Сибирский экологический журнал, 6 (2026) 943–958

УДК 630.1+574.4:550.47(571.63)
DOI 10.15372/SEJ20260612

Особенности макроэлементного состава растений и почв в местах природного произрастания женьшеня (*Panax ginseng* C. A. Meyer) по материалам исследования лесных экосистем Верхнеуссурийского стационара (Приморский край)

Н. С. ШИХОВА[1], Н. В. ЗАРУБИНА[2], О. Л. БУРУНДУКОВА[1]

[1]*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН)*
690022, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159
E-mail: shikhova@biosoil.ru

[2]*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН (ДВГИ ДВО РАН)*
690022, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159

Статья поступила 24.02.2026

После доработки 20.05.2026

Принята к печати 22.05.2026

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрены некоторые аспекты эколого-геохимической специфики лесных экосистем Южного Сихотэ-Алиня в местах естественного произрастания женьшеня (*Panax ginseng*). На примере территории Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара ФНЦ ДВО РАН (Приморский край) анализируются закономерности формирования макроэлементного состава (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K, Na, P) у доминирующих растений, почв и лесного опада. Растения стационара максимально накапливают K, Ca, P, Mg и минимально – Na. Среднее содержание P и K в проанализированной выборке растений превосходит мировые кларки в 2–3 раза, но уступает им в 7 раз по содержанию Na и до 2,5 раза по содержанию Fe. Женьшень отличается повышенным содержанием Fe, Na и Al и слабым накоплением Mn и Mg. Аккумуляция элементов растениями тесно связана с их жизненной формой. Древесные виды активнее накапливают Al и Mn, кустарники – Ca и Mg, травянистые виды – Na. Почвы территории исследования обогащены по сравнению с кларками почв мира Na, P и Mn (в 1,7–2 раза), но незначительно уступают им по содержанию Al (в 1,3 раза). Ряды накопления химических элементов в почвах возглавляют Al и Fe, заканчивают – P и Mn. Опад характеризуется самым высоким содержанием Ca, почти в 1,5 раза превышающим его уровень в растениях и до 2 раз – в почве. По остальным макроэлементам опад от 3 раз (Mg, Mn) до 9–10 раз (Na, Al) уступает их содержанию в почвах. Относительно растений опад существенно обогащен Al и Fe (до 40 раз и выше), а также Na (до 20 раз), но близок им по содержанию Mg.

Ключевые слова: геохимическая экология, фитогеохимия, химический состав растений и почв, макроэлементы, лесной опад, *Panax ginseng*, Южный Сихотэ-Алинь.

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена на территории Верхнеуссурийского лесного стационара ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН в рамках исследования природных мест обитания реликтового редкого растения Российского Дальнего Востока –

© Шихова Н. С., Зарубина Н. В., Бурундукова О. Л., 2026

женьшеня настоящего (*Panax ginseng* C. A. Meyer). Вид внесен в Красные книги Российской Федерации [2024] и Приморского края [2008] со статусом находящегося под критической угрозой исчезновения. В связи с большой редкостью вида информация о таежном женьшене остается крайне ограниченной, а данные об экологических особенностях природных местообитаний фрагментарны. Охранные мероприятия, включая подбор площадок, наиболее благоприятных для реинтродукции и лесного культивирования как основных способов сохранения женьшеня, затруднены в связи с отсутствием критериев оптимальных местообитаний [Журавлев и др., 2003; Федина, Бурундукова, 2020].

Согласно имеющимся литературным данным, химические свойства почв, включая содержание ряда макроэлементов (Ca, Fe, S, Mg, Al и др.), в условиях лесного культивирования рода *Panax* L. оказывают положительное влияние на рост растений, накопление биомассы и повышение лекарственных соединений в корне [Kim et al., 2015; Thyroff, Griscom, 2019; Hei et al., 2025; Pang et al., 2025]. В ряде случаях для оптимизации показателей почвы под культивируемым в лесах женьшенем используется опад отдельных видов деревьев [Sun et al., 2017].

Целью наших исследований было выяснение особенностей макроэлементного химического состава преобладающих видов растений и почв лесных экосистем стационара как одного из исконных местообитаний природного женьшеня.

Стационар заложен в 1973 г. в бассейне р. Правая Соколовка (правый приток четвертого порядка р. Уссури) как мониторинговый полигон для проведения режимных наблюдений за типичными горными лесами южной части Сихотэ-Алиня и комплексных биогеоценотических исследований территории. За многолетний период существования стационара детально изучены ценотический и флористический состав растительности, особенности почвенного покрова и других биотических компонентов экосистем, а также особенности водного режима местных водотоков и климатических условий территории. Результаты исследований обобщены в многочисленных монографиях и сборниках, научных журналах, диссертационных работах, опубликованных преимущественно в 70–80-е годы XX в. и начале XXI в. В настоящее время на стационаре возобновлены активные исследования по изучению особенностей глобального биогеохимического цикла в лесных биогеоценозах [Гладкова и др., 2025].

Физико-географические особенности территории

Согласно геоботаническому районированию Б. П. Калесникова (1961), регион исследований относится к Дальневосточной (Маньчжурской) провинции кедрово-широколиственных и дубовых лесов Восточно-Азиатской хвойно-широколиственной области и входит в Горно-равнинный Верхне-Уссурийский округ кедрово- и елово-широколиственных, дубовых и широколиственных (липовых) лесов. Почвенный покров по классификации Г. И. Иванова [1964, 1976] соответствует дальневосточным бурым горно-лесным почвам хвойно-широколиственных лесов и горным буро-таежным и горно-подзолистым почвам темнохвойных лесов.

Около 98 % территории Верхнеуссурийского стационара (ВУС) покрыто лесами. Для стационара характерно большое разнообразие лесных формаций, обусловленное сильно расчлененным горным рельефом (444–1108 м над уровнем моря (ур. м.)), сформированным преимущественно низко- и среднегорными массивами Южного Сихотэ-Алиня со средней высотой 500–800 м над ур. м.

Детальные и последние по времени площадные исследования растительности ВУС выполнены в начале 20-х годов текущего столетия, в том числе составлена геоботаническая карта лесной растительности в масштабе 1: 25 000 и разработана модель пространственной структуры лесной территории стационара [Яковлева, 2010]. Согласно полученным данным, наибольшая площадь стационара занята кедрово-темнохвойными с березой шерстистой лесами, приуроченными к пологим склонам теневых экспозиций. Крутые южные склоны и выпуклые небольшие вершины покрыты дубово-кедровыми лесами, а западные и восточные склоны умеренного тепла и увлажнения – широколиственно-темнохвойно-кедровыми и темнохвойно-кедровыми лесами с большим участием кустарников.

Почвы стационара привлекали внимание многих исследователей, в том числе таких известных почвоведов, как С. В. Зонн (1906–2002 гг.), А. П. Сапожников (1933–2010 гг.) и др. Основная масса почвенных исследований территории выполнена в первые десятилетия работы стационара, а результаты обобщены в многочисленных сборниках 70–80-х годов XX в. Итоги первого площадного обследования почв представлены в статье Г. И. Гавренкова [1977]. Автором выделены четыре типа почв: горно-лесные бурые на делювиальных отложениях горных склонов под хвойно-широколиственными лесами, буротаежные иллювиально-гумусовые на аллювии и делювии склон и вершин водоразделов под темно-хвойными пихтово-еловыми лесами, примитивные почвы вершин водоразделов и горно-долинные почвы на аллювиальных отложениях под долинными кедровниками и ильмово-ясеневыми лесами.

