШ¹, Е.Э. ОНДАР¹¹ Тувинский государственный университет (Кызыл, Россия)² Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СЕВЕРНОМ МАКРОСКЛОНЕ хр. ВОСТОЧНЫЙ ТАННУ-ОЛА

Проведены биогеохимические исследования на трансекте, заложенной на северном макросклоне хр. Восточный Танну-Ола. Определяющее влияние на накопление всех рассматриваемых элементов оказывает количество органоминеральных соединений на поверхностных горизонтах почвы, так как многие органоминеральные соединения слабо подвижны, а с усилением гумификации прочность адсорбции на биогеохимическом барьере увеличивается.

Содержание микроэлементов и макроэлементов в надземных органах растительных сообществ района исследований не имеет прямой связи с их содержанием в почве, что свидетельствует о наличии регулирующих систем по выборочному усвоению химических элементов биологическими системами.

Ключевые слова: биогеохимический барьер, органоминеральные соединения, микроэлементы, макроэлементы, регулирующие системы.

Табл. 6. Библ. 11 назв. С. 35–43.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: Гранты № 17–44–170696 «Анализ и оценка влияния климатических показателей на динамику популяций хозяйственно-значимых видов растений и животных Тувинской горной области» и № 18–44–170003 «Изучение роли аллохтонных и автохтонных элементов на видовом и родовом уровнях в сложении структуры флоры и фауны Тувы»

S.O. ONDAR^{1, 2}, B.S. MONGUSH¹, Ye.E. ONDAR¹¹ Tuvan State University (Kyzyl, Russia)² Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)

THE MAIN MECHANISMS OF TRANSFORMATION OF CHEMICAL ELEMENTS ON THE NORTHERN MACROSLOPE OF THE EAST TANNU-OLA

Biogeochemical studies on the transect on the northern macroslope of the East Tannu-Ola mountain ridge are carried out. The amount of organic-mineral compounds on the surface horizons of the soil has a decisive influence on the accumulation of all the examining elements, because many organic-mineral compounds are weakly mobile, and the strength of adsorption on the biogeochemical barrier increases with increasing humification.

The content of microelements and macroelements in the aboveground organs of plant communities in the study area does not have a direct connection with their content in the soil which indicates the presence of regulatory systems for selective assimilation of chemical elements by biological systems.

Keywords: biogeochemical barrier, organic-mineral compounds, microelements, macroelements, regulatory systems.

Tables 6. References 11. P. 35–43.

ВВЕДЕНИЕ. Время начала поднятий хр. Танну-Ола, судя по находкам фауны в континентальных отложениях Убсу-Нурской котловины, определяется как плиоцен (5,3–3,6 млн лет назад) (Маслов, 1948; Ондар, 2015). До этого времени в равнинных условиях древних центральноазиатских степей, по-видимому, доминировал аккумулятивный режим. Этому способствовали также многочисленные мелководные материковые

водоёмы (Ондар, 2015). Хребет Танну-Ола разделил территорию современной Тувы на две самостоятельные котловины — Центрально-Тувинскую и Убсу-Нурскую, со своими режимами аккумуляции, трансформации, и явился причиной изменения соотношений механизмов миграции вещества. До появления хребта Танну-Ола доминирующим механизмом выступала водная миграция. Подчинённым механизмом являлась атмосферная миграция. Кайнозойские аридизация и похолодание привело к усилению биогенного механизма миграции вещества.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. Отбор проб почв и растительного покрова проводились по стандартным методикам. Всего было отобрано 102 пробы почв из основного корнеобитаемого горизонта (~ 50 см) и 117 проб растений на 1 м² площадках путём срезания надземной части.

Качественные химические анализы проведены в физико-химической лаборатории Центра коллективного пользования ТувГУ рентгенофлуоресцентным методом с применением рентгеновских аппаратов для спектрального анализа СПЕКТРОСКАН МАКС.

Для каждой функциональной зоны района исследований в программном пакете Statistica 6.1 вычислялись выборочные средние и стандартные отклонения. Экологическое состояние растений диагностировалось по отношениям Fe/Mn, Cu/Zn. Отношение Fe/Mn является одним из наиболее информативных показателей процессов фотосинтеза, Cu/Zn — ферментосинтеза, а Pb/Mn характеризует соотношение токсичных и биофильных элементов (Кошелева и др., 2012).

