

РОЛЬ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СИСТЕМЕ ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (НА ПРИМЕРЕ БЕРЕЗИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ)

И.Г. Борисова

Амурский филиал Учреждения Российской академии наук Ботанического сада-института ДВО РАН, Игнатьевское шоссе, 2-км, г. Благовещенск, 675000; e-mail: borisovagis@mail.ru

Поступила в редакцию 10 сентября 2009 г.

На примере Березитового месторождения в Амурской области показано значение ландшафтно-геохимической информации в системе горно-экологического мониторинга. Исследован вещественный состав геосистемы на территории месторождения. Дана характеристика миграционных процессов в системе горная порода – вода – почва – растение, позволяющая систематизировать ландшафтно-геохимическую информацию и использовать её в контексте горно-экологического мониторинга.

Ключевые слова: горно-экологический мониторинг, элементарный геохимический ландшафт, геосистема, ландшафтно-геохимическая информация, миграция химических элементов, миграционные коэффициенты, биогенная миграция, водная миграция, золотополиметаллическое месторождение, Амурская область.

ВВЕДЕНИЕ

Важной государственной задачей современного периода является улучшение экологической ситуации в регионах с широко развитой горнодобывающей промышленностью. К таким районам с полной уверенностью можно отнести Амурскую область, где золотодобыча ведется более 130 лет, и по запасам россыпного и рудного золота Амурская область занимает лидирующее положение в Дальневосточном регионе.

В горнодобывающих районах создается весьма напряженная экологическая обстановка, информация о которой собирается в рамках горно-экологического мониторинга, который осуществляется по принятым руководствам [1, 3, 7]. Нормирование техногенных воздействий проводится по санитарно-гигиеническим показателям, которые лишь частично отвечают своему назначению, поскольку ПДК территориально не дифференцированы, не учитываются типы почв, их устойчивость к загрязнению, а также виды землепользования. Для почв промышленных зон и сельскохозяйственных угодий в России действуют одни и те же ПДК. Кроме общепринятых подходов к оценке экологического состояния окружающей среды в последнее время появляются и новые разработки [4].

Особенностью антропогенного преобразования природной среды в горнодобывающих районах является то, что здесь происходит наложение техногенного загрязнения на природные геохимические аномалии – вторичные ореолы и потоки рассеяния в почвах, донных отложениях, растениях, подземных и поверхностных водах. Почвы являются основным объектом окружающей среды, депонирующим различные виды загрязнения и выполняющим при этом роль буфера и детоксиканта.

Для объективной оценки современного и прогнозного состояния природной среды на горно-промышленных объектах в системе горно-экологического мониторинга необходимо привлекать ландшафтно-геохимические методы исследований, которые обладают большими возможностями фиксировать структурно-функциональные свойства геосистем – от учета морфологических признаков природных компонентов до анализа их вещественного состава, что особенно важно при изучении динамики геосистем.

В настоящей работе поставлена задача на примере Березитового золотополиметаллического месторождения показать возможности использования ландшафтно-геохимической информации в системе

горно-экологического мониторинга. Объект исследования расположен в Тындинском районе Амурской области в 140 км к юго-западу от г. Тынды (рис. 1), в междуречье левых притоков р. Хайкта – ручьи Иншуты, Березитовый, Трубный и Орогжан, в пределах Березитового рудного узла, который входит в состав Уруша-Ольдойского золотоносного района. Месторождение относится к золото-кварц-сульфидной формации.

В ходе эксплуатации горно-промышленных предприятий ООО “Березитовый рудник” произошли значительные изменения геосистем. Негативные последствия строительства и эксплуатации мощного карьера и перерабатывающей фабрики с хвостохранилищем прослеживаются в современной ландшафтно-геохимической обстановке, которая определяет пути трансформации и перераспределения продуктов техногенеза в геосистемах. Прогноз предстоящих изменений в природной среде – это важнейшая задача, которую невозможно решать без ландшафтно-геохимических исследований территории. Такой прогноз, согласно В.Б. Сочаве, – это “разработка представлений о природных географических системах будущего, а именно, об их изменениях, могущих возникнуть в процессе спонтанного развития, но чаще всего вследствие деятельности человека по освоению местности, разработке природных ресурсов и в связи с другими его воздействиями на окружающую среду” [8, с. 292].

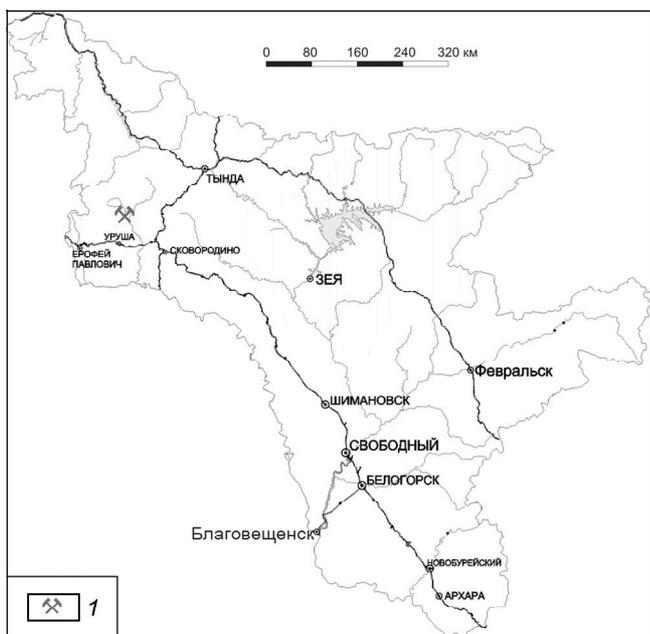


Рис. 1. Обзорная карта Амурской области.