Современное почвенное картирование территории стационара [Бугаец и др., 2021] показало, что на более чем половине его территории (54 %) распространены горно-лесные бурые почвы (буроземы типичные по современной классификации [Классификация..., 2004]) под кедрово-широколиственными лесами с елью, подстилаемые делювием известняков. Они занимают средние и верхние части склонов. На более пологих средних частях склонов преобладают горно-лесные бурые оподзоленные почвы (буроземы оподзоленные) на элювиально-делювиальных отложениях, приуроченные к кедрово-широколиственным лесам с липой (9 % территории). Вторыми по распространенности на территории стационара (18 % площади) являются горные буро-таежные иллювиально-гумусовые неоподзоленные и оподзоленные почвы (ржавоземы грубогумусовые, иллювиально-гумусовые, типичные и оподзоленные) под темнохвойными лесами (елово-пихтовыми с кедром и папоротниковыми). Они приурочены, как правило, к вершинам водоразделов и крутых склонов в верхней и средней частях гор. Подстилающими породами в данных условиях являются элювиальные и элюво-делювиальные щебнистые отложения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

На территории стационара были заложены две временные пробные площади (пп) размером 500 м^2: пп 1 – в бассейне руч. Березового (средняя часть северо-восточного склона средней крутизны), пп 2 – в бассейне р. Правая Соколовка (средняя – верхняя часть правого крутого юго-восточного склона).

На каждой пробной площади выполнены геоботанические описания растительности и проведен отбор проб растений и почв для химического анализа. Для фитохимического анализа отбирались ассимиляционные органы эдификаторов и доминантов растительных сообществ, включая надземную фитомассу травянистых растений, а также листья и хвою древесно-кустарниковых видов как показателей ежегодного накопления элементов. Каждая проба представляла собой смешанный образец растений с 5–10 особей каждого вида. У древесных растений пробы отбирались из нижней части кроны, у кустарников – из средней части куста. Для изучения химического состава травостоя и почв были заложены 10 метровых площадок в двух направлениях: 5 площадок по склону и 5 – вдоль склона. На каждой из них был срезан весь травостой (далее обозначаемый как укосный травостой) для учета фитомассы и последующего элементного анализа его состава, а также взяты на анализ опад и почвенный образец на глубину 0–15 (20) см.

Среди травянистых растений, кроме доминирующих видов, брали на анализ также встречающиеся на пробной площади виды-спутники женьшеня [Грушвицкий, 1961]. Листья женьшеня в связи с редкостью и ценностью изучаемого материала отбирали на анализ в минимально необходимом количестве, сушили в виде гербарных образцов. Для химического анализа использовали навески воздушно-сухих смешанных проб из 7–10 листьев.

Опробование проводилось после 4–5-дневного бездождевого периода, в конце вегетационного сезона (до начала пожелтения листьев), соответствующего времени максимального накопления элементов. Пробы в дальнейшем высушивались до воздушно-сухого состояния и измельчались. Из полученного материала отбирали смешанный образец для химического анализа. Укосный травостой метровых площадок взвешивался во влажном и воздушно-сухом состояниях.

Всего собрано и проанализировано на элементный состав 55 растительных образцов, 44 пробы лесного опада и почвенных проб.

Химический анализ собранного материала выполнен в Приморском центре локального элементного и изотопного анализа ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток. Аттестат аккредитации № RU.ИЛЦ.1.1315.27.

Элементный состав проб растений и почв (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K, Na, P) определен методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) на спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific, США). Пробоподготовка анализируемого материала растений заключалась в микроволновом разложении с HNO_3, почв – смесью кислот ($HClO_4$ + HNO_3 + HF).

Статистическая обработка полученных аналитических данных осуществлена с использованием пакета стандартных программ Microsoft Excel и STATISTICA 13.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Особенности растительности пробных площадей

Пробная площадь 1. Широколиственно-темнохвойно-кедровый с участием березы и липы лес лианово-кленово-разнокустарниковый разнотравно-папоротниковый. Состав древостоя: 2К2Лт4Бж1Пц1Еа + Кл, где К – кедр корейский, Лт – липа Таке, Бж – береза желтая, Пц – пихта цельнолистная, Еа – ель аянская, Кл – разные виды клена.

Территория пробной площади пройдена в 60-е годы XX в. выборочной рубкой (рубили главным образом кедровую сосну). Древостой смешанный, общая сомкнутость 0,5–0,6. Основными лесообразующими породами являются кедр корейский, или сосна корейская (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc[1].), пихта цельнолистная (*Abies holophylla* Maxim.), береза ребристая, или желтая (*Betula costata* Trautv.), липа Таке (*Tilia taquetii* C. K. Schneid.). Единично представлены также ель аянская (*Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr.), вяз (ильм) лопастный (*Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr). В нижнем подъярусе доминируют ильм и клены укурунду, или желтый (*Acer ukurunduense* Trautv.), а также моно, или мелколистный (*A. mono* Maxim.). Единично встречаются экземпляры черемухи Маака (*Padus maackii* (Rupr.) Kom.).

Кустарниковый ярус хорошо выражен, сомкнутость на некоторых участках пробной площади достигает 40–50 %. Он сформирован в основном кленом бородчатым (*A. barbinerve* Maxim.), свободноягодником колючим (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim.) и чубушником тонколистным (*Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim.). Единично встречаются кусты смородины маньчжурской (*Ribes mandshuricum* (Maxim.) Kom.) и Максимовича (*R. maximoviczianum* Kom.), а также барбариса амурского (*Berberis amurensis* Rupr.).

Кустарники переплетены многочисленными лианами двух видов – актинидии коломикта (*Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim.) и лимонника китайского (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.), образующими порой трудно проходимые заросли.

Среднее проективное покрытие травянистого яруса 20–25 %. Он образован папоротниками (*Adiantum pedatum* L., *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm.), *Dryopteris crassirhizoma* Nakai), которые доминируют в травостое. Из других видов встречаются василистник нитчатый (*Thalictrum filamentosum* Maxim.), новомолиния маньчжурская (*Neomolinia mandshurica* (Maxim.) Honda), недоспелка пропущенная (*Cacalia praetermissa* (Pojark.) Pojark.), клинтония удская (*Clintonia udensis* Trautv. et Mey), фиалка Селькирка (*Viola selkirkii* Pursch ex Goldie), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), двулепестник сердцелистный (*Circea cordata* Royle) и еще целый ряд видов с единичным участием, в том числе и женьшень.

Воздушно-сухой вес травостоя укосной площадки 1 м^2 составляет в средним 5,0 г (варьирует по 10 учетным площадкам от 1,8 до 10,7 г; коэффициент вариации 56 %). Средняя естественная влажность травостоя 24 % (варьирует от 13 до 40 %; коэффициент вариации 31 %).

Пробная площадь 2. Широколиственно-темнохвойно-кедровый лес лианово-чубушниково-разнокустарниковый редкопокровно-травянистый. Состав древостоя: 3К3Бж2Ла1Еа1Пц.

Общая сомкнутость древостоя 0,4–0,5. Древостой представлен кедром корейским, бере-

[1] Названия растений приведены по сводке “Сосудистые растения...” [1985–1996].

зой ребристой, липой амурской (*Tilia amurensis* Rupr.) с единичным участием ели аянской и пихты цельнолистной. Нижний подъярус образуют клены моно и зеленокорый (*Acer tegmentosum* Maxim.). В подросте доминируют пихта, кедровая сосна, вяз лопастный, клен моно. Отмечено много усыхающих экземпляров ели аянской высотой до 5 м.

Кустарниковый ярус хорошо выражен и обильно переплетен лианами. Наиболее распространен на пробной площади чубушник тонколистный, образующий на отдельных участках пробной площади сплошные заросли. Гораздо реже встречаются клен бородчатый, свободноягодник колючий, лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica* Maxim.), смородины маньчжурская и Максимовича, жимолость золотистоцветковая (*Lonicera chrysantha* Turcz. ex Ledeb). Из лиан отмечены лимонник китайский, актинидия коломикта и виноград амурский (*Vitis amurensis* Rupr.). Обилие лиан возрастает выше по склону (на верхней границе пробной площади).

