

6. Положий А. В. Остролодочник – *Oxytropis* DC. // Флора Сибири. Т. 9: *Fabaceae (Leguminosae)*. Новосибирск, 1994. С. 74–150.
7. Сараева Л. И., Горюнова С. В. Сосудистые растения биосферного заповедника «Даурский» и заказника «Цасучейский бор» // Ботанические исследования в Даурском заповеднике. Вып. 4. Чита, 2007. С. 38–138.
8. Фризен Н. В. Лук – *Allium* L. // Флора Сибири. Т. 4. *Araceae – Orchidaceae*. Новосибирск, 1987. С. 55–96.
9. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 922 с.

УДК 550.47
ББК Е 072.8

*Р. А. Филенко,
Г. А. Юргенсон*

Первые данные о биогеохимии растений Каменско-Черновского пегматитового поля (Восточное Забайкалье)

В статье рассматривается биогеохимия некоторых типичных растений горно-таежного ландшафта Каменско-Черновского пегматитового поля. Для него характерно наличие пегматитовых жил с редкометалльной минерализацией. В корах выветривания, рыхлых отложениях и почвах содержание ряда редких (Li, Ta, Nb) и редкоземельных химических элементов также повышенное. Установлено, что геохимическая специализация геологического субстрата в виде ассоциаций редких химических элементов отражается и на биогеохимии растений. Концентрация в растениях, даже таких слабоподвижных, со слабым биологическим захватом элементов, как титан и цирконий, увеличивается по мере увеличения содержания элемента в геологическом субстрате. Биогеохимия биофильных макро- и микроэлементов во многом зависит от ландшафтных условий и геохимической специализации вмещающих горных пород.

Ключевые слова: биогеохимия, пегматитовое поле, ландшафт, миграция химических элементов, ИСП-анализ, редкие элементы.

*G. A. Yurgenson,
R. A. Filenko*

The First Data about Biogeochemistry of Plants of the Kamensko-Chernovskoye Pegmatitic Field (Eastern Transbaikalia)

Biogeochemistry of some typical plants of mountain-taiga landscape Kamensko-Chernovskoye pegmatite fields is considered in the article. Pegmatite veins with rare metals mineralization are characteristic of it. In barks of aeration, friable adjournment and soils the maintenance of some rare and rare-earth chemical elements increased. It is established, that geochemical specialization of a geological substratum in the form of associations of rare chemical elements is also reflected in biogeochemistry of plants. Concentration of elements such as Ti and Zr in sedentary plants with weak biological capture increases in the process of growing concentration of an element in a geological substratum. Biogeochemistry of biophil macro and micro elements depends mainly on landscape conditions and geochemical specialization of containing rock.

Key words: biogeochemistry, pegmatite field, landscape, migration of chemical elements, ICP-analysis, rare elements.

Вопрос о биогеохимической специализации растительных организмов, развитых на геохимически специализированных горных породах, имеет важное научное значение в области теоретической и прикладной биогеохимии. Одним из направлений последней

являются биогеохимические методы поисков полезных ископаемых. Главной задачей этого направления является разработка критериев и рекомендаций по использованию информативных биообъектов на тот или иной химический элемент или его элемент-спутник.

Эта проблема рассматривается во многих публикациях о накоплении растениями химических элементов на различных геохимически специализированных субстратах. Интересными в этом отношении являются пегматиты, в которых в ходе пегматитообразования происходит концентрация редких и рассеянных химических элементов. В итоге даже небольшие по мощности пегматитовые жилы, часто образующие поля пегматитов, обуславливают специфический геохимический фон с повышенным содержанием таких редких и рассеянных элементов, как Li, Rb, Cs, Be, Nb, Ta, Zr, Hf, Th, U, Sc и др. Пегматиты могут быть специализированы и на редкие земли. Большинство из перечисленных элементов (по классификации А. И. Перельмана) являются мало- или слабоподвижными мигрантами со слабой и очень слабой степенью биологического поглощения.