Для изучения механизмов миграции, трансформации и аккумуляции химических элементов в 2018 г. нами проведены исследования биогеохимической ситуации на северных макросклонах хр. Вост. Танну-Ола. Была заложена трансекта, начинающаяся выше истоков р. Улуг-Шанган и спускающаяся по северному макросклону к району исследований. Начало трансекты характеризуется следующими параметрами: h = 2293; N 50°59'321"; E 94°18'219"; нижняя часть трансекты расположена в географических координатах: h = 708 м; N 51°22'027"; E 94°09'112".

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Основу почвенного покрова межгорных котловин составляют чернозёмы выщелоченные, обыкновенные, южные и горные, а в наиболее сухих местах — горные каштановые почвы. Количество гумуса составляет 1,5–2,5 % в светло-каштановых почвах и 4–12 % в чернозёмах обыкновенных, реакция среды варьирует от нейтральной до слабощелочной (Пузанов, Ельчиногова, 2015) Каштановые почвы (светло-каштановые) представлены на выровненной части подножий южных макросклонов.

Северные макросклоны района исследований покрыты преимущественно таёжными лиственничными, лиственнично-кедровыми лесами. Под парковыми лиственничными лесами на склонах северной экспозиции и их производными с мезоксерофитным травянистым покровом встречаются горно-лесные чернозёмовидные почвы. Под лиственничными и кедрово-лиственничными лесами господствуют подзолистые, буро-таёжные кислые неоподзоленные почвы. Содержание органического вещества в горно-лесных почвах находится в пределах от 4 % в дерново-глубокоподзолистых и светло-серых до 18 % в горно-лесных чернозёмовидных, реакция среды изменяется от кислой до слабощелочной (в карбонатных горизонтах).

Высокогорный пояс представлен кустарниковыми (ёрниковыми), шикшиевыми и дриадовыми горными тундрами, субальпийскими и альпийскими лугами. Под луговой растительностью сформировались горно-луговые почвы, характеризующиеся маломощным защебнённым профилем, ярко выраженным проявлением дернового макропроцесса, выщелоченностью профиля, отсутствием признаков оподзоленности, кислой реакцией почвенного раствора (Пузанов, Ельчиногова, 2015).

Горные тундры представлены сообществами кустистых лишайников на горно-тундровых светлых слабогумусированных почвах, травянисто-лишайниковых — на горно-тундровых торфянистых почвах, травянисто-дриадовыми сообществами — на

горно-тундровых дерновых почвах. Наиболее характерными свойствами горно-тундровых почв являются сильная защебённость профиля, значительное накопление в органогенных горизонтах слабоминерализованного, высокозольного органического вещества фульватной природы, кислая реакция среды, равномерное распределение главных компонентов валового химического состава по профилю, биогенная аккумуляция кальция, марганца, фосфора и серы в верхних горизонтах (Курбатская и др., 2014). Флористические комплексы аккумулятивной зоны представлены лугово-степной растительностью с присутствием караганы колочей. В пойменной части представлены аллювиальными дерновыми остепнёнными карбонатными и аллювиально-луговыми, часто с погребённым гумусовым горизонтом, почвами; почвенный профиль суглинистый, переходящий в нижней части в тяжёлый суглинок. На нижней точке трансекты развит Межегейский водно-болотный комплекс. В *таблицах 1 и 2* приведены средние значения содержаний химических элементов (микро- и макроэлементов на северном макросклоне хр. Вост. Танну-Ола).

Таблица 1. Средние значения содержания микроэлементов в почвах различных ландшафтов и экосистем хр. Вост. Танну-Ола (выс. 2295 м н. у. м.)

Ландшафт	Содержания микроэлементов (МгЭ), ppm									
	V	Cr	MnO	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
Элювиальная зона (сев. часть)	117,70± ±29,90	109,60± ±12,10	1588,2± ±331,70	22,70± ±17,30	33,20± ±11,20	51,10± ±18,30	90,60± ±6,80	50,80± ±28,04	212,40± ±54,80	н.о.
Транзитная зона на сев. склонах	104,0± ±18,04	96,20± ±5,40	1104,8± ±267,2	н. оп.	34,6± ±6,2	41,0± ±9,10	84,20± ±7,04	33,00± ±7,70	452,00± ±69,40	н. оп.
Аккумулятивная зона с севера	88,50± ±26,60	74,70± ±12,40	1361,0± ±345,70	н. оп.	22,80± ±7,90	30,60± ±6,80	79,20± ±27,80	10,20± ±7,80	359,00± ±255,40	н. оп.