1 – местоположение Березитового месторождения (район исследования).

Ландшафтно-геохимический прогноз направлен на предсказание потенциально возможных изменений (с учетом воздействия природных и антропогенных факторов) количественных показателей вещества в геосистемах. При ландшафтно-геохимическом прогнозировании природные особенности геосистем рассматриваются как фоновые характеристики. Техногенные факторы вызывают изменение вещественно-энергетического баланса, накопление этих изменений приводит к возникновению антропогенных модификаций геосистем – антропогенных вариантов структуры природных геосистем, но при этом геосистема по-прежнему остается антропогенно-природным образованием.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для характеристики ландшафтно-геохимической обстановки на территории Березитового месторождения применялись ландшафтно-геохимические методы исследования [2], ведущим из них является сопряженный анализ. Под ним понимается [9] специфический метод исследования в геохимии ландшафта, заключающийся в одновременном изучении химического состава всех компонентов ландшафта (горных пород, коры выветривания, поверхностных и подземных вод, почв, растительности) и последующем сравнении полученных результатов между собой как в пределах одного элементарного геохимического ландшафта (ЭГЛ), так и смежных с ним. Сопряженный анализ выявляет характерные для ЭГЛ химические элементы и позволяет проследить их миграцию внутри комплекса (радиальную) и от одного комплекса к другому (латеральную).

Совокупность ЭГЛ, сменяющих друг друга от местного водораздела к местной депрессии и связанных друг с другом миграцией вещества в твердом или жидком виде, образует ландшафтно-геохимические ряды, в которых принято выделять автономные, транзитные и подчиненные ЭГЛ. В автономных ЭГЛ, расположенных в верхней части ландшафтно-геохимического профиля, поступление вещества происходит только из атмосферы, вынос вещества – через фильтрацию в радиальном направлении и испарение в атмосферу. В транзитных ЭГЛ к тем же процессам добавляется латеральный вынос – транзит материала с поверхностным и внутрипочвенным стоком. В подчиненных ЭГЛ уровень грунтовых вод приближен к поверхности, и ландшафты получают дополнительные вещества в процессе капиллярного поднятия влаги.

Для характеристики процессов миграции химических элементов выполнялось три вида пересчетов:

1. Сравнение химического состава горной породы с составом почвы и вычисление элювиально-аккумулятивных коэффициентов ($K_{за}$) и рядов выноса и накопления.

2. Сравнение химического состава почвы с составом золы лесной подстилки. Вычисление коэффициентов и рядов биологического поглощения. Коэффициент биологического поглощения, или биологической миграции ($K_б$), – отношение содержания химического элемента в золе лесной подстилки к содержанию химического элемента в почве.

3. Сравнение химического состава речных вод с химическим составом дренируемых горных пород. Вычисление миграционной способности элементов в виде коэффициентов водной миграции. Коэффициент водной миграции ($K_в$) – отношение содержания химического элемента в поверхностных водах к содержанию в горных породах.

При расчете относительных коэффициентов использовались данные анализов почв, золы лесной подстилки, воды четырех малых притоков р. Хайкта и горных пород методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Аналитические исследования проводились в ЦАЛ ОАО «Амургеология» в г. Благовещенск. Агрохимический анализ проводился в агрохимической лаборатории кафедры земледелия, почвоведения и агрохимии института агрохимии и экологии ДальГАУ (г. Благовещенск).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По имеющимся среднemasштабным покомпонентным материалам для восточной части Уруша-Ольдойского золотоносного узла была составлена обзорная ландшафтно-геохимическая карта (рис. 2). Согласно этой карте, Березитовое месторождение находится в горно-таежном геохимическом ландшафте, который имеет расчлененный рельеф с характерным преобладанием транзитных ландшафтов. Он сложен палеозой-мезозойскими магматическими породами кислого-среднего состава и относится к кислым и кисло-глеевым (H^+ , H^+-Fe^{2+}) мерзлотным ландшафтам.

Территориальная организация природных комплексов построена по системе иерархически подчиненных ЭГЛ, по Б.Б. Полюнову [6], А.М. Глазовской [2], А.И. Перельману [5]. Взаимосвязи и взаимозависимости между компонентами ЭГЛ определяются радиальными и латеральными переносами вещества и энергии. Микрокомпонентный состав почв определяется свойствами почвообразующих пород. На исследованной территории ландшафтно-геохимический ряд представлен:

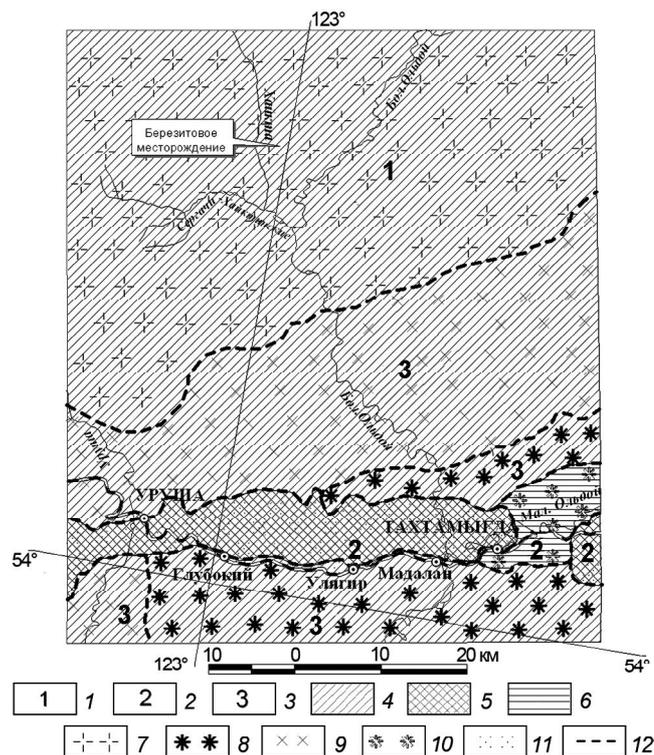


Рис. 2. Ландшафтно-геохимическая карта-схема восточной части Уруша-Ольдойского золотоносного узла

1–3 – типы, семейства и классы геохимических ландшафтов: 1 – горная тайга: кислый и кисло-глеевый мерзлотный класс (H^+ , H^+-Fe^{2+}) – длительно промерзающие грубогумусные буротаежные почвы; 2 – мари: кислый глеевый мерзлотный класс (H^+-Fe^{2+}) – мерзлотные болотные почвы; 3 – южная тайга: кислый класс (H^+) – буротаежные почвы; 4–6 – роды геохимических ландшафтов: 4 – ландшафты третьего рода (горы, сопки); 5 – ландшафты второго рода (плато); 6 – ландшафты первого рода (аккумулятивно-денудационная равнина); 7–11 – виды геохимических ландшафтов: 7 – на элювий-делювии палеозой-мезозойских магматических (граниты, гранодиориты, габбро, габбродиориты, габброанортиты) пород кислого-среднего состава; 8 – на элювий-делювии палеозой-мезозойских терригенных отложений (песчаники, алевролиты, конгломераты, гравелиты, глинистые сланцы); 9 – на элювий-делювии докембрийских и палеозойских магматических (граниты, гранодиориты) пород кислого состава; 10 – на мезозой-кайнозойской коре выветривания терригенных отложений с отдельными выходами магматических (диориты, гранодиориты, гранит-порфиры) пород; 11 – на плиоцен-нижнечетвертичных и верхнемиоценовых озерно-аллювиальных отложениях (пески, суглинки, глины, галька); 12 – границы геохимических ландшафтов.

1) автономными (элювиальными) ландшафтами, приуроченными к вершинным поверхностям и занимающими менее 1 % площади территории исследования;

2) подчиненными (транссупераквальными) ландшафтами в днищах долин горных рек, охватывающими примерно 20 % площади исследованной террито-

рии, они значительно нарушены россыпной золото-добычей;

3) транзитными (трансэлювиальными, трансэлювиально-аккумулятивными) ландшафтами, занимающими оставшуюся площадь и располагающимися на склоновых поверхностях.

Для исследованной территории характерен горно-долинный тип сопряжения. На ландшафтно-геохимическом профиле (рис. 3), заложенном от вершинной поверхности по склону междуречья руч. Трубный и р. Орогжан к р. Хайкта, ландшафтно-геохимический ряд слагают биогеоценозы, представляющие следующие ЭГЛ: элювиальный кедровостланиково-лиственничный с сезонно-мерзлой грубогумусной оподзоленной буротаежной почвой на элювии раннепротерозойских гранитоидов, трансэлювиальный бруснично-багульниково-рододендроновый березово-лиственничный с сезонно-мерзлой грубогумусной буротаежной почвой на делювии раннепротерозойских гранитоидов, трансэлювиально-аккумулятивный бруснично-багульниковый березово-лиственничный с сезонно-мерзлой грубогумусной глееватой буротаежной почвой на делювии раннепротерозойских гранитоидов, трансаккумулятивный маревый с мерзлотной болотной почвой на аллюво-делювии, трансэлювиально-аккумулятивный багульниковый березово-лиственничный с сезонно-мерзлой грубогумусной глееватой буротаежной почвой на делювии раннепротерозойских гранитоидов, трансэлювиальный на скальных обнажениях, трансупераккумулятивный разнотравный елово-тополево-лиственнично-березовый с аллювиальной слоистой почвой на современном аллювии и аккумулятивный речной.

Пространственная структура элементарных геохимических ландшафтов представлена на ландшафтно-геохимической карте (рис. 4).

Для исследованной территории характерен водный почвенно-конжелифлюкционно-дефлюкционный тип миграции вещества, когда движение водных растворов происходит преимущественно по поверхности почв или внутри почвенной толщ по мерзлому слою. Поэтому создается почвенно-поверхностное сопряжение автономных ЭГЛ с подчиненными. Связующими звеньями между ними служат транзитные ЭГЛ, которые занимают почти 80 % исследованной территории. Наряду с этим наблюдается повсеместное перемещение по склонам всей почвенной толщ.