Общее проективное покрытие травянистого яруса не превышает 15 (20) %, снижаясь на отдельных участках до 10 % и менее. Видовой состав травостоя представлен следующими видами: прутьевик вырезанный (*Rabdosia excisa* (Maxim.) Hara), недотрога обыкновенная (*Impatiens noli-tangere* L.), недоспелка пропущенная, фрима азиатская (*Phryma asiatica* (Hara) Probat.), подмаренник даурский (*Galium davuricum* Turcz. ex Ledeb.), новомолиния маньчжурская, кислица обыкновенная, адиантум стоповидный (*Adiantum pedatum*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt). Единичными экземплярами на пробной площади встречаются щитовник толстокорневищный (*Dryopteris crassirhizoma*), голокучник обыкновнный (*Gymnocarpium dryopteris*), воронец заостренный (*Actaea acuminata* Wall. ex Royle), марена сердцелистная (*Rubia cordifolia* L.) и целый ряд других видов.

Вдоль геологической трещины с временным водотоком, проходящей по восточной стороне пробной площади, обильно произрастают крапива узколистная (*Urtica angustifolia* Fisch. ex Hornem.), недотрога обыкновенная, лепторумора амурская (*Leptorumohra amurensis* (Christ) Tzvel.).

Средний воздушно-сухой вес травостоя укосной площадки 1 м^2 составляет 8,0 г (варьирует по учетным площадкам от 3,5 до 11,6 г; коэффициент вариации 34 %). Средняя естественная влажность травостоя 23 % (варьирует на пробной площади от 14 до 29 %; коэффициент вариации 18 %).

Согласно цифровой почвенной карте 1 : 50 000 территории Верхнеуссурийского стационара [Терешкина и др., 2019], на пробных площадях распространены горно-лесные бурые почвы (по современной классификации – буроземы типичные).

Элементный состав растений

Статистические показатели макроэлементного состава проанализированной выборки растений приведены в табл. 1.

Максимальные содержания установлены в K и Ca – одних из главных химических составляющих живого вещества суши. Наибольший разброс значений, согласно данным табл. 1, характерен для содержания Mn и Al. При этом максимальное содержание Mn зафиксировано в листьях лещины маньчжурской, минимальное – в надземной фитомассе василистника нитчатого на пп 2. Самое высокое содержание Al отмечено в хвое пихты цельнолистной (пп 1), минимум – в листьях аралии высокой (*Aralia elata* (Miq.) Seem.) на территории базы стационара. Интересно также отметить, что женьшень (сем. Araliaceae Juss.) лидирует среди опробованной выборки растений по аккумуляции Na и Fe (пп 2), а клинтония удская (сем. Asparagaceae Juss.) – K, Ca и Mg (пп 1).

Элементный состава растений, как показали наши исследования, зависит не только от видового состава, но и от жизненной формы растений (рис. 1).

Эколого-геохимические особенности древесных видов территории исследования выражены в бóльшей аккумуляции Al и Mn, кустарников – Ca и Mg, травянистых видов – Na. Лианы лишь относительно деревьев накапливают K, Ca и Mg, но имеют самые низкие содержания Al и Fe.

Используя полученные нами данные по биомассе травостоя укосных площадок, рассчитан баланс макроэлементов в граммах на 1 га лесной площади. Он может быть представлен следующим ранжированным рядом по мере уменьшения массы элементов (г / га):

Таблица 1

Содержание макроэлементов в растениях Верхнеуссурийского стационара

Статистический показатель	Содержание химических элементов в растениях, мг/кг сухого вещества							
	K	Ca	P	Mg	Mn	Al	Fe	Na
Среднее содержание в древесных растениях (n = 12)	9832	9557	2048	1517	292	196	84	34
Среднее содержание в кустарниковых видах (n = 10)	28869	28779	3411	3268	258	93	116	53
Среднее содержание в деревянистых лианах (n = 2)	31554	17281	2787	2673	116	46	48	47
Среднее содержание в укосном травостое (n = 12)	30001	17689	3499	2879	102	134	118	64
Общее среднее содержание (n = 55) ± ошибка среднего	25309 ± 1458	17166 ± 1115	3124 ± 142	2623 ± 118	185 ± 28	119 ± 15	99,3 ± 5,1	68,4 ± 6,4
Минимальное содержание / Максимальное содержание	5333 / 49702	2836 / 35776	1305 / 7294	824 / 5063	40 / 1325	18 / 573	33,7 / 212,1	1,1 / 230,5
Коэффициент вариации, %	43	48	34	33	114	91	38	69

K (1216) > Ca (749) > P (149) > Mg (118) > Al (6,4) > Fe (5,1) > Mn (4,2) > Na (0,42). Эти показатели вполне согласуются с ранее полученными материалами А. Ф. Костенковой [1984]. Она указывает на высокое содержание в напочвенном покрове ВУС калия (до 0,31 кг/га) и кальция (до 0,38 кг/га) и минимальное накопление натрия (0,009 кг/га).

Эколого-геохимическая специфика листьев Panax ginseng

Специфика химического состава женьшеня оценивалась как относительно элементного состава растительности ВУС в целом, так и в сравнении с травянистыми видами, в том числе его видами-спутниками и общим составом травостоя (на примере укосных площадок). Установлено, что женьшень отличается от общего макроэлементного состава растительности ВУС повышенным содержанием Fe и Na (почти в 2 раза), Al (в 1,6 раза), но до 3 раз уступает по количеству Mn и до 1,5 раза – Mg.

Интересно также отметить, что женьшень относительно древесных растений незначительно накапливает лишь K и P, но существенно уступает им по содержанию Mn, что вполне совпадает с эколого-химическими особенностями травянистых растений в целом.

Сходство макроэлементного состава женьшеня с травянистыми видами в наибольшей степени выразилась в близком содержании K, Ca, Na и P. Видовая же специфика его проявилась в обогащении Fe и Al и рассеянии Mn и Mg. При этом относительно укосного травостоя женьшень накапливает Na (почти 2-кратно), Al и Fe (до 1,5 раза), но рассеивает Mg и Mn (до 1,7 раза). Близкие закономерности получены при сравнении женьшеня с его травянистыми видами-спутниками с той лишь разницей, что он еще активнее накапливает Al (в 2,6 раза) и Fe (в 1,8 раза) и рассеивает Mn и Mg (почти до 2 раз).

Среди видов-спутников наиболее тесные ассоциативные связи, независимо от условий местообитания, установлены у *Panax ginseng* со следующими видами: *Oxalis acetosella*, *Maianthemum intermedium* и *Phryma asiatica* (рис. 2).

Если же сравнивать в целом виды семейства Araliaceae (*Aralia elata* (Miq.) Seem.,

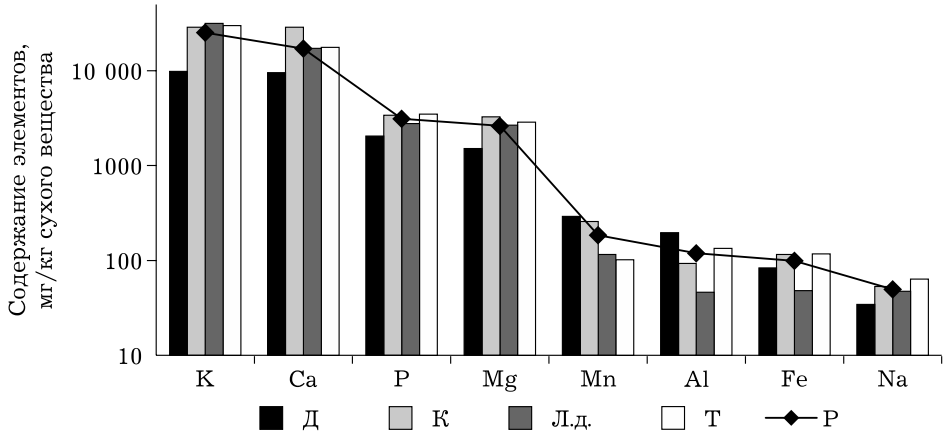


Рис. 1. Содержание элементов в разных жизненных формах растений.
Д – деревья; К – кустарники; Л. д. – лианы деревянистые; Т – укосный травостой;
Р – среднее содержание в растениях ВУС

Eleutherococcus senticosus, *Panax ginseng*) с остальным видовым составом растений, то их фитогеохимическая специфика проявляется в существенном обогащении Ca (в 1,6 раза) и незначительном накоплении Fe, P и Na (до 1,3 раза) при одновременно более низким содержанием Mn (до 1,4 раза). В то же время аралиевые идентичны остальным видам выборки по содержанию Al, K и Mg.

