

# ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Гребенщикова В.И.

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, e-mail: [vgreb@igc.irk.ru](mailto:vgreb@igc.irk.ru)*

Эколого-геохимическое изучение окружающей среды приобретает в настоящее время большое значение, так как результатом является определение территорий, благополучных для проживания человека. Окружающая среда состоит из многих сопряженных компонентов. Интерес представляет накопление и перераспределение токсичных элементов в биотических и абиотических компонентах в экосистеме в целом или в некоторых сопряженных ее составляющих: коренные породы – почва – снеговой покров – вода – донные осадки – продукты питания – биосубстраты человека и др. Эколого-геохимические исследования проводились как на всей территории Байкальского региона, так и в районах промышленных городов и некоторых рудных месторождений. Анализы элементов выполнялись в Аккредитованном аналитическом центре ИГХ СО РАН. Рассмотрим выявленные закономерности на примере отдельных токсичных элементов.

**Коренная порода-почва-донные осадки-вода.** Область повышенных содержаний ртути в различных компонентах окружающей среды Байкальского региона образует широкую полосу по левобережью р. Ангары от озера Байкал до города Зима. Этот район представляет собой Ангаро-Ленскую структурно-формационную зону, где преимущественно распространены карбонатно-глинистые породы ( $R_3$ ), карбонатно-галогенно-гипсоносные, алевролит-песчаниковые отложения ( $V-P_z$ ) и породы юрского угленосного бассейна – алевролиты, конгломераты, песчаники, угли. С одной стороны, повышение содержаний ртути в этой области в почвах связано с угленосными породами, с другой – они могут отражать зону глубинного разлома, фиксируемого руслом реки Ангары, поскольку известны данные о повсеместной приуроченности относительно повышенных концентраций ртути к зонам тектонических нарушений, в том числе и к Байкальской рифтовой зоне. Так повышенные содержания ртути отмечены в воде Байкала на глубине 600-1200 м, где ее содержание в 2-5 раз выше, чем в поверхностной воде Байкала (2-25 м), но не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК) (аналитик Л.Д. Андрулайтис). Известно также заметное повышение содержаний ртути в воде глубинных источников и в воде истока реки Ангары во время землетрясений (1998-1999 гг.) [Коваль и др., 2003] или ураганов (2004 г.).

Источником техногенной Hg в почвах в Байкальском регионе являются химические предприятия ООО «Усольхимпром» (г. Усолье-Сибирское), ООО «Саянскхимпласт» (г. Зима), где ранее использовался ртутный электролиз. Еще одним источником поступления Hg являются угледобывающие предприятия Прибайкалья и воздушный перенос ее при сжигании угля на ТЭЦ. В сельскохозяйственных областях отмечается агрохимическое загрязнение почв, где в качестве удобрения ранее использовался препарат гранозан, содержащий Hg. Относительно повышенные содержания Hg, обусловленные техногенными источниками, отмечаются преимущественно в верхних горизонтах почв, а стабильные содержания Hg во всех горизонтах почв обусловлены природными источниками – коренными породами.

Несмотря на большой техногенный пресс за счет промстоков с химических предприятий, содержание Hg в речных водах региона и в воде Братского водохранилища ниже ПДК для питьевой воды, так как Hg локализуется в основном на геохимических барьерах. Однако при аварийных сбросах сточных вод с промышленных предприятий седиментационный барьер не «справляется» и содержание Hg в воде временно увеличивается.

Проведенные исследования показали, что на всей территории Прибайкалья средние содержания Hg во всех компонентах окружающей среды не превышают средних содержаний по мировым данным, и рассматриваемая территория (за исключением химических

промплощадок) относится к группе относительно удовлетворительного состояния. Вместе с тем, геохимической особенностью почв региона является избыточное среднее содержание ртути относительно кларка в земной коре ( $4,5 \cdot 10^{-6}\%$ ) практически на всей территории Прибайкалья.

**Снег-почва.** Каждый промышленный город Байкальского региона имеет свою геохимическую специфику в плане наличия разных предприятий – химические, металлургические, строительные или закрытые после войны заводы. По основным токсичным элементам (Hg, Pb, Be, Zn, Cu, As, Cd, F и др.) отчетливо выделяются по составу снеговой воды, твердого осадка снега и по химическому составу почв следующие города Прибайкалья: Усолье-Сибирское (повышенные содержания Hg, Si, B), Зима (Hg, Co), Шелехов (F, Be, Al), Свирск (As, Cd, Pb, Zn), Ангарск (Mo, U, S). Между отмеченными повышенными содержаниями элементов в каждом городе отмечается корреляция.

**Коренная порода-почва-вода-растение.** Влияние минерального и химического состава коренных пород на сопряженное почвообразование известно уже давно. Нами это подтвердилось на нескольких примерах в регионе, в частности на химическом составе почв, развитых на карбонатитах Белозиминского тантал-ниобиевого месторождения (Восточный Саян). Определение содержаний Nb, Ta, U, Th в пробах пород, почв и золе растений проводилось методом рентгено-флуоресцентного анализа (аналитик Т.С. Айсуева), а в воде – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (аналитики Е.В. Смирнова, Н.Н. Пахомова).