Примечание. н.о. — не обнаружено; н. оп. — не определялось.

Таблица 2. Средние значения содержания макроэлементов в почвах различных ландшафтов и экосистем хр. Вост. Танну-Ола (выс. 2295 м н. у. м.)

Ландшафт	Содержания макроэлементов (МаЭ), %							
	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₃	K ₂ O	MgO
Элювиальная зона (сев. часть)	0,37±0,11	6,41±0,96	2,10±0,25	11,4±1,60	50,20±8,0	0,29±0,08	1,50±0,14	1,19±0,40
Транзитная зона на сев. склонах	0,39±0,04	5,70±0,49	5,56±1,22	10,6±1,05	45,0±1,70	0,31±0,05	1,38±0,20	2,52±0,21
Аккумулятивная зона с севера	0,10±0,09	4,39±0,93	3,91±2,48	9,83±2,35	49,25±7,61	0,41±0,47	1,94±0,34	2,23±0,79

Основным механизмом миграции химических элементов изученных ландшафтов и экосистем хр. Танну-Ола, по-видимому, являются атмосферные переносы. Об этом свидетельствуют показатели содержания некоторых изученных микро- и макроэлементов, которые проявляют повышенные значения на высоких точках трансекты хр. Танну-Ола (*см. табл. 1 и 2*). Большой разброс значений в содержании большинства элементов может объясняться различной степенью влияния атмосферных аэрозолей и сложно-расчленённым рельефом района исследований. Для некоторых микроэлементов отмечаются повышенные значения содержания в аккумулятивных ландшафтах (Mn, Zn и Sr).

Средние концентрации элементов в почвах района исследования могут быть описаны для 18 изученных элементов по склонам северной экспозиции с высокогорного к равнинному ландшафтам и экосистемам следующим образом: высокогорье и начало северного макросклона: Si ≥ Al ≥ Fe ≥ Mn ≥ Sr ≥ V ≥ Cr ≥ Zn ≥ As ≥ Ni ≥ Cu ≥ Co ≥ Ca ≥ K ≥ Ti ≥ P; в почвах транзитной зоны северной экспозиции: Si ≥ Al ≥ Fe ≥ Ca ≥ Mg ≥

$Mn \geq Sr \geq V \geq Cr \geq Zn \geq Cu \geq Ni \geq As \geq K \geq Ti \geq P$; равнинные аккумулятивные ландшафты и степные экосистемы северных подножий хребта, представленные разными вариантами степей: $Si \geq Mn \geq Al \geq Fe \geq Sr \geq Ca \geq K \geq Mg \geq V \geq Zn \geq Cr \geq P \geq Cu \geq Ni \geq As \geq Ti$. Таким образом, можно наблюдать трансформацию химического состава почв хребта от Si-Al-Fe-Mn в начале формирования почвы до Si-Al-Fe-Ca почв в аккумулятивные. Равнинные экосистемы характеризуются увеличением относительного вклада Si, Ca, Mn, P и Mg, которые, вероятно, накапливаются в связи с развитием и разложением биогенного материала. Таким образом, для почв хребта наблюдаются чёткие зависимости концентраций микроэлементов от ландшафтно-экологических условий. Химический состав почв северного макросклона укладываются в общий тренд зависимостей, характерных для континентальной зоны, однако есть и некоторые региональные особенности. Например, кобальт в транзитной и аккумулятивной зонах выпадает из ряда изученных химических элементов. Снижение концентрации химических элементов в аккумулятивной зоне может быть связано с формированием Межегейского водноболотного комплекса, куда активно поступают химические соединения при разложении растений, а затем активно изымаются из водной толщи при химических и микробиологических процессах без существенного атмосферного или литосферного приноса. Это наблюдение может быть верно для всех двухвалентных переходных металлов. Для выявления специфики химического состава почв в начале их формирования, было рассчитано отношение средних концентраций элементов в почвах аккумулятивной зоны к среднему значению для других зон. В аккумулятивной зоне происходит значительное обогащение почв Fe, Si, K, Mg, Sr, Mn и нерастворимых трёх- и четырёхвалентных гидролизатов, которые связаны с Fe. В транзитной зоне увеличиваются концентрации V, Cr, As. Значительное увеличение большинства химических элементов на элювиальной зоне может быть связано с поступлением этих элементов посредством атмосферного переноса, а также из разлагающихся растений высокогорных флористических комплексов, характеризующихся высокой продуктивностью.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при прогнозируемом постепенном увеличении глобальной температуры и последующем снижении уровня водоёмов, концентрации растворённого, но мало биодоступного органического вещества и большинства микроэлементов, которые связаны с органическими и органоминеральными коллоидами увеличатся. Продолжающийся альпийский этап тектогенеза будет усиливать различия в качественной структуре ряда уменьшения концентрации на северных и южных макросклонах, что может вызвать сопряжённые качественные перестройки структуры экосистем.