В латеральной дифференциации химических элементов в сопряженном ряду ЭГЛ наблюдается нарастание вниз по склону содержания таких элементов, как цирконий (в 70 раз), иттербий (в 12 раз), стронций (в 60 раз), калий (в 3.5 раза), фосфор (в 3.5

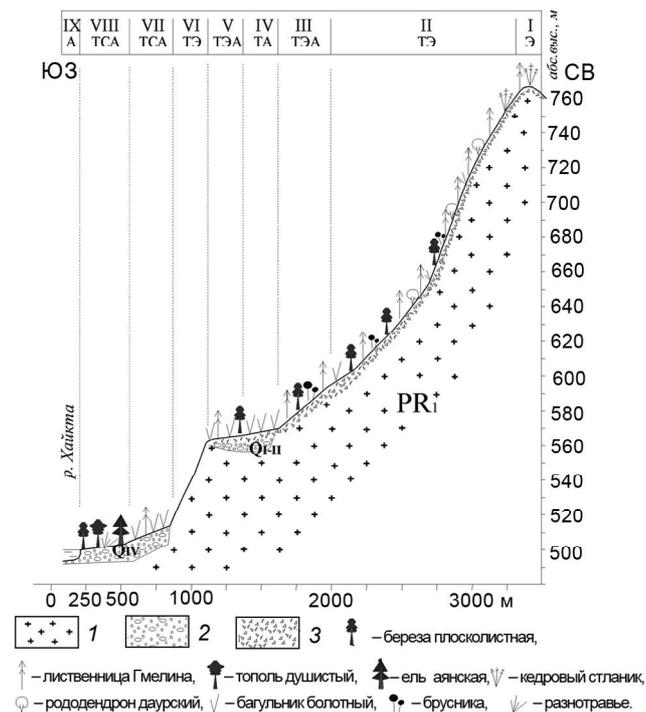


Рис. 3. Ландшафтно-геохимический профиль Березитового месторождения.

1 — позднестановой комплекс нерасчлененный: гранодиориты, граносиениты и кварцевые сиениты среднезернистые порфириовидные, субщелочные граниты, граниты и гранодиориты гнейсовидные; 2 — аллювиальные валунно-галечные и песчано-гравийные отложения; 3 — чехол склоновых отложений (щебень, дресва, суглинки, супесь, редко глыбы).

Сопряженный ряд элементарных геохимических ландшафтов: I — элювиальный (Э) кедровостланиково-лиственничный с сезонно-мерзлой грубогумусной оподзоленной буротаежной почвой на элювии раннепротерозойских гранитоидов; II — трансэлювиальный (ТЭ) багульниково-бруснично-рододендроновый березово-лиственничный с сезонно-мерзлой грубогумусной буротаежной почвой на делювии раннепротерозойских гранитоидов; III — трансэлювиально-аккумулятивный (ТЭА) бруснично-багульниковый березово-лиственничный с сезонно-мерзлой грубогумусной глееватой буротаежной почвой на делювии раннепротерозойских гранитоидов; IV — трансаккумулятивный (ТА) маревый с мерзлотной болотной почвой на аллюво-делювии; V — трансэлювиально-аккумулятивный (ТЭА) багульниковый березово-лиственничный с сезонно-мерзлой грубогумусной глееватой буротаежной почвой на делювии раннепротерозойских гранитоидов; VI — трансэлювиальный (ТЭ) на выходе коренных пород; VII — трансупераккумулятивный (ТСА) маревый с мерзлотной болотной почвой на современном аллювии; VIII — трансупераккумулятивный (ТСА) разнотравный елово-тополево-лиственнично-березовый с аллювиальной слоистой почвой на современном аллювии; IX — аккумулятивный (А) речной.

раза), натрий (в 3 раза), железо (в 2 раза), алюминий (в 1.5 раза). И наоборот, снижение содержания марганца (в 55 раз), бора (в 17 раз), ванадия (в 14 раз), никеля (в 12 раз), меди (в 6 раз), цинка (в 3 раза),

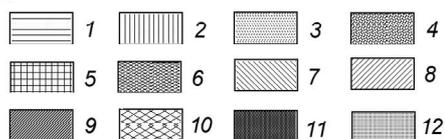
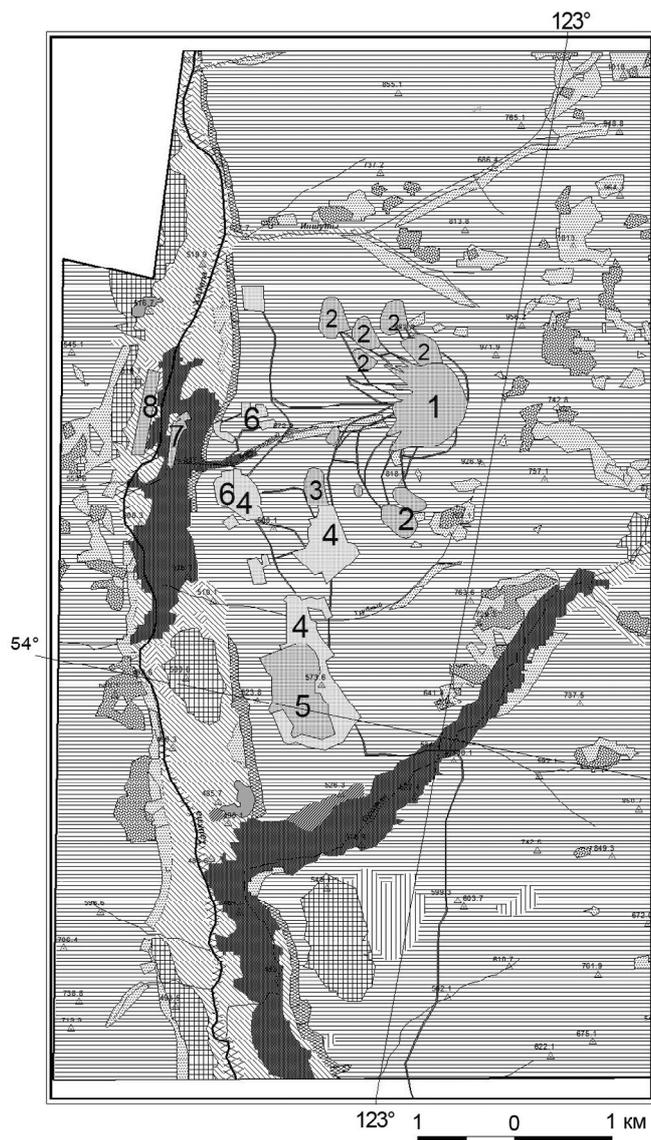


Рис. 4. Ландшафтно-геохимическая карта территории Березитового месторождения и его окрестностей.