Элементный состав почв

Согласно полученным данным, химический состав почв более стабилен по сравнению с растениями. Вариабельность содержания элементов в зависимости от места отбора проб не превышает 30 % (Ti). Основные статистические показатели химических элементов в исследованных почвах приведены в табл. 2.

В отличие от растений, самые высокие содержания зафиксированы в Al и Fe, доминирующих в химическом составе земной коры континентов.

Корреляционный анализ, выполненный для состава макроэлементов в почвах ВУС, позволил установить наиболее тесные положительные взаимосвязи между следующими элементами: Ti и Fe (r = 0,95), Ti и Mg (r = 0,91), Mg и Na (r = 0,91).

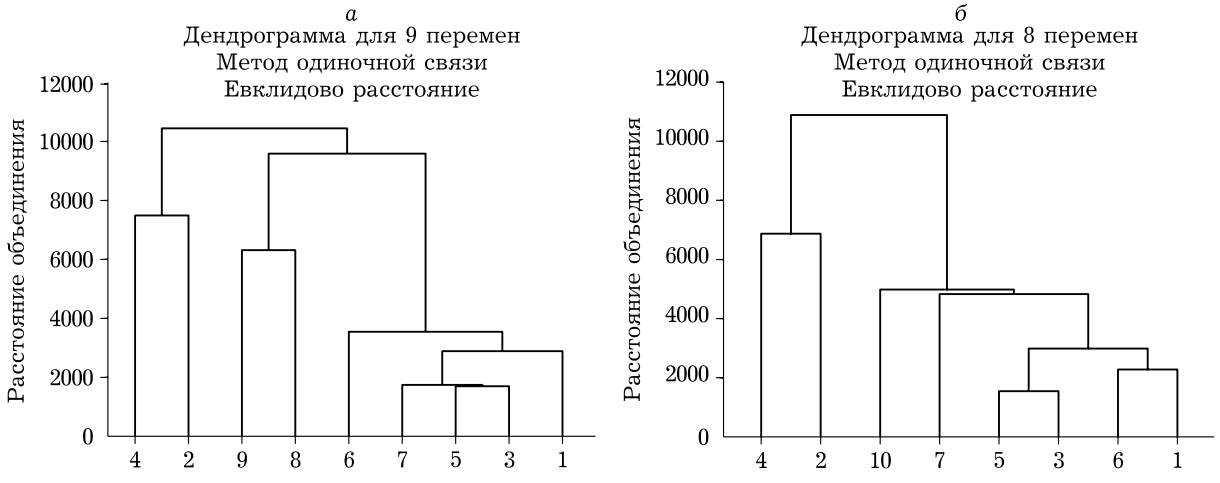


Рис. 2. Дендрограммы ассоциативных связей химического состава женьшеня и его видов-спутников на пп 1 (*а*) и пп 2 (*б*).
1 – *Panax ginseng*; 2 – *Adiantum pedatum*, 3 – *Maianthemum bifolium*, 4 – *Neomolinia mandshurica*, 5 – *Oxalis acetosella*, 6 – *Phryma asiatica*, 7 – *Thalictrum filamentosum*, 8 – *Viola selkirkii*, 9 – *Clintonia udensis*, 10 – *Galium davuricum*

Таблица 2

Содержание макроэлементов в почвах Верхнесуссурийского стационара

Статистический показатель	Содержание химических элементов в почвах, мг/кг сухого вещества							
	Al	$Fe_{общ}$	K	Ca	Na	Mg	Ti	P	Mn
Среднее содержание (n = 12) ± ошибка среднего	56041 ± 671	34670 ± 1548	16868 ± 407	13259 ± 882	10574 ± 388	7846 ± 510	5210 ± 459	1763 ± 61	1717 ± 34
Минимальное содержание / Максимальное содержание	50603 / 58697	26492 / 43688	14599 / 19136	9424 / 17889	8793 / 13000	5590 / 11409	3063 / 8039	1421 / 2067	1478 / 1922
Коэффициент вариации, %	4	15	8	22	13	23	30	12	7

Элементный состав опада

Среднее содержание макроэлементов в опаде (в мг/кг сухого вещества) можно представить следующим ранжированным по убыванию рядом: Ca (24828) → Al (5374) → Fe (4280) → K (3135) → Mg (2493) → P (1544) → Na (1161) → Mn (605). Следует заметить, что опад на пробных площадях был преимущественно хвойно-листовым.

Самая высокая вариабельность по учетным площадкам отмечена для содержания Fe (1713–11625 мг/кг): коэффициент вариации 76 %. Наиболее стабильные значения присущи Ca (28320–22617 мг/кг) и P (1703–1365 мг/кг): коэффициенты вариации 7 и 8 % соответственно.

Анализ количественного соотношения элементов в опаде и поверхностных горизонтах почв свидетельствует о рассеянии в опаде большинства сравниваемых элементов от 3 раз (Mn, Mg) до 8–10 раз (Fe, Na, Al). Исключением из этого правила являются два элемента: P – с близким содержанием в опаде и почве, и Ca, концентрация которого в опаде почти в 2 раза превышает его уровень в почве. Интересно также отметить, что Ca оказался единственным элементом, содержание которого в опаде выше как относительно почвы (2-кратно), так и растений (1,5-кратно).

Если же сравнить количественный состав элементов в опаде и растениях, то опад по большинству проанализированных элементов превосходит растения. Особенно значимы эти превышения в содержании Al – до 40 раз в травостое и почти до 38 раз в листьях и хвое древесных растений и кустарников, а также Fe – до 36 и 46 раз соответственно. Кроме того, в опаде отмечена 20–30-кратная аккумуляция Na и 4-кратная – Mn. Близкие значения между опадом и растениями зафиксированы лишь в содержании Mg: 2493 мг/кг в опаде и 2623 мг/кг по средним значениям в растениях. Однако опад уступает растениям в содержании P до 2 раз, а также K – до 6 раз в древесных и до 10 раз в травянистых растениях.

Сравнительная эколого-геохимическая оценка пробных площадей

Обобщающий анализ полученных данных по двум обследованным пробным площадям

позволил установить их некоторые отличия не только по местоположению и геоморфологическим особенностям, составу растительности, что показано выше, но в ряде случаев и по количеству содержащихся в почвах и растениях макроэлементов. Так, например, примерно половина проанализированного состава элементов в почвах пп 2 в разной степени превосходят одноименные элементы, формирующие состав почв пп 1 (рис. 3). Максимальное превосходство отмечено для Ti – почти двукратное. В меньшей степени такая закономерность сохраняется для Fe, Mg и Ca – 1,3–1,4-кратное превышение. Стабильными были лишь содержания Al, Mn и K.