Корреляционный анализ химического состава почв показал высокую степень обусловленности содержания в почвах химических элементов от концентрации Mn, Fe, а в высокогорных экосистемах — гумуса.

Динамика содержания железа в почвах высокогорной зоны хребта в целом совпадает с динамикой содержания гумуса и характеризуется высокими коэффициентами корреляции. Так, для ёрниковой тундры (Fe/гумус; $r=0,89$); для мохово-лишайниковой тундры (Fe/гумус; $r=0,81$); для шикшиевой тундры (Fe/гумус; $r=0,93$). Содержание марганца характеризуется схожей динамикой: для ёрниковой тундры (Mn/гумус; $r=0,90$); для мохово-лишайниковой тундры (Mn/гумус; $r=0,85$); для шикшиевой тундры корреляция Mn и гумуса составляет 0,71. Содержание Fe и Mn в почвах транзитной, особенно аккумулятивной зон, характеризуется постепенным снижением концентрации в гумусовом горизонте, которая резко увеличивается на границе переходного горизонта (~15 см), т.е. наблюдается обратная динамика накопления Mn и Fe относительно гумусового горизонта.

В тундровых почвах все изученные концентрации тяжёлых металлов имеют схожую динамику изменения с глубиной с минимумом на 10 см. Данный минимум совпадает с границей между гумусовым и переходным горизонтами почв. Co, Ni и Cu связаны с гумусом, что подтверждается высокими коэффициентами корреляции. Остальные элементы показывают высокую зависимость от концентрации железа.

В ёрниковой тундре Co, Ni, Cu, Zn, As и Sr показывают высокую зависимость от концентраций Fe и гумуса. В мохово-лишайниковой тундре с железом связаны Co, Ni, Zn, As. С марганцем связан только Sr, о чём свидетельствует высокое значение коэффициента корреляции (0,75). Концентрация меди не показывает зависимости от гумуса, Fe и Mn и уменьшается до глубины 10 см от 46,6 до 65,5 мг/кг, затем увеличивается с глубиной до 74,4 мг/кг. В шикшиевой и дриадовой тундрах As не имеет заметной зависимости от гумуса, Fe и Mn (корреляция — 0,19). Sr связан с Mn и Fe и не имеет заметной связи с гумусом. Для остальных элементов (Co, Ni, Cu, Zn) характерны высокие значения корреляции (> 0,80) и с максимумом на глубине 10 см. Высокие показатели корреляции для химических элементов тундровых почв показывают, что содержание данных элементов регулируется гумусом, Fe и Mn. Это связано с тем, что многие из изученных нами химических элементов способны образовывать металлоорганические соединения.

Для степных почв аккумулятивного ландшафта района исследования, характерна выраженная вариабельность их содержания в почвенных горизонтах. Например, для Mn проявляется два пика его максимального содержания — в верхних горизонтах (A₀, A) и уменьшение его содержания в переходном горизонте (AB) и вновь увеличивается в минерализованном горизонте B, который согласуется с основным корнеобитаемым горизонтом.

Для этих типов почв характерно довольно высокое содержание Zn, Sr, которое уменьшается к верхним горизонтам, что, видимо, связывает их происхождение с литологической основой. С верхних горизонтов на всём протяжении почвенных горизонтов довольно высоко содержание Si, Al и Mg.