Ортоэлювиальные ландшафты таежного среднегорья на нерасчлененном позднестановом комплексе (субщелочные лейкограниты, лейкограниты, субщелочные граниты, граниты, гранодиориты, кварцевые диориты, кварцевые сиениты, граносиениты), на кенгуракских метагаббро, метагабброанортозитах и на десовском риолит-трахириолитовом комплексе: 1 – бруснично-багульниковые и рододендроновые лиственничники и производные лиственнично-березовые леса на грубогумусных буротаежных почвах; 2 – переувлажненные лиственничные редколесья на торфянисто-глееватых буротаежных почвах; 3 – залесенные курумы с фрагментарными примитивными органо-щепнистыми почвами; 4 – колонии накипных лишайников и мхов; 5 – лиственничные мохово-кустарниковые мари с мерзлотными переходными болотными почвами; 6 – скальная растительность.

Гидроморфные ландшафты долин рек и ручьев с близким залеганием к поверхности и выходом на поверхность вод: 5 – лиственничные мохово-кустарниковые мари с мерзлотными переходными болотными почвами; 7 – разнотравные лиственнично-березовые леса с участием ели, сосны и тополя с аллювиальными слоистыми почвами; 8 – разнотравные березовые леса с аллювиальными слоистыми глееватыми почвами; 9 – вейниково-осоковое болото с мерзлотными низинными болотными почвами; 10 – прирусловая растительность на валунах и галечниках; 11 – пионерная растительность с эмбриоземами; 12 – горнопромышленные объекты Березитового рудника (цифры на карте): 1 – карьер, 2 – отвалы вскрышных пород, 3 – склад исходной руды, 4 – промплощадки, 5 – хвостохранилище, 6 – вахтовый поселок, 7 – пруд, 8 – аэродром.

кальция (в 2.5 раза), магния (в 2 раза) и титана (в 2 раза) вниз по склону.

Вещественный состав ландшафта определяется, прежде всего, литологией. На исследованной территории основную площадь занимают раннепротерозойские гранитоиды позднестанового комплекса, в составе которых принимают участие биотит-роговообманковые гранодиориты, граносиениты и кварцевые сиениты, обычно порфириовидные, гнейсовидные граниты и гранодиориты, биотит-роговообманковые, роговообманково-биотитовые, обычно порфириовидные субщелочные граниты. Геохимические особенности рассматриваемых пород – постоянно высокие концентрации инертных элементов – никеля, кобальта, часто хрома.

Значительно меньшую площадь занимают кенгуракские метагаббро. Метагабброиды содержат по-

вышенные концентрации железа, титана, меди, фосфора и ванадия. Раннетриасовый десовский риолит-трахириолитовый комплекс представлен небольшими площадями. С дайками десовского комплекса на Березитовом рудном поле связана рассеянная золотая и серебряная минерализация, а с субвулканическими телами – проявления золота, молибдена, вольфрама, повышенные концентрации никеля, хрома, титана, циркония, скандия, иттрия и бария.

Почвенный фон образуют горные грубогумусные буротаежные почвы, в разной степени оглеенные и оподзоленные. Миграция химических элементов в почвах происходит в условиях кислой и кислотно-глеевой среды. Исследованные почвы имеют промывной режим увлажнения, в условиях которого происходят кислое, кислотно-глеевое выщелачивание. Немаловажную роль играет длительно (иногда до середи-

ны июля) сохраняющаяся в почвах мерзлота. Промораживание почв приводит к дегидратации и сорбции гумусовых и органоминеральных соединений. Приобретенные ими свойства оказываются довольно устойчивыми.

Почвенный профиль горных буротаежных грубогумусных почв маломощный (до 50 см) и характеризуется высокой (до 60 %) каменистостью, в нем прослеживается от 2 до 4 почвенных горизонтов. Лесная подстилка (слабо разложившийся растительный опад) рыхлая, имеет мощность до 18 см, элювиальный (А) горизонт – от 4 до 8 см, иллювиальный горизонт (В) – до 25 см. Гранулометрический состав почвенных горизонтов преимущественно легкосуглинистый. Структура почвы комковатая, рыхлая.