Несколько иные закономерности отмечены при анализе макроэлементного состава растений (см. рис. 3). Растительность пп 1 активнее накапливает Mn (до 1,6 раза) и менее значимо – K (1,3 раза); пп 2 – Na (1,4 раза) и Al (1,3 раза). Наибольшие же отличия наблюдаются у древесно-кустарниковых видов: более чем двукратное превышение Mn на пп 1 и Na – на пп 2. Травянистые растения (укосный травостой) пп 1 превосходят травы пп 2 по содержанию Na и Mn (до 1,7 раза), но уступают по содержанию Ca (в 1,5 раза). Лишь содержания Fe, Mg, K и P в растениях разных местообитаний практически не отличались. При этом следует отметить, что содержание P было стабильным и в растениях, и в почвах.

Листья женьшеня в экологических условиях пп 2 активнее накапливают все проанализированные элементы, за исключением K и P, но максимально – Na (в 19 раз) и Al (в 6 раз). Далее следуют Fe (в 2 раза), Mg (в 1,7 раза), Mn (в 1,5 раза) и Ca (1,3 раза).

У половины исследованных элементов в образцах опада на пп 2 химические показатели также были выше, чем в образцах пп 1, в том числе: Fe – свыше 2 раз; Na, Al и Mg – около 1,5 раза. Содержания Ca и P были равны, а K и Mn – близки.

Интенсивность биологического накопления химических элементов

Для оценки интенсивности накопления элементов использовали коэффициент биологического накопления (КБН). Он рассчитывается как отношение содержания элемента в растении по отношению к его содержанию в почве. Обобщенные данные по КБН растений ВУС приведены в табл. 3.

В сравниваемой нами выборке растений КБН изменяется в широком диапазоне значений: от 0,001 (Al) до 2,7 (Na). Согласно “Рядам биологического поглощения химических элементов живыми организмами суши” в геохимической классификации А. И. Перельмана [1979], эти показатели соответствуют элементам слабого биологического захвата (Al) и сильного биологического накопления (Na).

Деревья и кустарники по сравнению с травянистыми видами активнее накапливают

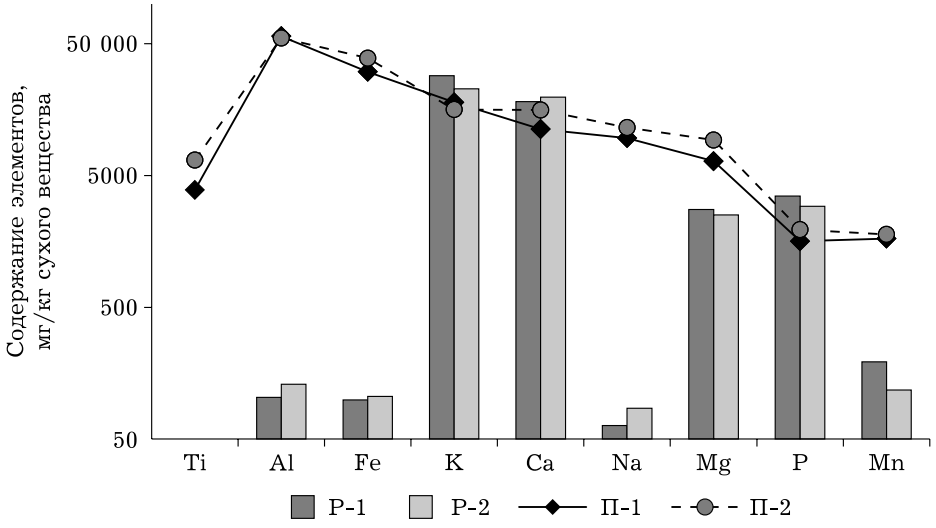


Рис. 3. Сравнительная оценка содержания элементов в почвах (П) и растениях (Р) пробных площадей 1 и 2

Таблица 3

Интенсивность накопления химических элементов растениями Верхнеуссурийского стационара

Ряд биологического поглощения химических элементов*	Элемент	КБП*	КБН	
			пп 1	пп 2
Сильного биологического накопления	P	$n{\cdot}10 - n{\cdot}100$	2,2	1,6
	Na	$n - n{\cdot}10$	1,6	2,1
	Mg	$n - n{\cdot}10$	1,5	2,2
Среднего биологического захвата	Ca	$n - n{\cdot}10$	0,45	0,13
Слабого биологического захвата	Mn	0, $n - n$	0,11	0,06
Очень слабого биологического захвата	K	$n - n{\cdot}10$	0,007	0,005
	Fe	0, n	0,003	0,003
	Al	0, n – 0,0 n	0,002	0,002

* Классификация А. И. Перельмана [1979].

из почвы Mn (в 2,2 раза) и Ca (в 1,6 раза), травостой – Na (в 1,9 раза) и K (в 1,4 раза).

Среди видового состава растений самые высокие показатели КБН на пп 1 отмечены у клинтонии удской в накоплении P (КБП – 4,6) и Ca (КБП – 0,8). Сосна корейская в этих условиях интенсивнее остальных опробованных видов накапливает Mn (КБП – 0,52) и Al (КБП – 0,010), василистник нитчатый – K (КБН – 0,017), смородина маньчжурская – Fe (КБП – 0,006). На пп 2 максимальные КБН зафиксированы у смородины маньчжурской в накоплении Mg (КБП – 3,7) и Na (КБП – 3,3), у чубушника тонколистного – P (КБП – 2,6). Кислица обыкновенная и смородина Максимовича активнее остальных видов накапливают Mn: КБН – 0,15 и КБН – 0,14 соответственно. Кислица к тому же, наряду с укосным травостоем, показала высокие аккумулятивные способности к Ca (КБП – 0,2).

Женьшень приоритетно аккумулирует из почвы P (КБН – 2,3), Na (КБН – 2,1), Mg (КБН – 1,8). При этом интенсивность накопления P у него максимальная среди сравниваемой выборки растений. Особенно активное накопление P отмечено на пп 1 (КБП – 2,6), а Na (КБП – 2,6) и Mg (КБН – 2,2) – на пп 2. Кроме того, женьшень на пп 2 максимально среди опробованного флористического состава поглощает Fe (КБН – 0,005) и K (КБН – 0,015), что соответственно в 2 и 3 раза выше средних значений коэффициента для пробной площади.

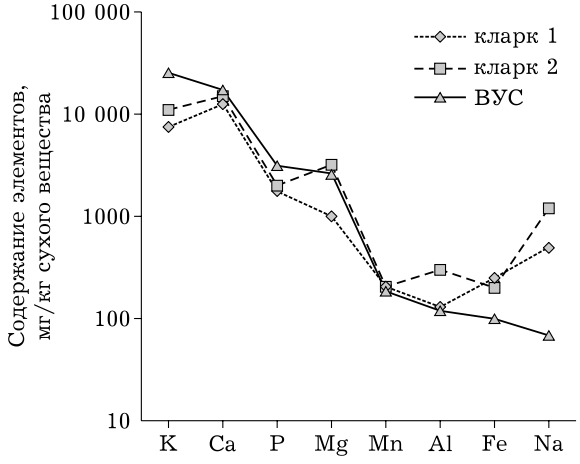


Рис. 4. Спектры химических элементов в растениях ВУС относительно их кларковых значений

ОБСУЖДЕНИЕ

Основные закономерности формирования элементного состава растений

Судя по имеющимся литературным данным [Bowen, 1966; Добровольский, 1998; Ромашкевич, 1988] и приведенным на рис. 4 спектрам содержаний элементов, растения стационара превосходят мировые кларки по калию (в 2–3 раза) и фосфору (почти в 2 раза), но существенно уступают им по содержанию натрия (в 7–17 раз относительно приведенных разными авторами значений кларков) и железа (до 2,5 раза).

Установленные отличительные особенности в накоплении элементов разными жизненными формами растений во многом обусловлены как размерами их надземных и подземных органов и, следовательно, разной площадью взаимодействия со средой и потенциальными возможностями аккумуляции химических элементов, так и видовой биогеохимической спецификой растений.