Динамика содержания основных макроэлементов тесно связаны друг с другом: Ca-Mg (r=0,89); K-P (r=0,94); K-Cl (r=0,85); S-Si (r=0,72); S-Cl (r=0,95); Mg-P (r=0,69); P-Cl (r=0,7). При этом отмечена отрицательная корреляция в содержании кальция и кремния.

В степных почвах отмечается очень низкое содержание фосфора, который регистрируется только на верхних горизонтах, что свидетельствует об их биогенном происхождении и активном вовлечении элемента в биохимические процессы.

Определяющее влияние на накопление всех рассматриваемых элементов оказывает количество органоминеральных соединений на поверхностных горизонтах почвы, так как многие органоминеральные соединения слабоподвижны, а с усилением гумификации прочность адсорбции на биогеохимическом барьере увеличивается.

Содержание микро- и макроэлементов в надземных органах растительных сообществ района исследований не имеет прямой связи с их содержанием в почве, что свидетельствует о наличии регулирующих систем по выборочному усвоению химических элементов биологическими системами.

КОЭФФИЦИЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ хр. ВОСТОЧНЫЙ ТАННУ-ОЛА. Посчитаны коэффициенты биологического накопления химических элементов в растительном покрове тундровых экосистем относительно почв (K_b). Коэффициенты биологического накопления рассчитывались как отношение концентрации химического элемента в траве растения к его концентрации в почве: $K_b = C_i$ [растительный покров] / C_i [почва], где K_b — коэффициент биологического накопления относительно почв; C_i [растительный покров] — концентрация *i*-го химического элемента в растительном сообществе (мг/кг); C_i [почва] — концентрация *i*-го химического элемента в почвах (мг/кг).

Взаимодействие растений с почвой, в частности, процессы обмена микроэлементами, носит двойственный характер. С одной стороны, растения регулируют поглощение и накопление металлов, сохраняя генотипически заданный «микроэлементный гомеостаз», с другой — не могут полностью нейтрализовать «геохимическое давление» среды при повышении концентраций элементов в почвах выше уровня оптимума.

В.Б. Ильин (Ильин и др., 2003) определяет эти факторы как генотипический и экологический.

Таблица 3. Коэффициент биологического накопления химических элементов

Флористические комплексы	Коэффициент биологического накопления (K _b) химических элементов							
	Zn	Ni	Mn	Cr	Sr	Pb	Ti	Fe
Мохово-лишайниково-ёрниковая тундра	0,38	0,11	0,18	0,039	0,19	н. оп.	309	203
Дриадовая тундра	0,44	0,06	0,058	0,026	0,31	н. оп.	928	492
Лиственнично-кедровые леса северных склонов	0,55	0,09	0,10	0,03	0,12	н. оп.	390	518
Предгорные настоящие степи северных предгорий	0,41	0,08	0,12	0,23	11,3	н. оп.	13,3	544

Примечание. н. оп. — не определялось.

В *таблице 3* представлены коэффициенты биологического накопления химических элементов в растительном покрове относительно почв (K_b). Как видно из *табл. 3*, для всех исследованных растительных сообществ относительно высокими значениями K_b характеризуются химические элементы, необходимые растениям в процессе жизнедеятельности. Известно, что Mn обладает высокой биогеохимической активностью в тундровых и таёжных ландшафтах (Глазовская, 1988). Дополнительным фактором повышенной концентрации Mn в растительном покрове тундр может являться более интенсивное протекание фотосинтеза, приводящее к окислению Mn²⁺ до Mn⁴⁺ на поверхности клеток. Изученные нами варианты высокогорных тундр района исследований (ёрниковая, мохово-лишайниковая, шикшиевая и дриадовая тундры) характеризуются сходными тенденциями накопления химических элементов и не проявляют заметных особенностей. Мохово-лишайниковая тундра характеризуется более активным накоплением большинства химических элементов, что позволяет выделить её в виде биоиндикатора содержания тяжёлых металлов.

