

УДК 911.2:550.846

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ СТАЦИОНАРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРИ ПОИСКАХ РУД

П.В. Ивашов

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
ул. Дикопольцева 56, г. Хабаровск, 680000,  
e-mail: iver@iver.as.khb.ru

*На конкретных примерах показано, что географические стационары приобрели междисциплинарный статус и стали практически единственным комплексным научным подходом для решения задач не только географии, но и смежных с ней наук о Земле, в частности биогеохимии. Установлено влияние муссонных дождей на вынос из растений бериллия, доказано изменение содержания металлов в зависимости от сезонов года, выявлены фитоморфологические изменения растений на оловорудных месторождениях, определено содержание металлов в сухих и вегетирующих деревьях, дана оценка техногенных потоков олова при геолого-разведочных работах.*

**Ключевые слова:** географические стационары, стационарные исследования, биогеохимия окружающей среды.

Опыт функционирования географических стационаров на территории Сибири и Дальнего Востока России в составе академических институтов, в частности Института географии им. В.Б. Сочавы (г. Иркутск) [2], Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) [1], Института водных и экологических проблем ДВО РАН (г. Хабаровск) [4], показал, что стационарные исследования имеют важнейшее значение в установлении закономерностей во взаимодействии между компонентами геосистем и в выявлении особенностей в обмене веществом и энергией в геолого-географической среде. Теоретическое обоснование о необходимости стационарных исследований в географии в своё время приведено в классической работе А.Г. Исаченко [6], а научные основы методических и практических подходов, в частности метода комплексной ординации с использованием полигонов-трансектов, изложены в обстоятельной монографии В.Б. Сочавы [8].

Традиционно считалось, что географические стационары призваны решать чисто географические задачи. Между тем методические приёмы, разработанные географами и основанные на идее полигонов-трансектов, применены нами при биогеохимических исследованиях на Дальнем Востоке России в связи с разработкой теоретических основ и практических подходов биогеохимического метода поисков рудных месторождений [5].

Автор пришел к выводу, что географические стационары и проводимые на них биогеохимические исследования необходимы при изучении

многих аспектов биогеохимической индикации рудной минерализации.

Были проведены режимные опытно-методические биогеохимические работы стационарного характера на ключевых участках, полигонах-трансектах, магистральных профилях, точках наблюдения, пробных площадках, т.е. использованы географические стационары и их элементы для получения новой нетрадиционной информации в области биогеохимии. В результате был решен ряд биогеохимических задач. Исследования проводились в элювиальных ландшафтах на стационарах «Шивки» и «Славянка» ИВЭП ДВО РАН, в бассейне р. Амур на территории Хабаровского края. Работы выполнены в весенне-летний и осенний периоды. Опробовались листья, кора, древесина деревьев и кустарников и надземная часть трав. В пробах растений определялись металлы: бериллий, молибден, титан, никель, марганец, свинец, медь, олово, серебро атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Хитачи» ААС-3.

**1. Установление влияния дальневосточных муссонных дождей на содержание в растениях соединений металлов, в том числе тяжелых.** Проблема миграции (вымывания) металлов из растений с атмосферными осадками, особенно с ливневыми муссонными дождями в условиях Дальнего Востока России, – одна из важнейших в области поисковой биогеохимии, поскольку она тесно связана с опробованием растений при биогеохимических поисках рудных месторождений. Особенности вымывания муссонным дождем металлов из растений изучены на примере бериллия,

молибдена, титана и никеля путем анализа проб одних и тех же видов растений до и после дождя. Так, оказалось, что бериллий значительно вымывается муссонным дождём, содержание его после дождя уменьшилось от 1,5 до 5 раз, в среднем в 2 раза. Довольно сильно вымывается молибден, но менее резко, чем бериллий, что, вероятно, связано с быстрым поступлением молибдена как биогенного элемента в растения и восстановлением вымытого его количества менее чем за сутки после прекращения дождя. Титан относится к наиболее стабильным металлам в растениях, хотя в некоторых видах отмечено его уменьшение. Никель значительно вымывается из травянистых видов и меньше – из органов и частей деревьев и кустарников. Вероятно, некоторые деревья и кустарники благодаря хорошо развитой корневой системе успевают за сутки пополнить запасы потерянного (вымываемого дождём) металла. Факт вымывания химических элементов из растений установлен на примере листьев деревьев (дуб, береза), кустарника (рододендрон) и трав (полынь, папоротник) до дождя и через три дня после интенсивного кратковременного ливневого дождя с количеством осадков 40 мм путем опробования одних и тех же растений на той же пробной площадке и определения в них названных металлов.

Путём стационарных работ установлено, что ливневые, хотя и кратковременные, муссонные дожди способны вымывать из растений металлы как биофильные (молибден, никель), так и те, биогенность которых пока неясна (титан, бериллий). Следовательно, биогеохимическое опробование растений и последующий анализ проб на содержание металлов в дождливую неустойчивую погоду или непосредственно после прекращения интенсивных муссонных дождей может привести к искажению результатов биогеохимической информации.

