

УДК 581.633.8: 546.59

## НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЗОЛОТА В ШЛЕМНИКЕ БАЙКАЛЬСКОМ

<sup>1</sup>Шеничкина Ю.А., <sup>2</sup>Шеничкин А.Я.

<sup>1</sup>ФГБУН «Центральный сибирский ботанический сад» СО РАН,  
Новосибирск, e-mail: scutel@yandex.ru;

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Томск, e-mail: paya@tpu.ru

Проведено изучение содержания золота методом нейтронно-активационного анализа в почве, а также в лекарственном растении шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis* Georgi, Lamiaceae) (корни, стебель, листья, семена, чашечки), отобранном из естественных мест произрастания (Юго-Западное Приморье, Амурская и Читинская области) и интродуцированного в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (г. Новосибирск). Содержание золота в почве в местах произрастания шлемника изменяется от 13,0 до 448,0 мг/т. Показано, что золото в тех или иных количествах постоянно накапливается в разных частях ш. байкальского в концентрациях от 1,4 до 46,9 мг/т. Прослеживается тенденция уменьшения содержания золота от корней к стеблям, листьям, семенам для ш. байкальского из естественных мест произрастания (возраст растений свыше 20 лет). А для шлемника, интродуцированного в ЦСБС (возраст растений до 7 лет), накопление золота происходит в наземной части растения, особенно в семенах и чашечках. При использовании растений в качестве лекарственных средств необходимо учитывать их микроэлементный состав.

**Ключевые слова:** *Scutellaria baicalensis*, Lamiaceae, лекарственные растения, золото, накопление

## SOME REGULARITIES OF ACCUMULATION OF GOLD IN SCUTELLARIA BAICALENSIS

<sup>1</sup>Pshenichkina Yu.A., <sup>2</sup>Pshenichkin A.Ya.

<sup>1</sup>Central sibirian botanical garden SB RAS, Novosibirsk, e-mail: scutela@yandex.ru;

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: paya@tpu.ru

The study of gold content in soil and in the medicinal plant *Scutellaria baicalensis* Georgi, Lamiaceae (roots, stem, leaves, seeds, cups) was carried out using neutron activation analysis. The plants for the study were selected from natural habitats (South-West Primorye, Amur and Chita region) and introduced in Central Siberian Botanical Garden, SB RAS (Novosibirsk). The gold content in the soil in the habitats of *Scutellaria* varied from 13,0 to 448,0 mg/t. It was shown that gold in various quantities constantly accumulated in different parts of *S. baicalensis* in concentrations from 1,4 to 46,9 mg/t. Gold content decreased from roots to stems, leaves and seeds of *S. baicalensis* from natural habitats (the age of the plant – more than 20 years). As for the *Scutellaria* plants introduced in CSBG (age of the plant – up to 7 years), the accumulation of gold took place in the ground part of the plant, especially in the seeds and cups. When using the plants for medicinal purposes, it is necessary to consider their microelement composition.

**Keywords:** *Scutellaria baicalensis*, Lamiaceae, medicinal plants, gold, accumulation

Микроэлементы в жизнедеятельности организмов могут играть как положительную, так и отрицательную роль. При использовании лекарственных растений важно знать не только количественный и качественный состав их действующих веществ, но и микроэлементный состав. Растения в процессе своего развития могут избирательно накапливать в повышенных концентрациях ряд элементов, в том числе и золото. Механизм воздействия золота на организм человека и его биологическая роль до конца не изучены. Благодаря уникальным физико-химическим, биологическим и биохимическим свойствам наночастицы золота могут быть использованы для доставки противоопу-

холевых, противовоспалительных, анти-микробных средств в терапевтических и диагностических целях [10].

Знания об элементном составе растений могут быть также применены в геологии при поиске месторождений полезных ископаемых биогеохимическим методом и выявления антропогенно измененных территорий [3, 9]. При этом химический и микроэлементный состав растений позволяет вести поиски локальных объектов вплоть до отдельных рудных тел. Древесные и травянистые растения, произрастающие над золоторудными месторождениями и рудными зонами, могут накапливать золото, нередко даже в аномально высоких концентрациях (таблица).