Активное накопление железа, которое обладает высокой биоаккумуляционной активностью в переувлажнённых почвах, в шикшиевой тундре может говорить о её специфичности и биоиндикаторных свойствах по отношению к данному химическому элементу. По результатам исследований можно сделать вывод, что в растительном покрове высокогорных тундр хребта, активно накапливаются относительно почв макроэлементы (K, Mg, Fe, Mn), некоторые тяжёлые металлы (Ni, Cr, Zn, Sr, Ti), а также Br. Накопление остальных химических элементов относительно почв является индивидуальным для отдельного варианта тундр и может говорить о видоспецифичности растительных сообществ.

В содержании микро- и макроэлементов в растительных сообществах района исследований аккумулятивной и транзитной зон (*табл. 4, 5*) прямой зависимости от их содержания в почве (*см. табл. 1, 2*) не наблюдается. Например, содержание фосфора, кальция, серы и магния больше, чем их значения в почвенных горизонтах. Это и неудивительно, поскольку указанные элементы составляют структурную основу макромолекул биологических систем разного уровня, что свидетельствует о наличии направления отбора, направленное на выработку адаптационных механизмов к химизму среды у различных флористических комплексов.

Некоторые микроэлементы (Fe, Cr) в надземных органах транзитной зоны выпадают, а содержание бария резко уменьшается. В аккумулятивной зоне ландшафта в пойменных флористических комплексах содержание Fe, Cr увеличивается, а цинк аккумуляруется в флористических комплексах пойменных экосистем.

По величине отношений Fe/Mn (Глазовская, 1988; Елпатьевский, Аржанова, 1990; Ковалевский, 1969) в надземных органах растений на исследованных зонах свидетельствует о существенном нарушении баланса отношений элементов: 4,1–23,1–13,6.

Таблица 4. Средние значения содержания микроэлементов в растительных сообществах различных ландшафтов и экосистем хр. Вост. Танну-Ола (выс. 2295 м н. у. м.)

Флористические комплексы	Содержание микроэлементов (МгЭ), ppm									
	Zn	Ni	Mn	Cr	Sr	Br	Ba	Pb	Ti	Fe
Мохово-лишайниково-ёрниковая тундра	23,25± ±9,04	3,89± ±0,77	292,40± ±176,30	4,28± ±1,34	42,30± ±17,20	5,00± ±2,30	45,70± ±15,00	н. оп.	114,50± ±49,50	1220,5± ±562,20
Дриадовая тундра	56,49± ±2,29	2,66± ±0,03	75,06± ±0,24	3,16± ±0,24	98,48± ±1,21	0,43± ±0,01	73,71± ±0,70	н. оп.	35,27± ±0,25	295,30± ±0,35
Лиственнично-кедровые леса северных склонах	46,80± ±16,60	3,30± ±2,90	113,10± ±78,30	9,40± ±8,20	53,04± ±31,40	4,05± ±2,19	49,90± ±35,60	н. оп.	211,00± ±205,00	2621,0± ±1788,90
Предгорные настоящие степи северных предгорий	33,00± ±1,00	1,94± ±0,27	171,00± ±6,00	17,30± ±2,80	113,00± ±4,00	20,13± ±2,02	69,00± ±9,00	н. оп.	133,40± ±18,00	2341,5± ±117,70

Примечание. н. оп. — не определялась.

Таблица 5. Средние значения содержания макроэлементов в растительных сообществах различных ландшафтов и экосистем хр. Вост. Танну-Ола (выс. 2295 м н. у. м.)

Флористические комплексы	Содержание макроэлементов (МаЭ), %							
	Ca	K	Al	S	Mg	Si	P	Cl
Элювиальная зона (северная часть)	0,94±0,28	0,4±0,28	0,13±0,06	0,06±0,02	0,26±0,02	0,29±0,12	0,08±0,03	0,06±0,05
Транзитная зона на северных склонах	0,96±0,09	2,03±1,93	0,28±0,23	0,2±0,21	0,29±0,09	0,33±0,43	0,27±0,23	0,14±0,12
Аккумулятивная зона с севера	1,18±0,06	2,0±0,12	0,09±0,01	0,07±0,01	0,46±0,02	н. оп.	0,45±0,08	0,05±0,01

Примечание. н. оп. — не определялась.

Отдельно исследован элементный состав надземных органов у некоторых хозяйственно-значимых видов растений, входящих в структуру высокогорных флористических комплексов.