Если же сравнивать в целом деревянистые растения (деревья, кустарники, лианы) и травянистые (см. табл. 1, рис. 1), то самые большие отличия наблюдаются в существенном накоплении (до 2 раз) в деревянистых растениях Mn (125 мг/кг против 263 мг/кг), в травянистых – Na (43 мг/кг против 88 мг/кг). В меньшей степени (1,5-кратно) такая закономерность сохраняется у деревянистых растений по отношению к Al, у травянистых – для K.

Высокое содержание Mn в древесных растениях (особенно хвойных) обычно связывают с высоким содержанием в них таннидов – дубильных веществ, активирующих внутриклеточный обмен и регулирующих окислительно-восстановительные процессы этих видов [Леванидов, Давыдов, 1961].

Согласно результатам исследований травянистых растений, укосный травостой и виды-спутники женьшеня слабо отличаются по активности накопления макроэлементов. Однако при оценке особенностей накопления химических элементов травянистыми растениями в целом укосный травостой является более точным показателем эколого-геохимических условий среды.

Интересно также отметить, что листья женьшеня в условиях ВУС по сравнению с полученными нами ранее данными по элементному составу листьев в нескольких природных популяциях женьшеня в Приморском крае [Шихова и др., 2020] весьма существенно превосходят их по содержанию P (3914 мг/кг в условиях ВУС и 1100 мг/кг в среднем для Приморского края) и менее значимо – K (29555 и 21000 мг/кг соответственно). В то же время они уступают по содержанию Ca (18500 мг/кг на территории ВУС и 36000 мг/кг в среднем по Приморью) и Mg (1717 и 2200 мг/кг соответственно). В этом проявилась популяционная геохимическая специфика женьшеня на территории стационара.

Региональные особенности элементного состава почв ВУС

К великому сожалению, из обширной базы литературных источников по растительности и почвам ВУС, опубликованных преимущественно в 70–80-е годы XIX столетия, оказалось крайне мало данных, которые можно было использовать для сравнения с полученными нами. Причин этого много: утеряны первичные материалы по многим пробным площадям, заложенным при основании стационара; ушли из жизни специалисты, работавшие многие годы на стационаре, которые могли бы дать необходимые пояснения; весьма существенно изменились методы химического анализа и чувствительность анализа, что ведет к большим погрешностям при сравнении результатов и т. д.

Для сравнения полученных нами результатов с аналогичными данными других исследователей мы все-таки воспользовались некоторыми литературными источниками. В монографии известного дальневосточного почвоведа Г. И. Иванова [Иванов, 1976] приведены материалы по валовому составу почв Приморского края и южной части Дальнего Востока. Судя по данным монографии, почвы стационара уступают по валовому составу большинства элементов (особенно Na_2O, Al_2O_3, Fe_2O_3) в 1,5–2 раза горным буро-лесным почвам Дальнего Востока, превосходя их лишь по содержанию P_2O_5 (до 1,5 раза).

Для оценки содержания железа в почвах стационара с другими регионами были использованы данные обобщающей монографии С. В. Зонна [Зонн..., 1982]. Согласно содержащимся в ней материалам, валовое содержание Fe в зависимости от типа почв и генетического горизонта варьирует в широком диапазоне значений: в почвах мира – в пределах 0,92–52,5 %, в почвах Дальнего Востока – 4,39–7,58 %. Выполненный нами статистический анализ содержащегося в монографии фактического материала по накоплению Fe в верхних горизонтах почв мира показал, что среднее его содержание (52 значения) составляет 9,46 % и варьирует от 0,65 до 18,3 %, что почти в 3 раза по средним данным и до 4 раз относительно максимальных значений превышает содержание Fe в почвах ВУС.

На рис. 5 представлен спектр макроэлементов исследованных нами почв и кларковые константы для почв мира по данным разных авторов.

Следует заметить, что в настоящее время еще не разработан единый мировой кларк почв “reference soil”, равно как и региональный кларк почв Приморского края. Для сравнительной оценки полученных данных чаще всего используется кларк почв мира А. П. Виноградова [1957] и несущественно модифицированные по ряду элементов его варианты, изложенные в работах других авторов [Беус и др., 1976; Скляров и др., 2001; Шеуджен, 2003; и др.]. Если сравнить содержания элементов в почвах стационара с кларками почв мира, наблюдается весьма значимое их обогащение: P – 2,2 раза, Mn – 2,0 раза, Na – 1,7 раза, в меньшей степени – K (1,3 раза), но незначительное оскудение Al (1,3 раза). Содержания Ca, Ti и Fe близки кларкам почв мира.

К оценке содержания в почвах стационара Mn необходимо сделать некоторое пояснение. В работе дальневосточного почвоведа В. И. Голова [2010] приведен, наряду с 10 микроэлементами, региональный кларк почв Дальнего Востока для Mn, составляющий 1510 мг/кг сухого вещества. Следовательно, содержание Mn в обследованных почвах ВУС существенно превосходит мировой кларк, но весьма близко региональному кларку почв.

При сравнении почв стационара с почвами России и ближнего зарубежья [Кудрин, 1963; Беус и др., 1976] отмечен близкий количественный состав для большинства элементов. Исключением являются лишь содержания Pb, Mn и Ti, в 1,5–2 раза превосходящие приведенные авторами значения для других российских территорий.

Обнаруженные отличия химического состава почв и растений обследованных пробных площадей (см. рис. 3) обусловлены рядом причин. Кроме указанных особенностей геоморфологии, состава растительности, приоритетной причиной, возможно, является некоторое своеобразие геологических условий сравниваемых территорий. Известно, что состав почвообразующих пород, на которых формируются почвы, во многом определяет их химическое наполнение.

Согласно литературным данным [Триас..., 2004], подстилающие породы почв пп 1 представлены отложениями норийского яруса триаса (T_3) – песчаниками, гравелитами, конгломератами, алевролитами, кремнистыми породами. Почвы же пп 2 сформированы на породах окраинской свиты юрских отложений (J_{1-2} ok) – трещиноватыми песчаниками, алевролитами с обломками и глыбами известняков, кремней, габброидов, кремнистыми породами, туфами и лавами основного состава.

Несомненно, что указанная специфика сравниваемых пробных площадей нашла отражение не только в формировании химического состава почв, но также и растений. А вот на состав опада в большей степени, по нашему

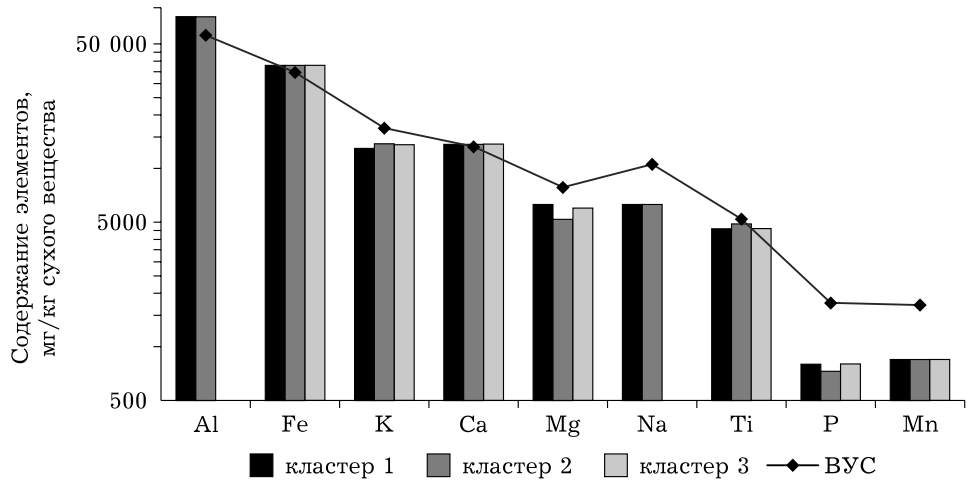


Рис. 5. Среднее содержание макроэлементов в почвах ВУС и их кларковые показатели.
ВУС – Верхнеуссурийский стационар; кларк 1 – по А. П. Виноградову [1957], кларк 2 – по Е. В. Склярову и др. [2001], кларк 3 – по А. Х. Шеуджену [2003]

мнению, оказали влияние особенности видового состава фитоценозов пробных площадей.

