

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ РЕНИЯ И МЕТОДЫ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ

<sup>1</sup>Ермаков В.В., <sup>2</sup>Пыцкий И.С., <sup>1</sup>Данилова В.Н., <sup>1</sup>Дегтярев А.П.,  
<sup>1</sup>Кречетова Е.В.

<sup>1</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН, Москва, [ermakov@geokhi.ru](mailto:ermakov@geokhi.ru)

<sup>2</sup>Институт физической химии и электрохимии имени Фрумкина, Москва, [ivanpic4586@gmail.com](mailto:ivanpic4586@gmail.com)

Гиперконцентрирование рения растениями впервые было установлено Л.В. Борисовой и сотрудниками [Борисова и др., 2008; Ermakov et al., 2002]. При определении рения в водах, почвах и растениях W-Mo, Mo-Cu рудопроявлений Северного Кавказа и Восточного Забайкалья было обнаружено избирательное накопление рения растениями, особенно в пределах Жирекенского ГОКа. Следует заметить, что Жирекенское молибденовое месторождение открыто в 1958 г. в Чернышевском районе Забайкальского края. Его руды содержат (%) - 0,1, Cu – 0,086 (0,004–0,51), Pb – 0,0174, Zn – 0,02, Sb – 0,002, Bi – 0,001; Re – 82 г/т, Se – 87 г/т, Te – 16 г/т. Основные промышленные руды сосредоточены в калишпатизированных гранитах [Жирекенское ...].

Учитывая высокую степень аккумуляции рения растениями, было проведено более подробное биогеохимическое опробование территории, расположенной около кромки Жирекенского карьера. Участки опробования (в северной, северо-восточной, западной и южной частях) представляли собой складирование отработанного или естественного галечного материала, покрытого тонким слоем почвы, заросшего березой, лиственницей, осиной, рододендромом, изредка злаками, разными видами полыни. Встречались также макромицеты (грибы), лишайники и эпифитные мхи. Отбирали пробы не только почв и растений, каменного материала, но и воды, заполнившей дно карьера.

При элементном анализе почв, растений и проб воды использовали масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой (модель 7500 CE фирмы “Agilent Technologies”, США). Измерения осуществляли в сканирующем режиме и количественно, используя стандартные растворы рения. Образцы почв минерализовали смесью хлорной, азотной и фтористо-водородной кислот, а растения – азотной и хлорной кислотами.

Определение меди, молибдена, железа, свинца и марганца в большинстве образцов проводилось методом атомной абсорбции по стандартным методикам. Измерение концентраций Cu, Fe и Mn осуществляли в пламенном варианте на приборе «ААС-2А», а

молибдена и свинца – методом электротермической атомизации на приборе «ААС-Z.ЭТА » с зеемановским корректором фона. Точность и воспроизводимость методик контролировали посредством анализа стандартных образцов почв, растений и волос.

Установлено, что в западной части карьера растения содержат практически фоновые концентрации Cu, Fe и Pb. Уровень содержания Mo практически в 2 раза превышает его фоновые концентрации и составляет 0,63-2,20 мг/кг.

Что касается Re, то при концентрации его в почве 0,098 мг/кг растения накапливают его до 1,74-4,20 мг/кг сухого вещества. Это выше фона (10-17 нг/кг) в 105 раз, что свидетельствует о присутствии в почво-грунтах заметных количеств подвижных форм Re. В южной части карьера растения более интенсивно аккумулируют Re и Mo, но уровень содержания других микроэлементов (Cu, Fe, Pb) приближался к «фону»

Наиболее выражены относительно аккумуляирования Mo и, в особенности Re, северный и северо-восточный участки карьера. Здесь в растениях присутствует Mo до 5,6-6,7 мг/кг, Cu – до 150-200 мг/кг и Pb – до 66-160 мг/кг. При этом концентрации Re в растениях возрастают до 10-60 мг/кг сухого вещества. Максимальные концентрации Re характерны для листьев брусники (60 мг/кг), березы (26 мг/кг) и хвои лиственницы (8,4 мг/кг). Что касается макромицетов, то они, как правило, концентрируют Cu, а лишайники и эпифитный мох – Mo, Cu и Pb, что согласуется с литературными данными [Ермаков и др., 2018].

Следует отметить, что для всех участков характерно очень высокое содержание Mn в растениях. В целом, концентрации Mo в растениях не являются высокими. Они заметно меньше уровней его содержания в растениях ландшафтов Тырнаузского и Бугдаинского рудопроявлений [Данилова и др., 2015].

Концентрирование Re в укосах растений отражено на рисунке.

Нетрудно заметить, что практически для всех проб характерно гипераккумуляция Re. Это указывает на высокую подвижность соединений Re в почвенно-растительном комплексе, что согласуется с высоким уровнем Re в водах Жирекенского ГОКа.

Так, в воде водоема, образовавшегося на дне карьера, концентрация рения равнялась 74 мкг/л, что выше фона в 1000-5000 раз. Например, водопроводная вода в Москве содержит Re 3-5 нг/л.

Если учесть содержание Re в грунте (в основном обломки гранитов) – 0,234 мг/кг, то коэффициент водной миграции Re, рассчитанный по формуле А.И. Перельмана [1989], оказывается равным 914. В пробах воды из протоки, протекающей в 100 м от карьера, перед хвостохранилищем концентрация рения достигает

63 мкг/л, а в р. Аленур около п. Жирекен, - 0,5 мкг/л. Таким образом, по классификации А.И. Перельмана, Re входит в 1 группу наиболее интенсивных мигрантов.

