Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVI, вып. 2, 1969 г.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ СВИНЦА И ЦИНКА В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

И. Н. Крицук

Значение климатических факторов в геохимических процессах, протекающих в приповерхностном слое, в зонах окисления рудных месторождений, как и значение их в формировании особенностей химического состава вод, рассматривалось обычно для крупных регионов. Так, А. П. Соловов [1959] выявил условия образования вторичных ореолов рассеяния, характерные для аридных и гумидных областей. В качестве примеров привел Центральный Казахстан и Дальний Восток. Восточное Забайкалье выделено в единый регион, промежуточный по климатической характеристике [Бугельский, 1962].

В настоящей статье приведена попытка разделения Юго-Восточного Забайкалья на две специфические области, различные по климату и условиям образования вторичных ореолов рассеяния. Главным климатическим фактором можно считать солнечную энергию, поскольку она является основой энергетического баланса земной поверхности и определяет в конечном счете все многообразие взаимосвязанных географических, климатических и геохимических условий любой территории. С этих позиций радиационный баланс, т. е. количество лучистой энергии солнца (за вычетом потерь тепла на отражение и длинноволновое излучение), получаемой земной поверхностью за год, на северо-востоке района равен, по В. Н. Глубокову [Типы местности и природное районирование, 1961], 20 *ккал/см²*, а на юго-западе и юге 24—28 *ккал/см²*. Это тепло расходуется на испарение с поверхности земли и воды, на прогревание приземного слоя воздуха и теплообмен внутри почвы. В различных условиях соотношения между этими статьями расхода меняются. В сильно увлажненных и заболоченных межгорных котловинах в северной части Юго-Восточного Забайкалья затраты тепла на испарение уменьшают количество тепла на прогрев воздуха и теплообмен почвы, что создает условия для развития более холодного климата. В сухих степных и лесостепных районах южной части, где выпадает меньше осадков, затраты на испарение значительно меньше. Это создает условия для формирования жаркого климата,

с одной стороны, интенсивного теплообмена и усиления геохимических процессов в почвенном и подпочвенном слоях, с другой (рис. 1, 2).

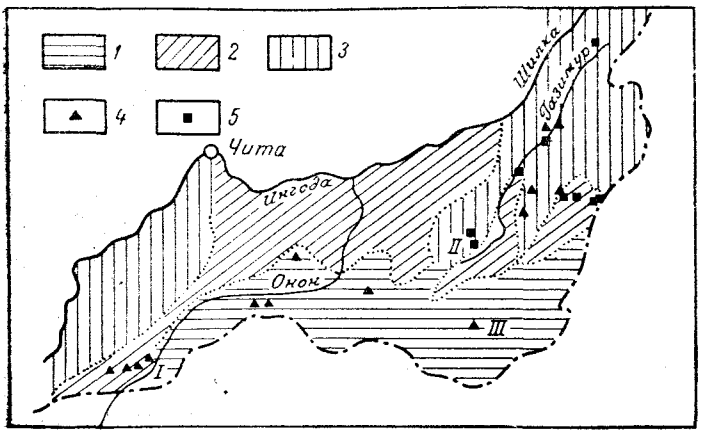


Рис. 1. Характеристика растительности Восточного Забайкалья в районе типичных месторождений *I—III*

1, *2* и *3*—преобладание, соответственно, степей, лесостепей и тайги; *4* и *5*—месторождения, создающие, соответственно, нормальные элювио-делювиальные и шлейфообразные ореолы рассеяния

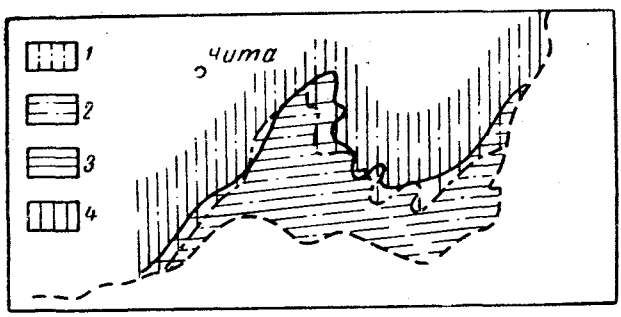


Рис. 2. Климатическая характеристика Восточного Забайкалья

Районы с годовым количеством осадков: *1* — > 300 *мм*; *2* — < 300 *мм*. Районы с годовой суммой средних суточных температур воздуха: *3* — > 1500°С; *4* — < 1500°С