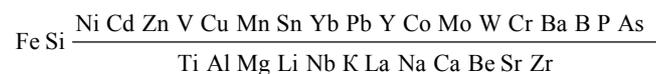
Почвы имеют сильно кислую ($pH = 3.5$) до слабо кислой ($pH=5,5$) реакцию среды, причем кислотность снижается вниз по почвенному профилю: в горизонте А – сильно кислая реакция среды; в горизонте В – слабо кислая. Содержание гумуса в элювиальном (А) горизонте колеблется от 1.86 % до 5.58 % и резко уменьшается в иллювиальном (В) горизонте до 1,19 %. Величина гидролитической кислотности изменяется в широких пределах – от 3.48 мг·экв/100 г до 77.6 мг·экв/100 г, чаще всего наблюдается ее резкое снижение вниз по почвенному профилю. Сумма обменных оснований составляет от 0.45 до 10.8 мг·экв/100 г почвы. Емкость катионного обмена – от 6.78 до 78.16 мг·экв/100 г. Насыщенность основаниями – от средней (56 %) до очень низкой (0.6 %). Очень высокое содержание обменного фосфора преимущественно в иллювиальном (В) горизонте – до 334 мг/кг, значительно ниже в элювиальном горизонте (А) – 50–70 мг/кг. В некоторых случаях содержание обменного фосфора как высокое (268 мг/кг), так и низкое (29 мг/кг). Содержание обменного калия стабильно высокое в элювиальном горизонте (153–344 мг/кг) и существенно уменьшается в иллювиальном горизонте (28–116 мг/кг). Средняя величина окислительно-восстановительного потенциала – 284 мВ (А) и 270 мВ (В).

В почвах повышенный природный геохимический фон создается за счет таких химических элементов, как свинец, олово, медь, цинк, никель, ванадий, марганец, бор, кадмий, железо и магний. Сложившийся почвенно-геохимический фон определяется веществом содержанием горных пород, но при этом происходит выборочное накопление химических элементов растительностью и в почву поступают химические элементы из разлагающегося растительного опада.

Миграционные процессы вещества в ландшафте также зависят от циркуляции и вещественного состава поверхностных и подземных вод. Для характеристики этих процессов были собраны исходные данные по бассейнам малых таежных рек и ручьев исследованной территории. Ручьи Иншуты, Березитовый, Трубный, река Орогжан являются малыми левыми притоками р. Хайкта, образуют сравнительно небольшие водосборы: Иншуты – 6.5 км², Березитовый – 2.6 км², Трубный – 1.5 км², Орогжан – 25.3 км². Ширина этих водотоков – 1–3 м.

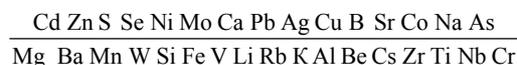
Исходная ландшафтно-геохимическая информация (табл. 1), трансформированная в относительные показатели (табл. 2), характеризует конкретные миграционные процессы. Расчет относительных показателей базируется на положении о взаимосвязях основных компонентов ландшафта (растительности – почв пород – вод) через потоки химических элементов.

Источником химических элементов в ландшафте являются горные породы. Их распределение в системе порода–почва характеризуется элювиально-аккумулятивным коэффициентом ($K_{за}$) (табл. 2). Геохимическая формула исследованного ландшафта по блоку порода–почва следующая:



Стабильными элементами являются железо и кремний, их количество в породе и почве примерно одинаковое. Накапливаются те элементы, которые находятся в числителе дроби ($K_{за} > 1.1$) в порядке убывания. Выносятся те элементы ($K_{за} < 0.9$), которые находятся в знаменателе дроби также в порядке убывания.

Коэффициенты водной миграции ($K_{в}$) характеризуют процесс выщелачивания, т.е. выноса вещества из ландшафта (табл. 2). Геохимическая формула ландшафта, составленная по коэффициентам водной миграции, следующая:



Элементы, слабо выносящиеся из ландшафта ($K_{в} < 0.9$), находятся в знаменателе дроби, сильно выносящиеся ($K_{в} > 1.1$) – в числителе дроби.

Один из главных природных процессов – биогеохимический круговорот – циклический процесс обмена веществом и энергией, представляющий суть функционирования геосистемы. Для его характеристики в исследованном ландшафте рассчитывался коэффициент биологического поглощения ($K_{б}$), или биологической миграции (табл. 2). Исходной информацией в расчетах коэффициента биологического

поглощения служили данные спектрального анализа золы лесной подстилки и почвы (табл. 1). Геохимическая формула ландшафта в системе почва–растительность следующая:

$$\text{Ni K} \frac{\text{Mn Pb Ba P Zn Ca Sr Cu B Mg Mo}}{\text{Al Si Co Yb Sn Na Fe Zr Li Cr La V Nb Y W Cd Ti Be}}$$

Элементы, в одинаковом количестве содержащиеся в почве и растительности, имеют $K_6=0.9-1.1$ и находятся перед дробью. В знаменателе дроби находятся химические элементы, которые мало накапливаются в растительности ($K_6<0.9$). Накопление хими-

ческих элементов в растительности по отношению к почве обусловлено вовлечением их в биогенный круговорот ($K_6>1.1$ – числитель дроби). Особенно ярко выражено накопление марганца вследствие его активного участия в круговороте веществ ($K_6=51.3$). Менее выраженному накоплению свинца, бария, фосфора, цинка, кальция, стронция соответствует их положение в группе элементов, вовлекаемых в биогеохимический круговорот со средней интенсивностью (K_6 от 11.3 до 4.3). Элементы (медь, бор, магний, молибден) с низкими показателями участия в биокруговороте (K_6 от 2.7 до 1.3) имеют в лесной

Таблица 1. Среднее содержание химических элементов в природных компонентах горно-таежных ландшафтов на территории Березитового месторождения ($n \cdot 10^{-4} \%$).