Содержание золота в растениях, произрастающих на золоторудных месторождениях

Месторождение	Растение	Содержание золота, г/т	Литературный источник
Якутия, Куранахское золоторудное	Лиственница (побеги с хвоей)	0,3–0,9	[6]
	Берёза (корни, ствол, ветки)	0,2–0,5	
	Сосна (ствол, побеги с хвоей)	0,2–0,7	
	Осина (побеги)	0,2–0,5	
	Ольха (побеги, семена)	0,5	
	Багульник болотный	0,2–0,8	
	Шиповник (побеги)	0,15	
	Голубика (побеги, ягода)	0,2–0,5	
	Брусника	0,8	
	Черника	0,2	
	Иван-чай	0,3	
Срединный Тянь-Шань, Чаткало-Кураминский район, Шаугаз, золоторудное	Ирга (побеги, кора)	0,008–0,024	[8]
	Жимолость (кора, листья, семена)	0,009–0,075	
	Арча (побеги, семена)	0,007–0,074	
	Шиповник (листья)	0,120	
Срединный Тянь-Шань, Чаткало-Кураминский район, Кочбулак, золоторудное	Боярка (побеги, плоды)	0,014–0,045	[4]
	Жимолость (кора, листья)	0,063–0,215	
	Спирея (листья)	0,400	
Канада, р. Стиран Крик, россыпное	<i>Phacelia sericea</i>	4,0–20,0	[4]
	<i>Oxytropis compestris</i>	1,0–6,0	
	<i>Sedum lanceolatum</i>	1,0–12,0	
Австралия, Томакин Парк, золоторудное	Эвкалипт, акация (листья)	0,11	[4]

Сцинтилляционным эмиссионным спектральным анализом (с.э.с) было показано, что большинство золота в золе растений, отобранных над золоторудными месторождениями, находится в растениях в свободном состоянии [3]. Однако золото, находящееся в растениях в коллоидном состоянии, с.э.с.-анализом не регистрируется. Золото в ионной или коллоидной формах перемещается в почвах за счет циркуляции воды и в результате абсорбции усваивается корнями растений [4]. Было установлено, что скорость перемещения золота в растениях прямо пропорциональна скорости испарения влаги с их поверхности. При этом наибольшая скорость передвижения золота и его концентрация растениями наблюдается весной.

**Цель исследования** – изучить содержание золота в шлемнике байкальском (*Scutellaria baicalensis* Georgi, Lamiaceae) из естественных мест произрастания и при интродукции.

Шлемник байкальский – многолетнее травянистое лекарственное растение. Имеет монголо-даурско-маньчжурский тип ареала. В России встречается в Восточном Забайкалье, Среднем Приамурье, юго-западном Приморье. Основными действующими ве-

ществами растения являются флавоноиды. Настойки из корней шлемника издавна применяются в тибетской, китайской, дальневосточной народной и официальной медицине как гипотензивное, седативное средство, а также как антимуtagenное, ингибирующее образование метастазов средство при лечении онкологических заболеваний [2, 7]. Установлено влияние ряда микроэлементов (алюминия, бария, кобальта, хрома, меди, железа, марганца, молибдена) на накопление флавоноидов в шлемнике байкальском [5]. Определено также, что надземная часть шлемника байкальского является умеренным накопителем алюминия, бария, хрома, меди, железа, марганца, реже ванадия, причем для железа и марганца наблюдаются случаи сверхконцентрирования.

**Материалы и методы исследования**

Материал отбирался из естественных мест произрастания: Приморский край (Чернятино, Пограничный, Комиссарово), Амурская область (Семеновка, Свободный, Благовещенск), Читинская область: Карымский район (Ключи, Бишигино, Матусово, Карымское), Борзинский и Приаргунский районы (Борзя, Ключевское, Тасуркой, Октябрьское), а также интродуцированный в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (г. Новосибирск). Сбор материала производился во время цветения и после созревания семян. Отбор образцов растений и почвы

производился вне рудных месторождений и вдали от населенных пунктов, в местах, незагрязненных техногенными отходами.