Таким образом, по основному климатическому показателю изучаемую площадь можно разделить на две части:

Район	Годовой радиационный баланс R, *ккал/см²*	Годовые затраты на испарение R', *ккал/см²*	$R - R'$, *ккал/см²*	Годовые осадки, *мм*	Многолетняя мерзлота
Юго-западная и южная части	26	—14	12	<300	Островная, главным образом в долинах и на северных склонах
Северо-восточная часть	20	—16	4	>380	Более интенсивная

Как видно из приведенных данных, величина остатка лучистой энергии, который расходуется на биохимические, химические и физические процессы в приповерхностном слое земной коры, для северо-восточной части территории в три раза меньше, чем для южной. В соответствии с этими климатическими закономерностями района в целом и характерными особенностями рельефа — постепенным увеличением абсолютных отметок с юго-запада на северо-восток формируются почвы, растительность — создаются природные ландшафты (рис. 1 и 2). На северо-востоке территории развивается тайга с характерными гор-

но-таежными и дерновыми неоподзоленными почвами. Далее на юг и запад она переходит в зону лесостепи, где развиты темно-серые, иногда оглеенные, лесные почвы, восточно-сибирские выщелоченные черноземы, лугово-черноземные, мерзлотные и лугово-мерзлотные почвы. В южных районах преобладают степи, мало поверхностных водотоков, много бессточных засоленных котловин. Каштановые почвы — на водоразделах и в верхних частях склонов, лугово-каштановые — в понижениях рельефа.

Такой же закономерности подчинено и распространение многолетней мерзлоты. В пределах Читинской области выделяются три зоны многолетней мерзлоты [Осадчий, Орлова, 1959]: 1) сплошной многолетней мерзлоты долинного типа; 2) многолетней мерзлоты долинного типа с участками таликов; 3) талых грунтов с островами и «перелетками» многолетней мерзлоты. Большая часть района расположена во второй зоне, и лишь самые южные участки попадают в третью зону.

Таким образом, по совокупности природных факторов рассматриваемую территорию можно разделить на две части — юго-западную и северо-восточную, в пределах которых условия формирования вторичных элювио-делювиальных ореолов свинца и цинка также различны.

Рассмотрим условия формирования вторичных ореолов рассеяния в юго-западной части района на примере одного из месторождений (рис. 1 и 2). Климат района резко континентальный. Максимальная годовая амплитуда колебаний температуры воздуха 85,1° С. Средняя температура июля 17,9° С, января —24,3° С. В течение года выпадает до 300 *мм* осадков, инфильтрация незначительна — всего 10—12%. Испарение активное, воды приобретают несколько повышенную минерализацию. В составе катионов вод (по данным В. А. Кротовой) преобладает Ca, затем Mg, а в составе анионов HCO_3, Cl и SO_4. Жесткость воды от 5 до 40°; Na и K присутствуют в незначительных количествах.

Для геологического строения месторождения характерно следующее: рудные тела представляют собой минерализованные зоны дробления мощностью от 0,2 до 1 *м*. Руды окислены до глубины 50 *м* и содержат англезит, церуссит, различные охры и гидроокислы железа. Вмещающими породами являются метаморфические сланцы палеозоя ($D - C_1$). Месторождение связано с региональным широтным разломом и трещинами оперения. Вторичные ореолы нормальные.