**2. Выявление закономерностей изменения содержания металлов в растениях в зависимости от сезонов года.** Помимо научного значения, познание сезонных особенностей концентрации металлов в растениях имеет важное прикладное значение – при определении оптимальных сроков опробования растений и, следовательно, для рационального применения биогеохимического метода с целью поиска рудных месторождений. Эти закономерности выявлены с помощью коэффициента биологического поглощения (КБП) металлов растениями по А.И. Перельману [7]. Как оказалось, растения к осени накапливают металлы с большей интенсивностью, чем весной, и КБП в растениях

осенью выше для большинства металлов, за исключением марганца. Весной в повышенных количествах в растениях отмечаются цинк, никель, марганец – биогенные элементы, а также свинец и медь – как стимуляторы роста, т.е. такая ассоциация химических элементов, которая имеет тенденцию к концентрации в растениях в начале вегетационного периода. В целом весной в травах накапливаются марганец, молибден, медь, цинк, никель, свинец, осенью в деревьях концентрируются олово, цирконий, хром, бериллий. Поэтому при интерпретации результатов биогеохимических поисков следует принимать во внимание особенности сезонного поглощения металлов с целью корректного сопоставления полученных данных. Кроме того, это имеет большое значение при планировании проведения полевых геолого-разведочных и поисковых работ с помощью биогеохимического метода геологическими производственными организациями в течение полевого сезона. Например, поиски оловорудных месторождений в условиях Дальнего Востока России с применением биогеохимического метода лучше всего проводить осенью, когда в растениях отмечаются заметные концентрации олова и его спутников-металлов – индикаторов первичной минерализации кварц-касситеритового и кварц-сульфидного типа.

**3. Выявление фитоморфологических особенностей растительного покрова на оловорудных месторождениях с целью оценки геоботанических индикаторов оловянной минерализации.** На ключевых участках в пределах зон оруденения олова различных генетических типов, представленных, к примеру, касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной формациями, с помощью режимных стационарных исследований были выявлены геоботанические, морфологические, фенологические индикаторные признаки, свидетельствующие о наличии оловорудной минерализации. Так, на кварц-касситеритовом месторождении отмечен гигантизм иван-чая узколистного (*Chamaenerium angustifolium* Scop.) с повышенным количеством побегов и с более широкими, чем обычно, эллиптической формы листовыми пластинками. На касситерит-станнино-сульфидном месторождении какалия ушастая (*Casalia auriculata* DC.) характеризуется крупными листьями, ширина которых (20–22 см) вдвое превышает длину, при этом у растения отмечены бледно-сиреневые оттенки цветов, собранных в крупные узкометельчатые соцветия. На касситерит-грейзеновом месторождении наблюдалось раннее пожелтение листьев деревьев и необычно позднее

(в середине сентября) цветение рододендрона амурского (*Rhododendron amurensis* L.). На касситерит-скарновом месторождении зафиксирована суховершинность ивы Бредина (*Salix carpea* L.) и появление на её листьях ржавых пятен, похожих на ожоги, а у леспедецы двуцветной (*Lespedeza bicolor* Turcz.) – задержка в распускании почек. На этом же месторождении у дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch.) отмечены длинные верхушечные побеги – до 25–40 см. На касситерит-пегматитовом месторождении наблюдался гигантизм полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii* Web.), чистотела большого (*Chelidonium majus* L.) и угнетенный вид страусопёра обыкновенного (*Matteuccia struthiopteris* L.), причем полынь Гмелина представлена здесь сильно ветвистыми кустами высотой до 2,5 м, а вне оруденения – менее ветвистыми кустами высотой не более 1 м.

Полученные данные позволяют утверждать, что оловорудную минерализацию, представленную минералом касситеритом, можно фиксировать с помощью фито-феноиндикации путем изучения в растениях морфологических отклонений и фенологических особенностей.

**4. Распределение химических элементов (металлов) в древесном сухостое по сравнению с их содержанием в живых (вегетирующих) деревьях.** Эта важная биогеохимическая задача решалась в стационарных условиях в связи с рациональным отбором проб растений в процессе биогеохимических поисков руд, особенно когда на участке работ в растительном покрове имеются или даже преобладают сухостойные деревья. Эта задача решалась на примере трёх металлов – серебра, олова и молибдена на основе их распределения в пробах золы из сухих и вегетирующих деревьев ели аянской (*Picea ajanensis* Fisch.). Оказалось, что количество серебра в хвое сушины ели аянской достигает 0,005 мас.%, а в хвое живого (вегетирующего) дерева – 0,0001 мас.%, т.е. в сушинах до 50 раз больше, чем в функционирующем древостое этого вида в одних и тех же экологических условиях на рудной залежи. В коре сушины ели аянской содержание олова достигает 0,003 мас.%, что в 3 раза больше, чем в коре живого дерева. Наибольшее содержание молибдена в хвое сушины ели аянской 0,0003 мас.%, а в хвое живого дерева – 0,0001%. Эти данные свидетельствуют о том, что биогеохимический анализ сухостоя, представленного древесными видами, в частности хвойными, может дать положительные результаты при выявлении биогеохимических аномалий рудных металлов. По-видимому,

необходимы биогеохимические исследования по установлению особенностей содержания микроэлементов в сухих растениях – деревьях, кустарниках, травах в различных ландшафтных зонах на рудных залежах и вне их для получения сравнительных данных.