Общая динамика содержания химических элементов во всех исследованных нами растениях одинакова. Однако имеются некоторые отличия в содержании микро- и макроэлементов в надземных органах разных видов растений. Так в бруснике обыкновенной наиболее, по сравнению с другими изученными видами растений, накапливаются такие химические элементы как Mn, Br, Ba и Ti. Из макроэлементов высокие значения их содержания в надземных органах брусники отмечены для K, Al, S, Mg, Si, P и Cl. Для мхов из ёрниковой тундры и из высокогорной шикшиевой тундры северного макросклона характерны максимальные значения Zn, Ni, Mn, особенно Cr, Ti и Fe. Высокое содержание Ni, Ba и Br наблюдается в надземных органах бадана. Активно накапливает лишайники Ti, Br и Fe. Тенденция к аккумуляции Sr наблюдается у шикши, ревеня, мхов и бадана, а накопление Br характерно также для шикши, ревеня и лишайников.

Из макроэлементов Ca накапливается в надземных органах шикши, ревеня и бадана, K — ревеня. Активно накапливается Al во мхах и в лишайниках, Mg — во мхах, в ревене, бадане, Si кроме брусники активно накапливается в бадане и во мхах.

Изученные виды растений обладают различной селективной способностью к накоплению химических элементов. Для характеристики видовых особенностей концентрационной функции изученных растений нами был рассчитан Коэффициент специфического относительного накопления (КСОН), описанный в работах (Манасыпов и др., 2012; Kabata-Pendias, 2010). КСОН вычисляется как отношение содержания элемента в растении к среднему содержанию этого элемента во всех других растениях, растущих на одной территории и в одинаковых условиях (Kabata-Pendias, 2010).

В таблице 6 приведены значения КСОН для шести изученных видов растений по отношению концентраций в них железа, марганца и микроэлементов.

Таблица 6. Коэффициент специфического относительного накопления (КСОН) тяжёлых металлов в растениях исследованных высокогорных экосистем

Вид растения	Тяжёлые металлы							
	Zn	Ni	Mn	Cr	Sr	Pb	Ti	Fe
Брусника	0,31	0,07	0,23	0,04	0,15	н.о.	0,030	0,27
Шикша чёрная	0,26	0,09	0,18	0,01	0,37	н.о.	0,006	0,04
Ревень густоцветковый <i>compactum</i> L.	0,19	0,04	0,02	0,01	0,35	н.о.	0,009	0,07
Бадан толстолистный	0,23	0,19	0,06	0,01	0,19	н.о.	0,010	0,14
Мох	0,31	0,15	0,38	0,05	0,11	н.о.	0,060	0,73
Лишайник	0,25	0,08	0,06	0,03	0,11	н.о.	0,020	0,28

Примечание. н.о. — не обнаружено

Как видно из табл. 6 накопителями для Zn, Ni, Fe являются брусника и мхи. Для стронция — шикша чёрная и ревень густоцветковый. Бадан толстолистный может являться фитоиндикатором для Zn. Важно отметить, что индикаторная функция по отношению к концентрации микроэлементов (МиЭ), для изученных растений слабая. Значение КСОН изученных видов растений для МиЭ варьируют от 0,25 до 0,73, что в среднем в 1,5 раза превышает показатели КСОН для других видов исследованных растений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: Гранты № 17-44-170696 «Анализ и оценка влияния климатических показателей на динамику популяций хозяйственно-значимых видов растений и животных Тувинской горной области» и № 18-44-170003 «Изучение роли аллохтонных и автохтонных элементов на видовом и родовом уровнях в сложении структуры флоры и фауны Тувы».