Однако этим же исследователем не исключается участие их в биологическом круговороте и подчеркивается, с одной стороны, их очень слабая изученность, а с другой – то, что по мере совершенствования аналитической техники и накопления фактических данных может быть установлена их важная роль в функционировании ландшафта. Миграция большинства редких и рассеянных элементов затруднена еще и тем, что они входят в состав очень устойчивых к выветриванию минералов. Поэтому в зоне гипергенеза они накапливаются в элювии или мигрируют механическим путем, образуя в благоприятной обстановке россыпи. Но эти же элементы в условиях влажного таежного климата могут участвовать и в коллоидной миграции, частично входя в состав органических соединений, таких, как хелаты [3].

Интересные примеры, иллюстрирующие биологическую миграцию редких элементов, приведены в «Геохимии ландшафта», где показано, «... что на редкоземельном ториевом месторождении в золе растений содержится до 0,1 % TR и Th, на месторождениях редкометалльных пегматитов 0,0n-0,00n % Zr и Nb, 0,0n % Ta. Установлено, что даурская лиственница концентрирует ниобий, а на почвах с высоким содержанием тория растут гигантские осины со стволами толщиной 70 см и диаметром листьев 30 см. На Среднем Тимане на участках редкометалльного оруденения было обнаружено повышенное содержание ниобия в березе и чернике (при низком содержании в ивах, ели, сфагнуме). Ниобий в этих ландшафтах мигрирует в виде комплексных соединений с гумусовыми веществами (изучены водные ореолы)» [3, с. 384].

Исследованиями Скрибера и Робинсона также доказано, что, например, зола листьев орешника, растущего на пегматитовой жиле, действительно обогащена редкими землями, в отличие от золы из других образцов растительного материала, взятых в стороне от жилы [1]. В золе листьев этого дерева находили до 2,5 % TR, причем была замечена тенденция к накоплению TR в листьях гикори по мере уменьшения Са в почвах.

Противоречащие результаты получил Сахама, который собрал много образцов листьев с берез, произрастающих в Финляндии [2]. Оказалось, что лантаноиды отсутствовали во всех образцах. В оптических спектрах этих образцов обнаружены только очень неясные линии лантана и минимальные следы иттрия.

В отношении поисков слюдоносных пегматитов В. А. Макрыгин и др. (1990), ссылаясь на В. А. Загоскина и др. (1971), подчеркивают, что биогеохимическими ореолами сопровождаются только калишпатсодержащие пегматитовые тела [4]. При этом лучшими элементами-индикаторами отмечают редкие щелочные элементы, причем, вблизи пегматитовых тел возрастают концентрации Cs относительно концентраций Li и Rb. Главным растением-концентратором указывается ольха (листья).

Материал и методы. Каменско-Черновское поле гранитных пегматитов расположено к северо-западу от Читы, на юго-восточных отрогах Яблонового хребта, в пределах водосборных бассейнов ручьев Черновка, Жерейка и Кадалинка. Исследуемая территория

занимает площадь около 120 км² и характеризуется горно-таежными ландшафтами с абсолютными высотами от 850 до 1150 м над уровнем моря, резко континентальным климатом с преобладающим западным и северо-западным переносом воздушных масс и неравномерным выпадением атмосферных осадков по сезонам года.

Нами в ходе ландшафтно-геохимических исследований на территории Каменско-Черновского пегматитового поля была сделана попытка выяснить, отражается ли геохимическая специализация пегматитов на биогеохимии растений. Для исследования использованы типичные для данной территории виды, которые отбирались либо целиком, либо брались доступные биообъекты (органы) древесных, кустарниковых и травянистых многолетних растений. Пробные площадки находились в пределах проявления пегматитовых жил с редкометалльно-редкоземельной минерализацией. Выходы пегматитов, как правило, приурочены к элювиальным водораздельным элементарным ландшафтам. В связи с этим площадки закладывались в крест простирания пегматитовых жил в сопряженных по склону элювиальных (автономных), трансэлювиальных (склоновых) и элювиально-аккумулятивных (долинных) ландшафтах.

Растительные пробы при необходимости мылись и высушивались до воздушно-сухого состояния, затем измельчались, перемалывались до состояния пудры, после чего подвергались микроволновому разложению в водный раствор, чтобы исключить выход летучих элементов. Раствор анализировался ICP-анализом на 21 элемент в аналитическом центре Хабаровского института тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer.