**5. Установление биогеохимической информативности проб растений с целью индикации оловянного оруденения.** В стационарных условиях на основе обработки анализов биогеохимических проб, взятых на ключевых участках оруденений, проведена оценка 212 биообъектов (органов и частей растений) по поглощению олова, т.е. биогеохимической индикации оловянного оруденения. Биообъекты (листья, кора, древесина деревьев и кустарников, надземная часть трав с содержанием металла до определенного уровня (барьера) на основе КБП) сгруппированы по барьерным характеристикам поглощения олова и информативности: 1) количественно-информативные безбарьерные с КБП до 30–100 (10 биообъектов); 2) высокоинформативные практически безбарьерные с КБП до 5–16 (31 биообъект); 3) малоинформативные барьерные с КБП до 1–5 (135 биообъектов); 4) неинформативные фоновые с КБП до 0,2–0,3 (36 биообъектов). Полученные данные позволяют проводить опробование, т.е. отбирать биогеохимические пробы из наиболее информативных биообъектов (частей и органов растений), что позднее, при интерпретации биогеохимических аномалий, даст возможность с меньшими затратами средств и времени открывать новые оловорудные месторождения с помощью биогеохимического метода.

**6. Оценка техногенных потоков рассеяния олова и других тяжелых металлов в растениях на участках геолого-разведочных работ.** Путём стационарных работ установлено, что содержание олова в золе растений, распространенных в пределах техногенного шлейфа, возникающего под влиянием поисково-разведочных работ на одном из олово-полиметаллических месторождений Дальнего Востока России, достигает 0,001–0,005 мас.%, что в 2–10 раз больше фоновой величины (0,0005 мас.%) или среднего содержания (мирового кларка) в растениях по А.П. Виноградову [3]. Кроме того, техногенный шлейф на участке этого оловорудного объекта зафиксирован биогеохимическим методом на основе определения в золе растений других тяжелых металлов – свинца, меди, цинка, серебра. КБП здесь также оказались чёткими критериями оценки техногенного шлейфа, и его величины на фоновом

участке (за пределами оруденения) и на шлейфе соответственно достигают следующих значений: олово 0,5 и 1,0; свинец 0,25 и 0,5; цинк 2,5 и 16,0; медь 1,0 и 3,0; серебро 2,0 и 10,0. Следовательно, биогеохимический метод в стационарных условиях может успешно применяться для оценки интенсивности техногенных потоков тяжелых металлов, т.е. для решения задач техногенной биогеохимии и биогеохимического мониторинга.

Это только часть биогеохимических задач, решенных автором на географических стационарах. Можно решать и другие биогеохимические задачи, например, исследование зоогеохимических и геомикробиологических ореолов рассеяния тяжелых металлов, определение фоновых содержаний металлов и других химических элементов в различных ландшафтных зонах и на разных горных породах, совершенствование известных, а также апробация новых нетрадиционных методов биогеохимического мониторинга окружающей среды. Разработка новых научных направлений в биогеохимии, например, в установлении закономерностей в биогеохимических циклах химических элементов, также невозможна без географических стационаров [9].

Таким образом, географические стационары фактически приобрели междисциплинарный характер и стали практически единственным комплексным научным методом решения задач не только географии, но и смежных с нею наук о Земле – геологии, геохимии, биогеохимии, почвоведения и др.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука, 1990. 197 с.
2. Баженова О.И. Динамические типы современной денудации в островных степях юга Сибири // География и природные ресурсы. 2011. № 2. С. 23–32.
3. Виноградов А.П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам // Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР. 1954. Вып. 10. С. 3–27.
4. Водные и экологические исследования на Дальнем Востоке (к 40-летию Института водных и экологических проблем ДВО РАН). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2008. 139 с.
5. Ивашов П.В. Биогеохимическая индикация оловорудной минерализации в горных районах юга Дальнего Востока России // Устойчивое развитие горных территорий. 2009. № 1. С. 57–63.
6. Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географического районирования. М.: Наука, 1965. 336 с.
7. Перельман А.Л. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1966. 392 с.
8. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 317 с.
9. Снытко В.А., Семёнов Ю.М. Биогеохимическая цикличность как показатель эволюции биогеоценозов и почв // Биогеохимический круговорот веществ в биосфере. М.: Наука, 1987. С. 37–44.

#### THE USE OF GEOGRAPHICAL STATIONS FOR SOLVING BIOGEOCHEMICAL TASKS BY SEARCH ORES

P.V. Ivashov

*Specific examples provided prove that geographical stations have got a multidisciplinary status and become practically an exclusive complex scientific tool to deal with tasks set not only by geography, but by related Earth sciences and biogeochemistry in particular.*

**Keywords:** *geographical stations, stationary studies, environment biogeochemistry.*