На высокое содержание Ca и P в опаде елово-широколиственных лесов Южного Приморья указывает А. П. Сапожников [1973], но их общий запас в опаде обусловлен видовым составом основных лесообразователей. Так, например, не смотря на то что Ca накапливается в опаде всех пород, в хвойном опаде пихт его содержание выше, чем в листовом опаде липы, березы и дуба. В отличие от Ca, содержание P в опаде хвойных и лиственных пород почти не отличается. Накопление же Mg наблюдается лишь в хвойном опаде ели и кедра, а также в листовом опаде березы.

Особенности биогенной миграции химических элементов на территории ВУС

Концентрация элементов в растениях в конечном итоге определяется поглотительной способностью растений и последующей вовлеченностью элементов в процессы их метаболизма и роста. Согласно обобщающим данным, содержащимся в табл. 3, на исследованной территории представлен почти полный спектр биологической аккумуляции элементов – от очень слабого биологического захвата (Al, K, Fe) до сильного биологического накопления (Mg, Na, P).

Обращают на себя внимание некоторые отличия в накоплении элементов растениями в разных условиях произрастания: P, Ca, Mn и K более активно накапливают растения на пп 1, которая отличается большим участием в составе древостоя кленов и разнотравно-папоротниковым нижним ярусом, а Na и Mg – на пп 2, для которой характерны редкопокровный травостой и высокая доля участия в составе кустарникового яруса чубушника.

В целом же, по сравнению с геохимической классификации А. И. Перельмана [1979], исследованный нами состав растений и почв ВУС слабее (примерно на порядок) аккумулирует из почвы Ca, Al и P, значительно слабее (почти на 2 порядка) – Fe, но особенно слабо (на 2–3 порядка) – K. Такие отличия обусловлены, по нашему мнению, в большей степени разными величинами, использованными при расчете показателей биологической активности растений. Классификация А. И. Перельмана построена на данных, характеризующих средний химический состав золы живых организмов планеты относительно кларков твердой земной коры. В наших исследованиях в основу положены воздушно-сухой состав растений и почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены закономерности формирования макроэлементного состава растений, опада и почв лесных экосистем Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара (Приморский край) как одного из характерных мест естественного произрастания женьшеня настоящего (*Panax ginseng*) в пределах Южного Сихотэ-Алиня.

Установлено, что растения исследованной территории максимально накапливают K (25309 мг/кг сухого вещества), минимально – Fe (99 мг/кг) и Na (68 мг/кг); лесной опад – Ca (24828 мг/кг) и Mn (605 мг/кг) соответственно. В почвах отмечено самое высокое содержание Al (56041 мг/кг) и Fe (34680 мг/кг), но низкое – P (1763 мг/кг) и Mn (1717 мг/кг).

По сравнению с мировыми кларками исследованный флористический состав отличается повышенным содержанием K (до 3 раз) и P (в 2 раза), но уступает по содержанию Na (7 раз) и Fe (до 2,5 раза). Химический состав растений во многом зависит от принадлежности к биоморфе: для древесных видов характерна высокая аккумуляция Al и Mn, кустарников – Ca и Mg, травянистых видов – Na. В связи с этим при проведении сравнительных оценок растительного покрова целесообразнее сопоставлять близкие жизненные формы растений. При оценке особенностей накопления химических элементов травянистыми растениями более точным индикатором эколого-геохимических условий среды является укосный травостой.

Эколого-геохимическая специфика женьшеня проявилась по сравнению с общим макроэлементным составом растительности стационара в повышенном содержании Fe и Na (почти в 2 раза), а также Al (в 1,6 раза), но более низком – Mn (до 3 раз) и Mg (до 1,5 раза). При сравнении женьшеня с травянистыми растениями отмечена аналогичная закономерность в накоплении и рассеянии элементов,

но менее выраженная в количественном отношении. Из травянистых видов-спутников женьшеня наиболее близки ему по химическому составу *Oxalis acetosella*, *Maianthemum intermedium* и *Phryma asiatica*.

Почвы стационара относительно кларка почв мира обогащены P (2,2 раза), Mn (2,0 раза), Na (1,7 раз), незначительно – K (1,3 раза), но несколько уступают им по содержанию Al (1,3 раза). В почвах в большей степени, чем в растениях, наблюдается неоднородность макроэлементного состава двух обследованных территорий. На пп 2 по сравнению с пп 1 зафиксировано повышенное содержание более половины состава элементов, особенно Ti и Ca (в 1,7–1,8 раза), в меньшей степени – Fe и Mg (в 1,3–1,4 раза).

Лесной опад по балансу большинства элементов существенно превосходит растения, особенно по количеству Al, Fe и Na (20–40 раз и более), но уступает почвам по всем элементам, кроме Ca и P, от 3 раз (Mn, Mg) до 8–10 раз (Fe, Na, Al). В то же время опад близок с растениями по содержанию Mg, с почвами – P. Лишь содержание Ca в опаде в 2 раза превышает его уровень в почве и до 1,5 раза – в растениях.

Интенсивность биологического накопления элементов растениями изменяется в широком диапазоне значений: от КБН – 0,001 (Al – элемент слабого биологического захвата) до КБН – 2,7 (Na – элемент сильного биологического накопления). Растительность стационара по сравнению с рядами биологического поглощения элементов А. И. Перельмана [1979] примерно на порядок слабее накапливают Ca, Al и P, значительно слабее (почти на 2 порядка) – Fe и особенно слабо (на 2–3 порядка) – K.

Женьшень интенсивнее других видов аккумулирует из почвы P (КБП – 2,3), Na (КБП – 2,1) и Mg (КБН – 1,8), показатели которых соответствуют элементам сильного биологического накопления. Кроме того, он свыше 2 раз активнее остальных видов накапливает K (КБН – 0,008) и до 1,5 раз – Fe (КБН – 0,005).

Благодарности

В ходе полевых исследований помощь в сборе материала и охране от диких зверей участвовали технические сотрудники Верхнеуссурийского стационара, за что авторы выражают им искреннюю благодарность.

Вклад авторов

Шихова Н. С. принимала непосредственное участие в сборе полевого материала, первичной обработке и подготовке к химическому анализу проб почв и растений, систематизации результатов полевых исследований и полученных аналитических данных, их обобщению в виде рукописи статьи; Бурундукова О. Л. участвовала в организации полевых исследований, сборе полевого материала, в подготовке рукописи к публикации; Зарубина Н. В. отвечала за химико-аналитические исследования проб почв и растений.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7 “Биоразнообразие и ресурсный потенциал наземной биоты Восточной Азии” и тема № 124012200181-4 “Научные основы биотехнологий и бионанотехнологий для рационального природопользования, увеличения продолжительности и качества жизни”).

Соблюдение этических стандартов

В данной работе отсутствуют исследования человека и животных.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

Беус А. А., Грибовская Л. И., Тихонова Н. В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976. 248 с.

Бугаец А. Н., Пшеничникова Н. Ф., Терешкина А. А., Лупаков С. Ю., Гарцман Б. И., Шамов В. В., Гончуков Л. В., Голодная О. М., Краснопеев С. М., Кожевникова Н. К. Цифровое почвенное картографирование для целей гидрологического моделирования на примере экспериментальных водосборов (юг Приморского края) // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1085–1096.

Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.

Гавренков Г. И. К характеристике почв Верхнеуссурийского стационара // Стационарные исследования в лесах Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 18–25.