Содержания элементов в карбонатитах существенно различаются, что связано с наличием в них рудных минералов. Содержания Nb варьируют от 9 (в нерудных образцах) до 1052 мг/кг. Содержание Ta достигало 38 мг/кг, однако он обнаружен не во всех пробах. В пробах с повышенным содержанием Ta также обнаруживаются и повышенные содержания U (до 45 мг/кг). Содержания Th в породах изменялись от 3 до 187 мг/кг (среднее 71 мг/кг). Региональный фон урана в коренных породах составляет 1,3 мг/кг, а тория – 3,8 мг/кг [Гребенщикова и др., 2008]. Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения проводилось с помощью дозиметра ДКГ-07Д «Дрозд». В различных пунктах измерений она варьировала от 0,18 до 4,34 мкЗв/час, что соответствует 1,6 – 38,0 мЗв/год при норме 1 мЗв/год для населения. Наибольшие значения выявлены в приземном слое воздуха на разрушенной фабрике, что в первую очередь связано с высокими содержаниями Th и U в техногенных отходах. По радиологическому фактору пос. Белая Зима ранее был признан зоной экологического бедствия [Государственный доклад..., 1996] и прекратил свое существование.

Почвы этого района по показателю кислотности характеризуются близкой к нейтральной или слабокислой реакцией среды. По химическому составу все почвы характеризуются низкими содержаниями  $\text{SiO}_2$  и высокими – Ca, Sr, P, а также редких и рассеянных металлов. Изучение распространения Ta, Nb, U, Th в почвах показывает повышенные их содержания, так как почвы унаследуют химический состав пород (табл. 1). Для Nb и Ta характерным оказалось увеличение их содержаний с глубиной. Уран достаточно равномерно распределен в профиле горной дерново-карбонатной выщелоченной почвы. Для Th в разных типах почв заметных изменений содержаний не обнаружено. Региональный фон U в аккумулятивных горизонтах почв Прибайкалья составляет 2,01 мг/кг, а Th – 6,26 мг/кг [Гребенщикова и др., 2008]. Дополнительный техногенный привнос в почвы токсичных металлов, очевидно, был связан с переработкой тантал-ниобиевых руд. Анализ химического состава проб техногенной пыли, взятой на заброшенной фабрике, показал, что содержания элементов здесь достигают очень высоких значений: Nb – до 16,69 %, Ta – 0,443 %, Th – 0,29 %. По сравнению с этими элементами, пыль в меньшей степени обогащена U – до 50 мг/кг (0,005 %).

С целью изучения вовлечения Nb и Ta в биологический круговорот, изучался химический состав растений: хвоя пихты, зеленые части злаковых, папоротников, лютиков. В золе этих растений изучаемые элементы методом РФА не были обнаружены, что может

свидетельствовать об их низком вовлечении в биогенный круговорот (несмотря на высокое содержание в почвах).

Химический состав донных отложений реки (в районе поселка) отражает химический состав почв и почвообразующих пород. Здесь также обнаружены повышенные содержания (мг/кг) Nb (450), U (8) и Th (42).

Таблица 1

Содержание в почвах ниобия, тантала и радиоактивных элементов, мг/кг

| Почвенный горизонт  | Nb   | Ta      | Th      | U       |
|---|------|---------|---------|---------|
| Горная дерново-карбонатная выщелоченная почва на делювии карбонатитов |      |         |         |         |
| A <sub>0</sub> (На массу золы)  | 87   | Не опр. | Не опр. | Не опр. |
| A   | 1756 | 96      | 43      | 23      |
| AB <sub>m</sub>   | 1451 | 90      | 40      | 25      |
| B <sub>m</sub>  | 3198 | 143     | 51      | 24      |
| Аллювиально-луговая   |      |         |         |         |
| A   | 373  | < 30    | 31      | 6       |
| B   | 262  | < 30    | 47      | 9       |

Изучение химического состава воды не выявило активной водной миграции элементов, что связано как с особенностями формирования водного стока, так и с малой миграционной способностью Nb, Ta и Th [Перельман, 1961]. Воды реки характеризуются низкой минерализацией (71 мг/дм<sup>3</sup>), характерной для рек региона в целом, а также низкими содержаниями изученных элементов (мкг/дм<sup>3</sup>): Nb – 0,0005; Ta – 0,0003; Th – 0,0013; U – 0,056.

**Коренные породы и дренирующие их поверхностные воды.** Характерной особенностью Ангаро-Витимского батолита, занимающего около 150 тыс. кв. км вдоль восточного побережья озера Байкал, является отсутствие в слагающих его гранитах отрицательной аномалии Eu, что обычно не характерно для гранитов и даже, наоборот, в некоторых разновидностях гранитов батолита присутствует положительная европиевая аномалия (Eu/Eu\* – 1,1-4,0). На западном побережье озера магматические породы с таким характером распределения редкоземельных элементов не имеют распространения.