Отношение между свинцом и цинком в первичных рудах, зоне окисления и вторичных элювиально-делювиальных ореолах, соответственно, 1,5, 10,4 и 0,9. Значительное превышение свинца над цинком в окисленных рудах свидетельствует о выносе цинка из зоны окисления и обогащении им вторичных ореолов рассеяния. Процесс накопления цинка в рыхлых отложениях нельзя рассматривать вне связи с формированием самих рыхлых отложений. Можно наметить две основные стадии этого процесса [Полынов, 1956]. Первая стадия соответствует накоплению продуктов механического разрушения. По времени она, вероятно, несравненно менее длительна, чем последующие, так как уже с самого начала происходит не только физическое, но химическое и биохимическое выветривание. Вторая стадия соответствует времени удаления преимущественно соединений серы. Реакция среды остается, по-видимому, щелочной или, в крайнем случае, нейтральной. Для этой стадии характерно образование глинистых минералов типа монтмориллонита. На рассматриваемом месторождении щелочность среды подтверждается наличием в рыхлых элювио-делювиальных отложениях плюмбоярозита (который, как известно, выпадает из растворов

при pH, равном 7—8 [Крицук, 1963]. В этот период в рыхлых элювио-делювиальных отложениях, вероятно, выпадали из коллоидных растворов гидроокислы марганца, насыщенные катионами цинка. Характерными для этой стадии развития элювио-делювиальных образований являются гидроокислы железа.

При формировании рыхлых отложений и зоны окисления месторождения сульфиды цинка окислялись, и цинк в виде кислых растворов вместе с коллоидными растворами двуокиси марганца, окислов железа, кремния, алюминия и других элементов поднимался вверх вследствие капиллярного поднятия и диффузии, поскольку район характеризуется повышенным испарением. Значительное промерзание грунтов в осенне-зимнее время усиливает процесс капиллярного поднятия влаги к фронту промерзания. Попадая в щелочную среду, реагируя с катионами цинка, отрицательные коллоиды марганца выпадают из растворов в виде псиломелана и других минералов, образуя землистые разности, корочки и т. д. При гранулометрическом анализе рыхлых элювио-делювиальных отложений эта группа минералов попадает в классы 0,005—0,125 *мм,* увеличивая в них содержание цинка в 3—10 раз по сравнению с другими классами.

Процессы накопления цинка, связанные с минералами марганца, более широко развиты в верхних частях элювио-делювиальных отложений, что можно объяснить также связью марганца с биогенными процессами и слабой инфильтрацией атмосферных осадков.

Поведение свинца во вторичных ореолах Куруптыкенского месторождения отлично от поведения цинка. В силу малой растворимости вторичных минералов, свинец, как правило, образует механические ореолы рассеяния, которые отражают форму рудных тел и незначительно снесены вниз по склону. Тем не менее характерно некоторое обогащение тонких классов свинцом для проб, отобранных с глубины 0,2 *м* (из подпочвенного слоя), что можно объяснить как процессами сорбции свинца глинистым материалом, так и образованием нерастворимых карбонатов свинца при наличии (в ряде случаев) известкового горизонта в нижней части подпочвенного слоя.

Итак, для южных и юго-западных районов Восточного Забайкалья, где процессы инфильтрации развиты слабо, а процессы диффузии, капиллярного поднятия и испарения преобладают, на водоразделах и склонах развиваются нормальные элювио-делювиальные ореолы рассеяния свинца и цинка с незначительным сносом вниз по склону. При этом наблюдается обогащение вторичных ореолов легкоподвижным цинком.

В северо-восточной части описываемой территории (рис. 2) месторождения Нерчинско-Заводского рудного узла также характеризуются континентальным климатом. Средняя температура января —29,1° С, июля 18,9° С. Количество осадков несколько больше, чем в южных районах, 360—380 *мм* в год. Отчетливое увеличение содержания цинка в водах при высоких уровнях воды в период летних дождей (от 14 до 60 *мг/л*) свидетельствует об усилении процессов инфильтрации. В этих районах инфильтрация примерно в два раза выше, чем в юго-западных. Значительного обогащения легкоподвижным цинком вторичных ореолов не отмечено. Если на месторождении юго-западной зоны вторичные ореолы в 100 раз более богаты цинком, чем окисленные руды, то на месторождении северо-восточной зоны они лишь в 1,5 раза богаче окисленных руд.