Особо отметим, что среднее содержание химических элементов в растениях, вычисленное на основе анализа их золы, нуждается в коренном пересмотре. Как результаты, объективно отражающие содержание их в биоте, могут быть использованы только анализы растворов, полученных непосредственно из растений без озоления, в процессе которого неизбежно теряется неопределенная часть летучих элементов и их соединений, образующихся при этом.

Результаты и их обсуждение. Статистические характеристики (табл. 1) содержания химических элементов в наиболее распространенных видах растений показали, что концентрация элементов в растительных пробах различается на порядки, колеблясь от 0,00n до 100×n мг/кг. Высокий уровень концентрации характерен для Mn, Zn и Sr во всех рассматриваемых биообъектах при общем ряде накопления **Mn > Sr > Zn**, что не согласуется с мировыми кларками, где цинка больше, чем стронция. В целом же можно говорить, что все пробы показывают содержания ниже кларковых.

Таблица 1

Содержание (мг/кг) химических элементов в некоторых биообъектах района Каменско-Черновского пегматитового поля

Элемент/ кларк*	Содержания элементов				
	Лиственница даурская (Гмелина), хвоя, n=9	Сосна обыкновенная, хвоя, n=5	Лист березы плосколистной, n=4	Листья рододендрона даурского, n=4	Листья попыны Гмелина, n=4
Ti/ 1000	$\frac{15,06}{3,01 - 35,09}$	$\frac{9,28}{7,43 - 11,76}$	3,02	9,03	21,82
Sr/ 250	$\frac{1,28}{0,67 - 2,27}$	$\frac{1,13}{1,03 - 1,31}$	0,81	1,08	1,97
Mn/ 7500	$\frac{398,41}{139,60 - 986,54}$	$\frac{446,26}{313,28 - 655,70}$	591,28	771,91	129,89

Элемент/ кларк*	Содержания элементов				
	Лиственница даурская (Гмели- на), хвоя, n=9	Сосна обыкно- венная, хвоя, n=5	Лист березы плосколист- ной, n=4	Листья рододендрона даурского, n=4	Листья полыни Гмелина, n=4
Co/ 15	$\frac{0,13}{0,01-0,21}$	$\frac{0,04}{<0,01-0,10}$	0,27	0,12	0,13
Ni/ 40	$\frac{0,83}{0,24-2,07}$	$\frac{0,33}{<0,10-1,00}$	1,77	2,58	1,22
Cu/ 200	$\frac{5,44}{0,23-18,40}$	$\frac{5,54}{2,86-9,90}$	4,22	5,96	7,86
Zn/ 900	$\frac{19,52}{3,6-35,97}$	$\frac{39,37}{36,38-42,02}$	62,61	23,94	25,46
As/ 30	$\frac{0,23}{0,04-0,99}$	$\frac{0,06}{<0,01-0,18}$	0,10	0,07	0,09
Rb/ 100	$\frac{4,33}{1,81-10,93}$	$\frac{3,42}{0,76-4,90}$	3,10	11,48	6,85
Sr/ 300	$\frac{78,44}{27,83-135,61}$	$\frac{32,19}{14,84-49,15}$	80,31	86,00	75,59
Zr/ 0,6	$\frac{0,45}{0,09-0,98}$	$\frac{0,18}{0,06-0,34}$	0,05	0,16	0,27
Mo/ 20	$\frac{0,03}{0,02-0,07}$	$\frac{0,01}{<0,01-0,03}$	0,03	<0,001	0,24
Cd/ 0,01	$\frac{0,07}{<0,01-0,35}$	$\frac{0,07}{<0,01-0,11}$	0,24	0,20	0,22
Sn/ 5	$\frac{4,63}{0,58-14,19}$	$\frac{1,35}{<0,01-4,04}$	7,38	1,20	9,81
Ce/ -	$\frac{0,41}{0,15-0,90}$	$\frac{0,11}{0,08-0,17}$	0,25	0,19	0,54
Pb/ 10	$\frac{1,01}{0,53-2,13}$	$\frac{0,55}{0,29-0,75}$	0,34	0,79	0,91
Bi/-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01

* Кларк наземной растительности (зола) по справочнику [5].