Образцы растений промывались дистиллированной водой, высушивались при 80°C в течение двух суток, после чего истирались в агатовой ступке. Озоление материала не проводилось, т.к. при этом образуются комплексные легко летучие соединения золота с углеродом, что приводит к занижению результатов анализов. Определение золота (85 анализов) из почвы и различных частей растения производилось нейтронно-активационным методом в НИИ ЯФ при Томском политехническом университете (аналитик В.И. Резчиков) из навески 50 г воздушно-сухого сырья. Чувствительность НАА  $n \cdot 10^{-9}$  мас. %.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследование уровней накопления золота в почвах и в разных частях шлемника из естественных мест произрастания и при интродукции показало, что золото в тех или иных количествах установлено во всех проанализированных пробах.

Содержание золота в почвах изменяется в широком диапазоне. Наименьшие средние содержания золота отмечены для Приморского края (16,6 мг/т) и ЦСБС (18,9 мг/т). Самое высокое среднее содержание золота в почвах отмечено в Карымском районе Читинской области (172,8 мг/т), здесь можно выделить д. Ключи – 302 мг/т и с. Матусово – 448,0 мг/т. В Амурской области и Борзя-Приаргунском районе Читинской области содержание золота в почвах составило 30,0 и 38,6 мг/т соответственно.

По уровням накопления золота в разных частях шлемника (корнях, стеблях, листьях, семенах, чашечках) можно отметить некоторые закономерности. Для растений из Приморского края, Амурской области, Борзя-Приаргунского района Читинской области наблюдается тенденция к несколько большему накоплению золота в корнях и коре корня. Для растений из Карымского района Читинской области содержания золота в коре корня и цветках близки. Содержание золота в шлемнике, интродуцированном в ЦСБС, в 2–3 раза выше в чашечках и цветках, чем в других частях растений. Не всегда большие содержания золота в почвах дают повышенные концентрации его в растениях.

Для характеристики отношения содержания какого-либо элемента в организме к содержанию его в окружающей среде определяют коэффициент биологического накопления (КБН). В естественных местах произрастания шлемника КБН золота для разных частей растения много меньше единицы. Для Приморского края, Амурской

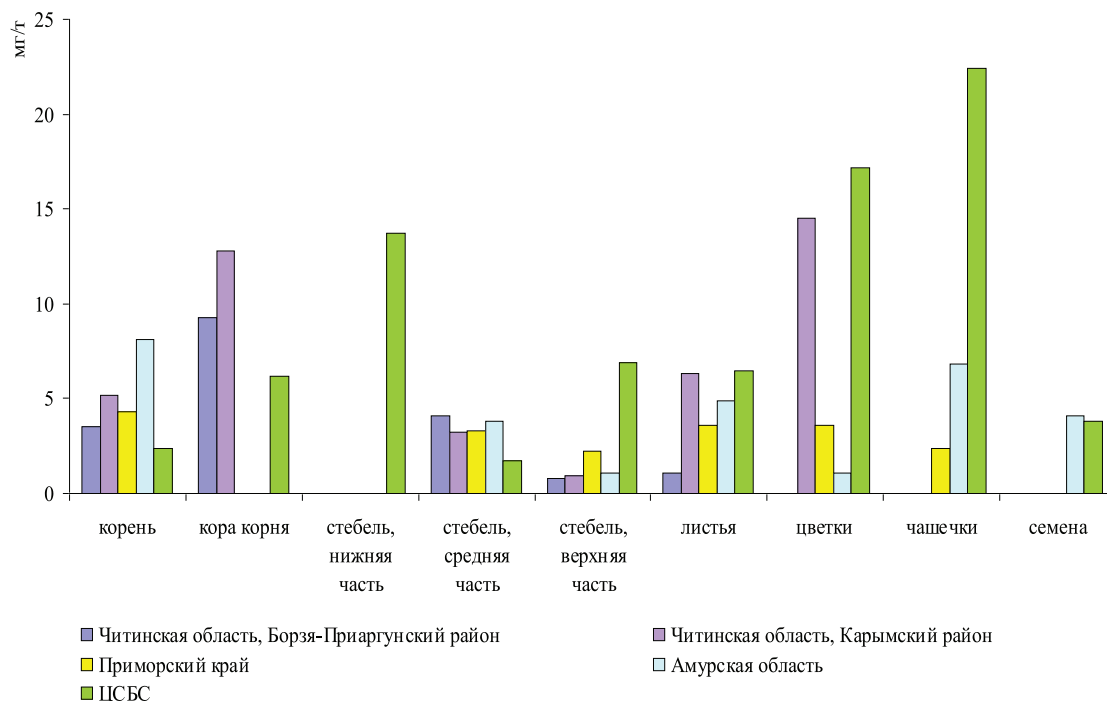
области и Борзя-Приаргунского района самый низкий КБН отмечен для верхних частей стебля в пределах от (0,13; 0,44; 0,02 соответственно). Для корня КБН золота для этих местообитаний несколько выше (0,26; 0,27; 0,10 соответственно). Для коры корня растений Борзя-Приаргунского района КБН составил 0,24. Для растений из популяций шлемника Карымского района КБН на порядок ниже: 0,005 для верхней части стебля и не превышает 0,07 для остальных частей растения, кроме цветков, где он повышается до 0,38. И только для надземной части растений из ЦСБС КБН близок к единице и даже превышает её: нижняя часть стебля – 0,73, цветки – 0,92, чашечки – 1,19). Для остальных частей интродуцированных растений КБН золота изменяется в пределах от 0,09 для средней части стебля до 0,37 для верхней части стебля. КБН для корней растений из ЦСБС – 0,13, для коры корня – 0,33.