Сравнение распределения редкоземельных элементов в гранитах и в воде восточных притоков Байкала показывает, что положительные Eu аномалии в гранитах, занимающих значительную площадь, наследуются водой дренирующих притоков при взаимодействии воды с гранитами Ангаро-Витимского батолита, и характер распределения Eu в воде вообще является характеристикой пород водосборных территорий. С другой стороны, наличие положительной Eu аномалии в воде притоков [Склярова, Скляров, 2009] указывает на широкое распространение гранитоидов с положительной аномалией Eu в спектре редкоземельных элементов на территории батолита. С западной стороны Байкала в воде притоков отсутствует положительная аномалия Eu как в породах, так и в воде притоков.

**Продукты питания-биосубстраты человека.** Продукты питания являются одним из основных источников поступления токсичных элементов в организм человека. Исследуя микроэлементный состав органов и тканей рыб, овощных растений можно получить наиболее объективную биогеохимическую оценку экосистем. Мышьяк и ртуть являются одними из самых опасных химических экотоксикантов, поскольку имеют широкое распространение в объектах окружающей среды Прибайкалья и вызывают тяжелые последствия в живых организмах. Результаты анализов показали, что в мышечной ткани рыб Братского водохранилища содержание As (район г. Свирска, где находится разрушенный завод по производству мышьяка) и Hg (район г. Усолье-Сибирское, химическое предприятие) превышали уровень ПДК и фоновые значения на 2-3 порядка [Коваль и др., 2008; Пастухов и др., 2008]. В местных овощных культурах (картофель, капуста, свекла, морковь и др.) в районе г. Свирска также повышено содержание As, а в районе г. Усолье-Сибирское – Hg [Белоголова и др., 2009; Гордеева и др., 2010].

В биосубстратах человека токсиканты могут накапливаться до высоких пределов. Особенно четко это проявлено на примере интенсивного накопления Hg, Pb, As и Cd в волосах детей [Склярова и др., 2010]. Исследование влияния техногенной нагрузки в промышленных городах Прибайкалья на элементный состав волос его жителей показало, что содержание Al, Mn, Cd и Pb более, чем на порядок превышают установленные физиологические нормативные значения.

Таким образом, в пределах Байкальского региона установлена отчетливая корреляция элементов между различными сопряженными компонентами окружающей среды и биосубстратами человека.

### Литература

Белоголова Г.А., Гордеева О.Н., Коваль П.В., Джао К.Х., Гао Г.Л. Закономерности распределения и формы нахождения тяжелых металлов в техногенно-трансформированных черноземах Южного Приангарья и Северо-Восточного Китая // Почвоведение. – 2009. – №4. С. 1-12.

Гордеева О.Н., Белоголова Г.А., Гребенщикова В.И. Распределение и миграция тяжелых металлов и мышьяка в системе «почва-растение» в условиях г. Свирска (Южное Прибайкалье) // Проблемы региональной экологии. – 2010. – №3. – С. 108-113.

Государственный доклад. О состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 1995 г. – Иркутск. 1996. – 227 с.

Гребенщикова В.И. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С.; науч. ред. академик РАН М.И. Кузьмин; Ин-т геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео». – 2008. – 236 с.

Коваль П.В., Бутаков Е.В., Виноградова Т.П., Пастухов М.В., Удодов Ю.Н. Ртуть в биогеохимическом цикле Братского водохранилища и экологические последствия ртутного загрязнения // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. М.: ИФЗ РАН. – 2008.- Т. 4. – С.97-112.

Коваль П.В., Удодов Ю.Н., Андрулайтис Л.Д., Саньков В.А., Гапон А.Е. Ртуть в воде истока р. Ангары: пятилетний тренд концентрации и возможные причины его вариаций // ДАН – 2003. – Т. 389. – № 2. – С. 235-238.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Географгиз. – 1961. – 496 с.

Пастухов М.В., Гребенщикова В.И., Андрулайтис Л.Д., Рязанцева О.С., Азовский М.Г. Биоаккумуляция ртути рыбами Братского водохранилища // Материалы объединенной III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященная памяти Б.А. Флерова «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» и конференции по гидроэкологии «Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок» (п. Борок, 11-16 ноября 2008 г.). Борок: изд-во ИБВВ. – 2008. – С.66-70.

Склярова О.А. Андрулайтис Л.Д. Белоголова Г.А. Микроэлементный состав волос – биоиндикатор антропогенной нагрузки территории (на примере промышленных районов Иркутской области) // Геоэкологические проблемы современности. Доклады 3-й Международной конференции. Владимир. – 2010. – С. 271-273.

Склярова О.А., Скляров Е.В. Геохимическая специфика водосборного бассейна как определяющий фактор распределения редкоземельных элементов в притоках озера Байкал Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту (м-лы совещания). Иркутск, изд-во ИГ СО РАН. – 2009. – Вып. 7. – Т. 2. – 87-90.