ЛИТЕРАТУРА

- Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. школа, 1988. – 328 с.
- Елпатьевский П.В., Аржанова В.С. Геохимия ландшафтов и техногенез. – М.: Наука, 1990. – 196 с.
- Ильин В.Б., Сысо А.И., Байдина Н.Л., Конарбаева Г.А., Черевко А.С. Фоновое количество тяжёлых металлов в почвах Юга Западной Сибири // Почвоведение. – 2003. – № 5. – С. 550–556.
- Ковалевский А.Л. Основные закономерности формирования химического состава растений // Биогеохимия растений: Тр. Бурятского ин-та естеств. наук. – Улан-Удэ: Бурятское кн. изд-во, 1969. – С. 6–28.
- Кочелева Н.Е., Касимов Н.С., Сорокина О.И., Гунин П.Д. Геохимия техногенных ландшафтов г. Улан-Батора // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской): Докл. Всерос. науч. конф. (04–06.04.2012, Москва). – М.: АИР, 2012. – С. 207–235.
- Курбатская С.С., Самдан А.М., Прудникова Т.Н., Кужугет С.К., Монгуш А.М., Чаи У.-М.Г., Момбулай О.О., Ховалыг Ш.Д. Ландшафтно-географические исследования южного макросклона Восточного Танну-Ола (Тува) // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы природопользования: Вып. 13 / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2014. – С. 121–138.
- Манасыпов Р.М., Кирпотин С.Н., Покровский О.С., Широкова Л.С. Особенности элементного состава озёрных вод и макрофитов термокарстовых экосистем Субарктики Западной Сибири // Вестн. Томского ГУ. Серия: Биология. – 2012. – № 3 (19). – С. 186–198.
- Маслов В.П. Происхождение и возраст хр. Танну-Ола и Убсу-Нурской котловины (Южная Тува) // Землеведение (Сб. Моск. о-ва испытателей природы, нов. сер.). В 2 т. – М.: Изд-во МОИП, 1948. – Т. 2. – Вып. 42. – С. 38–50.
- Ондар С.О. Экологические перестройки в эволюции экосистемного уровня. – Кызыл: РИО ТувГУ, 2015. – 318 с.

Пузанов А.В., Ельчишникова О.А. Оценка биогеохимической ситуации в Алтае-Саянской горной стране // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: Тр. IX Междунар. биогеохимической шк. (24–28.08.2015, Барнаул). В 2 т. – Барнаул, 2015. – Т. I. – С. 3–8.

Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soil and Plants. 4th ed. – Philadelphia, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010. – 548 p.

УДК 595.7

А.Д. СААЯ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

КТО ТАКИЕ НАСЕЧЁННЫЕ ЖИВОТНЫЕ? ПОЧЕМУ ОНИ ВАЖНЫ ДЛЯ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА?

В статье говорится о предмете и объектах изучения энтомологии в общем, а также об актуальных проблемах науки в Туве. Всего для энтомофауны Тувы в настоящее время известно более 1000 видов насекомых, и по биоразнообразию республика занимает первое место в Сибири. Центральнo-Тувинская котловина является центром биоразнообразия и естественным фильтром редких видов животных.

Ключевые слова: энтомология, необходимость, Тува, экология, распространение, фауна, эндемики.

Фото. 2. Библ. 3 назв. С. 43–45.

A.D. SAAYA

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)

WHO EXACTLY ARE INSECTS? WHY ARE THEY IMPORTANT FOR HUMAN LIFE?

In paper considers the study subject and objects of entomology as well as current problems of science in Tuva. There are more than 1000 species of insects now in the entomofauna of Tuva and Tuva is on top by biodiversity within Siberia. Central Tuva basin is «the center of a biodiversity» and the natural filter of rare species of animals.

Keywords: entomology, the relevance, Tuva, ecology, distribution, fauna, endemics.

Photos 2. References 3. P. 43–45.

Энтомология — наука, изучающая насекомых (по латыни entomos — насечённый), в просторечии букашек. В настоящее время в мире описано более миллиона видов насекомых, и это только небольшая часть от их окончательного количества, но уже при этом они составляют около 90 % всех животных на Земле. В Туве по данным лаборатории биоразнообразия и геоэкологии ТувИКОПР СО РАН на данный момент насчитывается более тысячи видов. Реальное же их количество превосходит эту цифру многократно. Но куда важнее то, что Тува занимает первое место в Сибири по видовому разнообразию членистоногих и в первую очередь насекомых. По этой причине многочисленные энтомологи (учёные, изучающие насекомых) со всего мира едут именно в Туву, чтобы найти уникальные, более нигде не встречающиеся виды.

Трудно переоценить огромное значение насекомых в природе и жизни человека. В природе насекомые перерабатывают основную часть растительной массы, хищники и паразиты являются естественными регуляторами численности вредных организмов.