** В числителе – среднее содержание; в знаменателе – минимальные и максимальные концентрации.

Максимальное содержание Mn наблюдается в листьях рододендрона даурского, а минимальное – в полыни Гмелина. В деревьях ряд концентрации выглядит следующим образом (мг/кг): хвоя лиственницы даурской (398,41) – хвоя сосны обыкновенной (446,26) – листья березы плосколистной (591,28). Минимальное содержание цинка наблюдается в хвое лиственницы при максимуме в листьях березы (62,6 мг/кг). В хвое сосны обыкновенной цинка больше (39,37 мг/кг), чем в листьях рододендрона и полыни (23,9 и 25,5 мг/кг соответственно). Содержание таких элементов, как Se, Sb, Te, W, и Bi, составляет в среднем 0,01–0,05 мг/кг (рис. 1), а в половине проб ниже порога чувствительности ИСП-анализа (<0,001).

Распределение химических элементов в исследуемых биообъектах весьма различно как по органам в одной пробе растения, так и в пробах одного органа, отобранного в разных ландшафтно-геохимических условиях.

При рассмотрении концентрации геохимических пар и групп элементов в растениях выявлены две тенденции: взаимная положительная корреляция и взаимная отрицательная корреляция, при которой идет изоморфное замещение одного элемента другим при недостатке первого.

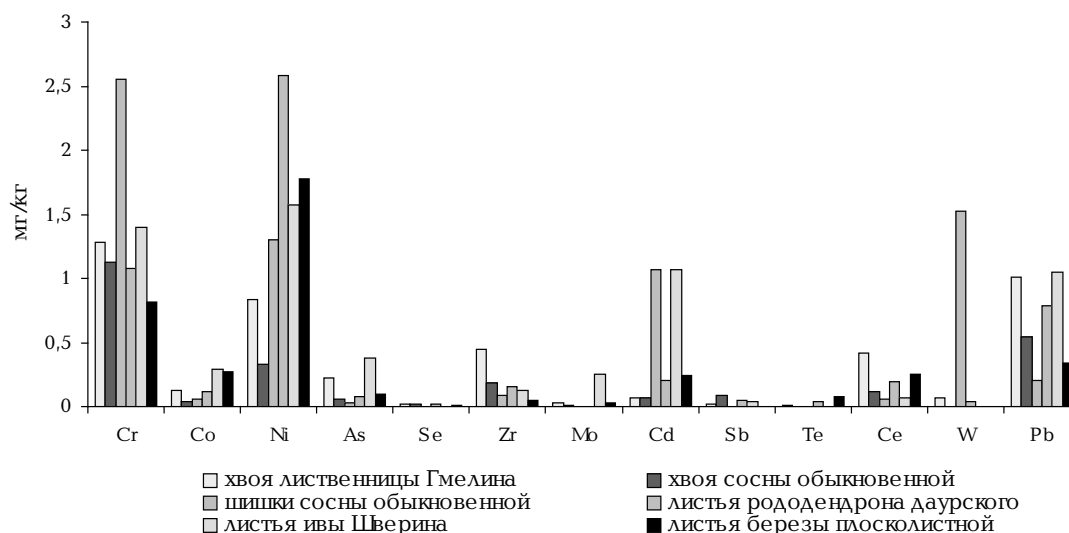


Рис. 1. Распределение некоторых микроэлементов в типичных видах растений района Каменско-Черновского пегматитового поля

Список литературы

1. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 230 с.
2. Геохимические методы поисков рудных месторождений: сб. ст. / под ред. В. И. Смирнова. М.: Изд-во ин-та лит-ры, 1954. 583 с.
3. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1966. 392 с.
4. Слюдоносные пегматиты / В. А. Макрыгина, В. М. Макагон, В. Е. Загорский, Б. М. Шмакин. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. Т. 1. 233 с. (Гранитные пегматиты: в 5 т.).
5. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. В. Кокин, А. Е. Мирошников, В. Г. Прохоров. М.: Недра, 1990. 480 с.