Низкие концентрации золота в шлемнике, возможно, свидетельствуют о том, что растение обладает антиконцентрационным барьером, не допускающим накопление элемента выше токсичных для данного растения концентраций [1, 3]. Также установлено, что кальций выполняет роль элемента-антагониста по отношению к золоту и другим элементам [8]. Аномальные концентрации кальция в почвенных водах уменьшают миграцию золота, что влияет на его накопление растениями.

Содержание золота в корнях шлемника изменяется в пределах 1,3 до 11,4 мг/т, и оно для природных местообитаний чаще несколько выше, чем для других частей растения (рисунок).

Нужно отметить, что исследованные особи шлемника из естественных мест произрастания имели возраст более 20 лет, растения, интродуцированные в ЦСБС, были более молодыми (возраст до 7 лет).

Корни шлемника из разных мест произрастания имеют близкие средние содержания золота – 3,5–8,1 мг/т. В молодых корнях интродуцированных в ЦСБС растениях концентрация золота в 2–3 раза ниже, чем в старых корнях растений природных местообитаний. Установлено, что золото накапливается в коре корня в 2–3 раза больше, чем в остальной части корня, средние содержания – 6,2–12,8 мг/т. При этом уровень накопления золота в корнях шлемника имеет, вероятно, определенный предел и не зависит от содержания его в почвах.



Содержание золота (мг/т) в шлемнике байкальском из разных мест произрастания

Уровни накопления золота в разных частях стебля шлемника различны (рисунок). Так, в нижней части стебля содержание золота у интродуцированных растений из ЦСБС достигает значений, близких к содержанию золота в почвах и в 5,7 раза выше, чем в корнях. В средних частях стебля концентрация золота несколько ниже, чем в корнях, и близка для разных мест произрастания (3,2–4,1 мг/т), кроме шлемника из ЦСБС, где его содержание в 1,5–2 раза ниже. В верхней части стебля из разных мест произрастания содержание золота уменьшается до 0,8–2,2 мг/т, кроме шлемника из ЦСБС, где содержание его увеличивается.

Концентрация золота в листьях шлемника из различных мест произрастания близка к содержаниям его в средних частях стебля, кроме шлемника из Борзя-Приаргунского района, где содержание его уменьшается до 1,1 мг/т, а для молодых растений из ЦСБС содержание золота повышается до 15,9 мг/т.