п/н	Химический элемент	Лесная подстилка	Горная буротаежная почва	Горная порода	Речная вода
1	Li	8.4	14	32.9	7.8
2	Be	0.09	0,3	17.1	0.7
3	B	53	26	12.1	35
4	P	6000	1200	900	-
5	S	-	-	371.4	57500
6	Ti	1092	2731	3337.9	62.5
7	V	420	840	52.6	5.1
8	Cr	20.1	33,5	75	1.8
9	Mn	382698	7460	1000	625
10	Co	6.2	7,7	2.6	4.0
11	Ni	190.8	212	0.7	9.3
12	Cu	907.2	336	35.4	102.5
13	Zn	2959.6	604	35	8522.5
14	As	-	<30	1.6	2.5
15	Se	-	-	0.05	0.8
16	Rb	-	-	155.7	14.8
17	Sr	21.5	5,0	340	575
18	Zr	0.66	1,1	84.3	2.0
19	Nb	3.55	7,1	20	0.2
20	Mo	3.25	2,5	0.9	6.0
21	Ag	2.5	-	0.06	0.2
22	Cd	2.0	5.0	0.1	50.2
23	Sn	12.8	18,3	2.6	-
24	Cs	-	-	3.9	0.1
25	Ba	2394	420	206.6	122.5
26	W	1.36	3,4	1.4	0.4
27	Hg	-	-	0.08	-
28	Pb	1910	169	48.1	180.5
29	La	9.0	15	50.4	-
30	Y	4.65	9,3	2.9	-
31	Yb	6.51	9,3	2.3	-
32	Fe	24600	41000	43743	5000
33	Ca	24940	5800	30486	132000
34	Na	3900	6500	25329	31500
35	Mg	15000	10000	16857	14250
36	Si	204000	255000	299286	45250
37	Al	43200	54000	80029	4500
38	K	8800	8000	26229	15000

Таблица 2. Миграционные показатели горно-таежного ландшафта на территории Березитового месторождения.

п/н	Химический элемент	Элювиально-аккумулятивный коэффициент ($K_{эа}$)	Коэффициент биологического поглощения ($K_б$)	Коэффициент водной миграции ($K_в$)
1	Li	0.4	0.6	0.2
2	Be	0.02	0.3	0.04
3	B	2.1	2.0	2.9
4	P	1.3	5.0	-
5	S	-	-	154.8
6	Ti	0.8	0.4	0.02
7	V	16	0.5	0.1
8	Cr	2.2	0.6	0.01
9	Mn	7.5	51.3	0.6
10	Co	3	0.8	1.5
11	Ni	302	0.9	13.2
12	Cu	9.5	2.7	2.9
13	Zn	17.3	4.9	243.5
14	As	<18.7	-	1.5
15	Se	-	-	16
16	Rb	-	-	0.09
17	Sr	0.01	4.3	1.7
18	Zr	0.01	0.6	0.02
19	Nb	0.3	0.5	0.01
20	Mo	2.8	1.3	6.7
21	Ag	-	-	3.3
22	Cd	50	0.4	502
23	Sn	7	0.7	-
24	Cs	-	-	0.03
25	Ba	2.03	5.7	0.6
26	W	2.4	0.4	0.3
27	Hg	-	-	-
28	Pb	3.5	11.3	3.8
29	La	0.3	0.6	-
30	Y	3.2	0.5	-
31	Yb	4	0.7	-
32	Fe	0.9	0.6	0.1
33	Ca	0.2	4.3	4.3
34	Na	0.3	0.6	1.2
35	Mg	0.6	1.5	0.8
36	Si	0.9	0.8	0.2
37	Al	0.7	0.8	0.05
38	K	0.3	1.1	0.06

подстилке незначительные накопления. Несмотря на очень высокие концентрации в почве олова, никеля и ванадия, в лесной подстилке они не накапливаются.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для территории Березитового месторождения, расположенного на горных склонах западной экспозиции в долине р. Хайкта, сложенных магматическими горными породами (гранитоиды) и покрытых коренными лиственничными бруснично-багульниковыми и рододендроновыми лесами, вторичными лиственнично-белоберезовыми лесами с горными грубогумусны-

ми буротаежными почвами, была получена исходная ландшафтно-геохимическая информация и составлены схемы миграционных потоков химических элементов. Поведение химических элементов в природных блоках (горная порода–почва, речная вода–горная порода, почва–растительность) геосистем существенно различается. Из 38 рассмотренных химических элементов в почве удерживаются 18 элементов, т.е. их содержание превышает содержание в горной породе. Девять элементов активно мигрируют в водной среде. Благодаря биогеохимическому круговороту веществ в ландшафте удерживаются 11 элементов из 38.

Таблица 3. Участие химических элементов в водной и биогенной миграции вещества в горно-таежном ландшафте территории Березитового месторождения.

Коэффициенты миграции		биогенной (K_6)			
		<1	1-5	5-10	>10
водной (K_6)	<1	Li Be Ti V Cr Rb Nb Sn Cs W La Y Yb Si Fe Al	Mg K	P Ba	Mn
	1-5	As Na	B Co Cu Sr Ag Ca		Pb
	5-10		Mo		
	>10	S Ni Se Cd	Zn		

Принятые построения геохимических формул по рядам миграционных коэффициентов не отражают взаимосвязи между происходящими процессами. Их соотношение между собой можно представить в матричной форме (табл. 3). Из табл. 3 видно, что марганец на исследованной территории выступает в качестве слабого водного и самого активного биогенного мигранта. Свинец также активно аккумулируется растительностью, но более интенсивно, чем марганец выносятся из геосистемы. Сера, никель, селен, кадмий – слабые биогенные и активные водные мигранты. Цинк активно мигрирует в водной среде, но при этом участвует в биогенном круговороте со средней интенсивностью. Молибден – достаточно активный водный мигрант и менее активно участвует в биокруговороте. Хорошо видны различия по показателю водной миграции между такими биогенными элементами, как фосфор и сера. Бор, кобальт, медь, стронций, серебро, кальций – примерно в равной мере биогенные и водные мигранты.