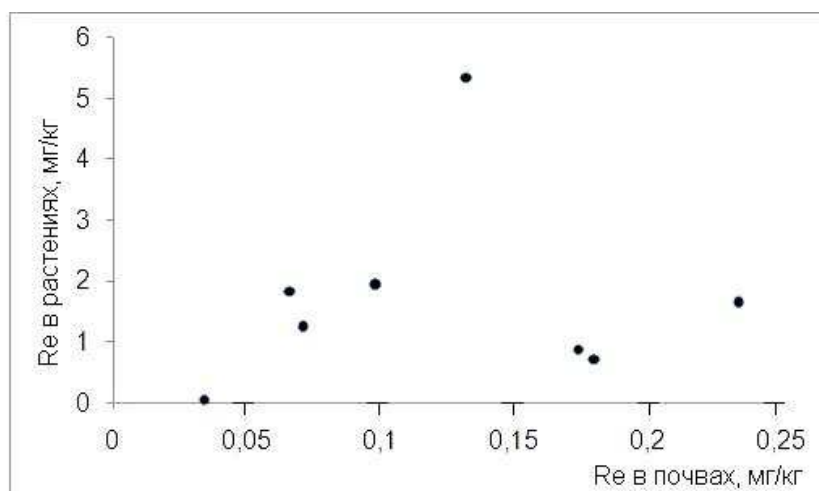


Рисунок. Изменение концентраций рения в укосах растений в зависимости от его содержания в почвах Жирекенского ГОКа.

Представляют интерес парные коэффициенты корреляции между концентрациями микроэлементов в почва-грунтах и укосах растений. В почвах существенная положительная связь наблюдается для пары Mo-Re ( $r = +0,598$ ) и Mo-Cu ( $r = +0,908$ ), тесть для основных рудных элементов. В меньшей степени она выражена для пар Cu-Re, Cu-Pb и Pb-Re. При этом отрицательная корреляция наблюдается для пар Fe-Re, Mn-Mo и Fe-Mo.

При анализе растений установлена положительная корреляция для пар Mo-Cu ( $r = +0,500$ ), Mo-Pb ( $r = +0,502$ ), Fe-Mo ( $r = +0,520$ ) и Cu-Pb ( $r = +0,813$ ). Слабая отрицательная связь проявляется для пары Mn-Mo ( $r = - 0,427$ ). По остальным парам микроэлементов не установлено какой-либо существенной связи.

Следует отметить отсутствие связи между концентрациями Mo и Re в растениях. По-видимому, организмы резко меняют направленность потоков химических элементов, что связано с особенностями корневой системы, физиологией всасывания минеральных веществ через мембраны корней и метаболической ролью микроэлементов.

Таким образом, в биосфере наблюдается дискретное распределение рения. Элемент тяготеет к Mo-Cu рудопроявлениям и в зоне окисления интенсивно мигрирует с водами и почвенными растворами, накапливаясь в растениях. Последние существенно меняют направленность локальных биогеохимических циклов. Полученные данные являются основой для разработки технологий фитоэкстракции рения из различных материалов (отвалы, руды и

т.п.). В России наиболее перспективны в этом отношении Жирекенское и Тырнаузское рудные поля.

### Литература

1. Борисова Л.В., Ермаков В.В., Рябухин В.А., Быков И.В., Божков О.Д. Растительные биоконцентраторы ультрамикроэлемента рения и способы его извлечения. // Журн. Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2008. № 1( 5 ), С.33-38.
2. Данилова В.Н., Торопченлова Е.С., Ермаков В.В., Жалилова А.А. Биогенная миграция рения в рудных ландшафтах // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии (в двух томах). Барнаул: «ООО Пять плюс», 2015. Т. 1. С. 225–228.
3. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементозов. М.: Издание РАН, 2018. 386 с.
4. Жирекенское (Мо) месторождение, Чернышевский район, Забайкальский край, Забайкалье, Россия. // <http://webmineral.ru/deposits/item.php?id=4038>
5. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
6. Ermakov V., Borisova L., Ryabukhin V. Peculiarities of rhenium accumulation of plants// Mengen- und Spurenelemente. 21. Leipzig: Schubert-Verlag, 2002. S. 262-267.

### BIOGEOCHEMICAL ANOMALIES OF RHENIUM AND THE METHODS FOR THEIR DETECTION

<sup>1</sup>Ermakov V.V., <sup>2</sup>Pytskii I.S., <sup>1</sup>Danilova V.N., <sup>1</sup>Degtyarev A.P.,  
<sup>1</sup>Krechetova E.V.

<sup>1</sup>Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry (GEOKHI) RAS, Moscow, [vad-ermak@yandex.ru](mailto:vad-ermak@yandex.ru)

<sup>2</sup>Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Moscow, [ivanpic4586@gmail.com](mailto:ivanpic4586@gmail.com)

There is a discrete distribution of rhenium in the biosphere. The trace element tends to Mo-Cu ore mineralization and in the oxidation zone migrates intensively with water and soil solutions, accumulating in plants. The latter significantly change the direction of local biogeochemical cycles. The obtained data are the basis for the development of technologies for phytoextraction of rhenium from various materials (dumps, ores, etc.). The Tyrnyauz and Zhireken ore fields are the most promising in this respect.