Содержание золота в цветках шлемника из разных мест произрастания изменяется в широких пределах от 3,6 до 17,2 мг/т. Наиболее высокие концентрации золота в цветках растений из п. Матусово Карымского района Читинской об-

ласти (14,5 мг/т) и интродуцированного в ЦСБС (17,2 мг/т).

Самые высокие содержания золота для разных местообитаний и в разных частях растений установлены для чашечек шлемника интродуцированного в ЦСБС (до 22,4 мг/т, максимальные значения до 46,9 мг/т). Это в 9,4 раза больше, чем в корнях шлемника. Довольно высокое содержание золота около 6,8 мг/т в чашечках шлемника, произрастающего в районе п. Семеновка Амурской области. Семена шлемника также накапливают золото около 4 мг/т.

### Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что золото в шлемнике байкальском (*Scutellaria baicalensis* Georgi, Lamiaceae) накапливается во всех частях растения. Его концентрация в растении не всегда зависит от уровня его содержания в почве.

Низкие концентрации золота в шлемнике, возможно, свидетельствуют о том, что растение обладает антиконцентрационным барьером, не допускающим накопление элемента выше токсичных для данного вида концентраций.

Не было выявлено общей закономерности в накоплении золота по разным частям растения. Наблюдается только тенденция к уменьшению содержания золота от корней к стеблям, листьям, семенам, чашечкам для шлемника из естественных мест произрастания (возраст растений свыше 20 лет). А для шлемника, интродуцированного в ЦСБС (возраст растений до 7 лет), накопление золота происходит в наземной части растения, особенно в цветках и чашечках. КБН для природных местообитаний ниже единицы. У молодых интродуцированных растений из ЦСБС КБН близок к единице и даже превышает её (цветки, чашечки).

При использовании растений в качестве лекарственных средств необходимо учитывать их микроэлементный состав. Дальнейшее изучение влияния микроэлементов, в том числе золота, на организм человека и интерпретация полученных данных требует всестороннего анализа и комплексного подхода.

Сведения об элементном составе, в том числе о золоте, шлемника байкальского могут использоваться в геологии при поиске месторождений полезных ископаемых биогеохимическим методом.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания «Наука» № 3805.*

### Список литературы

1. Банаева Ю.А., Пшеничкин А.Я. Элементный состав *Scutellaria baicalensis* Georgi // Сибирский экологический журнал. – 1999. – № 3. – С. 271–275.
2. Гольберг Е.Д., Дыгай А.М., Литвиненко В.И., Попова Т.П., Суслов Н.И. Шлемник байкальский. Фитохимия и фармакологические свойства. – Томск: Изд-во Томского университета, 1994. – 224 с.
3. Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1991. – 288 с.
4. Меретуков М.А. Извлечение золота из поверхностных вод и почв растениями // Цветные металлы. – 2006. – № 7. – С. 35–41.
5. Оленников Д.Н., Чирикова Н.К., Танхаева Л.М. Химический состав шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi) // Химия растительного сырья. – 2010. – № 2. – С. 77–84.
6. Разин Л.Н., Рожков И.С. Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений курамакского типа. – М.: Наука, 1966. – 255 с.
7. Разина Т.Г., Пшеничкина Ю.А. Зависимость противоопухолевой активности препаратов из шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi) от фазы вегетации и возраста растений // Растительные ресурсы. – 1989. – Т. 25. – Вып. 2. – С. 247–249.
8. Талибов Р.М., Глушенко В.М., Лежнёва Н.Д., Нишанов П.Х. О корреляции содержания золота в растениях и водах некоторых рудных полей Кураминских гор // Узбекский геологический журнал. – 1975. – № 4. – С. 21–26.
9. Юсупов Д.В. Применение биогеохимического и минералого-геохимического методов поисков в золотоносных районах Верхнего Приамурья. – Благовещенск: АмГУ, 2013. – 136 с.
10. Крутенко В.В. Близкий взгляд на роль микроэлемента золота в организме человека // Вестник проблем биологии и медицины. – 2013. – Т. 2. – Вып. 3. – С. 19–24.