Гладкова Г. А., Сибирина Л. А., Омелько А. М., Жмеренецкий А. А., Ухваткина О. Н., Куприн А. В. Формирование и фракционный состав древесного опада в кедрово-широколиственных лесах Южного Сихотэ-Алиня // Лесоведение. 2025. № 5. С. 643–655.

Голов В. И. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в пахотных почвах Дальнего Востока // Вестн. РАСХН. 2010. № 4. С. 16–19.

Грушвицкий И. В. Женьшень: вопросы биологии. Л.: Изд-во АН СССР, Сиб. отд-ние ДВФ им. В. Л. Комарова, 1961. 342 с.

Добровольский В. В. Основы биогеохимии: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1998. 413 с.

Журавлев Ю. Н., Гапонов В. В., Фоменко П. В. Женьшень Приморья // Ресурсы и организация воспроизводства. Владивосток: Апельсин, 2003. 48 с.

Зонн С. В. Железо в почвах (генетические и географические аспекты). М.: Наука, 1982. 208 с.

Иванов Г. И. Почвы Приморского края. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1964. 107 с.

Иванов Г. И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Колесников Б. П. Растительность // Дальний Восток: Физико-географическая характеристика. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 183–245.

Костенкова А. Ф. Зольный состав кедрово-широколиственных лесов и биологический круговорот веществ // Структура и продуктивность лесных биогеоценозов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 71–88.

Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Владивосток: АВК “Апельсин”, 2008. 688 с.

Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [и др.]; отв. ред. Д. В. Гельтман. 2-е офиц. изд. М.: ВНИИ “Экология”, 2024. 944 с.

Кудрин С. А. Средний химический состав основных типов почв Европейской части СССР по валовым анализам // Почвоведение. 1963. № 5. С. 21–25.

Леванидов Л. Я., Давыдов С. Т. Марганец как микроэлемент в связи с биохимией и свойствами таннидов. Челябинск: Челябинское кн. изд-во, 1961. 187 с.

Перельман А. И. Геохимия: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1979. 423 с.

Романкевич Е. А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. 1988. № 2. С. 292–306.

Сапожников А. П. Зольный состав хвои и листьев в елово-широколиственных лесах Южного Приморья // Физиология и экология древесных растений Приморья: тр. Биолого-почвенного института ДВНЦ АН СССР. Новая серия. 1973. Т. 16 (119). С. 129–133.

Скляров Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Иванов А. В. Интепретация геохимических данных: учеб. пособие / под ред. Е. В. Склярова. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.

Сосудистые растения Советского Дальнего Востока. В 8 т. / под ред. С. С. Харкевича. СПб.: Наука. С.-Петербург. отд-ние, 1985–1996.

Терешкина А. А., Пшеничникова Н. Ф., Бугаец А. Н., Голодная О. М., Краснопеев С. М. Цифровая почвенная карта водосбора реки Соколовка (территория Верхнеуссурийского стационара ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН) // Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке. Вып. 1 / отв. ред. П. Я. Бакланов. Владивосток: Дальнаука, 2019. С. 126–136.

Триас и юра Сихотэ-Алиня. Кн. 1. Терригенный комплекс = Terrigenous assemlage / под ред. П. В. Маркевич, Ю. Д. Захарова. Владивосток: Дальнаука, 2004. 417 с.

Федина Л. А., Бурундукова О. Л. *Panax ginseng* (Araliaceae) в отрогах Южного Сихотэ-Алиня: Уссурийский заповедник (Приморский край) // Изв. Иркутского гос. ун-та. Серия: Биология. 2020. Т. 32. С. 35–49.

Шеуджен А. Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП “Адыгея”, 2003. 1028 с.

Шихова Н. С., Бурундукова О. Л., Бутовец Г. Н., Зарубина Н. В., Полякова Н. В. Особенности элементного состава листьев *Panax ginseng* (Araliaceae) в природных популяциях Приморского края // Раст. ресурсы. 2020. Т. 56, вып. 3. С. 257–269.

Яковлева А. Н. Модель пространственной структуры растительности территории Верхнеуссурийского стационара // Экология. 2010. № 4. С. 271–280.

Bowen H. J. M. Trace elements in biochemistry. New York-London: Academic Press, 1966. 241 p.

Hei J., Li Y., Rui R., Faisal N., Peng J., Wang B., Wang S., He X. The cultivation of Panax notoginseng enhances the metabolites and microbial network complexity in the soil of Pinus armandii rather than Pinus kesiya // Front. Microbiol. 2025. Vol. 16. 1616266.

Kim C., Choo G. C., Cho H. S., Lim J. T. Soil properties of cultivation sites for mountain-cultivated ginseng at local level // J. Ginseng Res. 2015. Vol. 39. P. 76–80.

Pang F., Gao Y., Zhuang Z., Li C., Zhao Y., Liu Q. Microecological mechanisms of mountainous forest cultivated ginseng growth vigor and saponin accumulation, and the characterization of bionic microbial fertilizer // Front. Microbiol. 2025. Vol. 16. 1548481.

Sun H., Wang Q. X., Liu N., Li L., Zhang C. G., Liu Z. B., Zhang Y. Y. Effects of different leaf litters on the physicochemical properties and bacterial communities in Panax ginseng-growing soil // Appl. Soil Ecol. 2017. Vol. 111. P. 17–24.

Thyroff E. C., Griscom H. P. Experimental Study of Soil and Aspect on American Ginseng in an Appalachian Cove Ecosystem // Nat. Areas J. 2019. Vol. 39, N 3. P. 378–383.

Features of the macroelement composition of plants and soils in the zones of natural growth of ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) based on the study of forest ecosystems of the Verkhneussuri station (Primorsky Territory)

N. S. SHIKHOVA[1], N. V. ZARUBINA[2], O. L. BURUNDUKOVA[1]

[1]*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences* (*FSCEATB FEB RAS*)
159, Stoletiya Vladivostoka st., Vladivostok, 690022, Russia
E-mail: shikhova@biosoil.ru

[2]*Far East Institute Geology FEB RAS* (*FEGI FEB RAS*)
159, Stoletiya Vladivostoka st., Vladivostok, 690022, Russia

This paper examines certain aspects of the ecological and0 geochemical specificity of forest ecosystems in the Southern Sikhote-Alin within the natural habitats of ginseng (*Panax ginseng*). Using the territory of the Verkhneussuriysky Biogeocenological Station of the FEB RAS (Primorye Territory) as a case study, the patterns governing the formation of the macroelement composition (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K, Na, P) in dominant plant species, soils, and forest litter are analyzed. The plants exhibit maximum accumulation of K, Ca, P, and Mg, and minimal accumulation of Na. The average content of P and K in the analyzed plant samples surpasses world clarkes by a factor of 2–3 but is 7 times lower in Na content and up to 2.5 times lower in Fe content. Ginseng is distinguished by an elevated content of Fe, Na, and Al, and weak accumulation of Mn and Mg. The element accumulation by plants is closely related to their life form. More actively, woody species accumulate Al and Mn, shrubs accumulate Ca and Mg, while herbaceous species accumulate Na. Compared to world soil clarkes, the soils of the study area are enriched in Na, P, and Mn (by a factor of 1.7–2) but are slightly deficient in Al content (by a factor of 1.3). The accumulation order of chemical elements in soils is headed by Al and Fe, and finished by P and Mn. The litter is characterized by the highest Ca content, which is almost 1.5 times higher than its level in plants and up to 2 times higher than in soil. As for other macroelements, litter is from 3 (Mg, Mn) to 9–10 times (Na, Al) inferior to their content in soils. Compared to plants, the litter is significantly enriched in Al and Fe (up to 40 times or more), as well as Na (up to 20 times), but is close to them in Mg content.

Key words: geochemical ecology, phytogeochemistry, chemical composition of plants and soils, macroelements, forest litter, *Panax ginseng*, Southern Sikhote-Alin.