Ландшафтно-геохимическая формула интегрального выражения биогенной и водной миграции вещества в исследованной геосистеме следующая:

$$[H^+, H^+ - Fe^{2+}] Li, Be, Ti, V, Cr, Rb, Nb, Sn, Cs, W, La, Y, Yb, Fe, Si, Al, Mg, K, As, Na, B, Co, Cu, Sr, Ag, Ca \frac{Mn, P, Ba, Pb}{S, Ni, Se, Cd, Zn}$$

В числителе элементы со значениями $K_6 > 5$ при $K_6 < 5$, в знаменателе – элементы с $K_6 > 5$ при $K_6 < 5$, рядом с дробью – элементы с K_6 и $K_6 > 5$. Первыми записываются значения с наибольшими значениями коэффициентов и далее по мере их убывания. Перед формулой указывается класс водной миграции. Эту формулу можно рассматривать как модель естественного хода геохимических процессов в исследованном ландшафте.

Для мониторинга окружающей среды особую важность представляют химические элементы по классам опасности. Так, среди элементов 1 класса опасности в исследованном ландшафте активно удерживается растительностью фосфор, и к тому же он обладает слабой водной миграционной способностью, бериллий является слабым водным и биологическим мигрантом. Среди элементов 2 класса опасности обращает на себя внимание свинец. Он имеет высокий коэффициент биологического поглощения. Другие элементы (алюминий, хром, медь, стронций, бор) слабо накапливаются в геосистеме и не интенсивно выносятся из нее. Среди элементов 3 класса опасности для исследованной территории следует выделить цинк, ванадий, олово, марганец, скандий и галлий. Среди них очень активно удерживается растительностью марганец, а цинк является активным водным мигрантом. К химическим элементам 4-го класса опасности относятся натрий, калий, барий, кальций, лантан, иттрий, иттербий, магний, цирконий, железо и кремний. Среди них растительность интенсивно аккумулирует барий, менее интенсивно – кальций. Остальные элементы имеют невысокие коэффициенты водной и биогенной миграции.

ВЫВОДЫ

Ценность представленных схем миграционных формул в том, что они обладают количественными показателями. При их расчете используется вся исходная ландшафтно-геохимическая информация. По этим формулам можно оценить долю участия химических элементов в процессах миграции. Высокая напряженность биогеохимического круговорота в проанализированной геосистеме наблюдается у 4 элементов (марганец, фосфор, барий, свинец), среди них 2 элемента относятся к первому классу (фосфор) и второму (свинец) классу опасности. Выносу вещества в водосборных бассейнах противостоит биогеохимический круговорот. Это служит признаком удержания в геосистеме загрязняющих веществ. Можно ожидать, что в процессе техногенного загрязнения достаточно быстро будет происходить самоочищение геосистемы от химических элементов, которые активно участвуют в водной миграции, и очень долго

будет протекать процесс самоочищения геосистемы от химических элементов с высокими коэффициентами биологического поглощения после прекращения антропогенного воздействия.

По изменениям в геохимических формулах рядов миграционных коэффициентов можно следить за ходом изменения миграционных свойств элементов во временном интервале наращивания техногенной нагрузки на ландшафт. Аналитическая количественная спектрометрическая база нашей страны позволяет получать массовую ландшафтно-геохимическую информацию. Можно с уверенностью говорить о возможностях широкого внедрения в практику предлагаемых миграционных формул. В исследованиях по программе горно-экологического мониторинга они послужат унифицированным интегральным выражением комплекса наблюдений за состоянием биогеохимической обстановки в ландшафте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временные требования к проведению многоцелевого геохимического картирования масштабов 1:1000000–1:50000. М.: ИМГРЭ, 1986. 150 с.
2. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с.
3. Голицин В.Н., Островский В.Н., Островский Л.А. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. В 3-х вып.
4. Мирзеханова З.Г., Климина Е.М. Экологические критерии устойчивого развития ресурсоориентированных регионов: сохранение ландшафтного разнообразия // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 6. С. 109–118.
5. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. школа, 1979. 422 с.
6. Польшов Б.Б. Геохимические ландшафты // Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. М.-Л., 1946. С. 171–182.
7. Руководство по ведению мониторинга земель в горнодобывающих районах России. М.: Гос. Комитет РФ по земельным ресурсам и землеустройству, 1997. 79 с.
8. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Изд-во “Наука”, 1978. 319 с.
9. Терминологический словарь по физической географии: Справ. пособие / Под ред. Ф.М. Милькова. М., 1993. 288 с.

Рекомендована к печати Б.А. Вороновым

I.G. Borisova

The role of landscape-geochemical researches in the system of mountain and ecological monitoring (exemplified from the Berezitovy mineral deposit, Amur Region)

The importance of landscape-geochemical information for mountain and ecological monitoring is exemplified from the Berezitovy deposit, the Amur Region. Material composition of geosystems was investigated in the deposit territory. The migration processes in the rock – water – soil – plant system are characterized, which allow systematizing landscape-geochemical information and using it in the context of mountain and ecological monitoring.

Key words: mountain and ecological monitoring, elementary geochemical landscape, geosystem, landscape and geochemical evidence, migration of chemical elements, migration coefficients, biogenic migration, water migration, Amur Region.