При последовательном рассмотрении процесса выветривания в северо-восточной части района так же, как и юго-западной, можно вы-

делить две стадии в образовании элювио-делювиальных отложений. Однако сам процесс формирования вторичных элювио-делювиальных ореолов здесь не совсем такой, как в южных районах, где в процессе формирования рыхлых отложений цинк в виде кислых растворов вместе с коллоидными растворами двуокиси марганца, окислов железа, кремния, алюминия и других элементов поднимается вверх, вследствие капиллярного поднятия и диффузии, и закрепляется в верхних частях рыхлых элювио-делювиальных отложений в связи с более жарким климатом и преобладанием процессов испарения над процессами инфильтрации. В северо-восточных районах, благодаря бóльшему количеству выпадающих осадков, бóльшему увлажнению почво-грунта, бóльшей инфильтрационной способности, цинк выносится грунтовыми водами и из зоны окисления, и из рыхлых элювио-делювиальных отложений. Благодаря бóльшим высотам и бóльшей эрозионной изрезанности рельефа на северо-востоке, а также бóльшему распространению многолетней мерзлоты и процессов солифлюкции на склонах, здесь создаются благоприятные условия для образования шлейфообразных ореолов. Ореолы этого типа образуются не только в силу особенностей рельефа [Квятковский, 1961], наличия вогнутых склонов, которые способствуют образованию шлейфов и накоплению металла в ореоле, но и в силу развития многолетней мерзлоты на склонах. Последняя, как уже отмечалось выше, улучшает фильтрационные свойства верхней части разреза. Глубина залегания верхней границы мерзлых пород достигает здесь 3—5 *м*. Эта граница является водоупором, по которому приповерхностные грунтовые воды стекают по склонам до естественного базиса эрозии, перенося как тончайшие механические частицы, так и растворы с гидроокислами железа и марганца, со свинцом и цинком. По мере движения вод по склону часть гидроокислов марганца и железа со свинцом и цинком выпадает из растворов, обогащая рыхлые элювио-делювиальные отложения, создавая солевую долю в сложном солевом и механическом ореоле рассеяния. Доля солевой составляющей значительна и для таких элементов, как свинец, так как наиболее богатой свинцом является слабомагнитная фракция рыхлых отложений из элювио-делювиальных ореолов рассеяния [Крицук, 1963]. При этом, если обогащение элювио-делювиальных ореолов гидроокислами железа и марганца для южных районов мы связывали с развитием почвенных процессов, то в северо-восточных районах значительное обогащение ими рыхлых элювио-делювиальных отложений можно в какой-то мере объяснить изменением миграционных рядов в условиях развития многолетне-мерзлых пород. Так, если для коры выветривания при положительных температурах Б. Б. Полынов [1956] устанавливает ряд выноса элементов $Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+} > H^{+} > Mn^{2+} > Fe^{3+} > Al^{3+} > Ti^{4+}$, то для северных районов с развитием многолетне-мерзлых пород И. А. Тютюнов [1959] для глубины 20—30 *см* устанавливает ряд выноса $Na^{+} > Ca^{2+} > Ti^{4+} > Al^{3+} > Mn^{2+} > Mg^{2+} > Fe^{3+}$.

Таким образом, региональная зональность, которая создается в результате различных климатических условий для юго-западной и северо-восточной частей Восточного Забайкалья, проявляется не только в своеобразии почв, растительности, развитии многолетней мерзлоты, но и в развитии вторичных ореолов — нормальных на юге и шлейфообразных на севере.

Региональная зональность проявляется не только в самой верхней части литосферы при формировании почв и вторичных элювио-делювиальных ореолов, но и при развитии зон окисления на различных полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья. Здесь, как

правило, развита хорошо проработанная зона окисления. Зона распространения вторичных минералов располагается обычно на глубине 60—70, до 100—140 и даже 200 *м*. Однако качественный и количественный состав ее отдельных стадий несколько различен для месторождений, расположенных на севере и юге. Для большинства северных участков и месторождений основными минералами зоны окисления являются гидроокислы железа, лимонит, церуссит, в меньшей степени — смитсонит и каламин, изредка гидроцинкит и ярозит. На Акатуевских месторождениях, расположенных южнее, наряду с лимонитом и псиломеланом, основными компонентами окисленных руд являются церуссит, смитсонит, скородит, а также бедантитовые охры и кальциевые (?) арсенаты. На месторождении, расположенном на юге района, состав окисленных руд в основном, по-прежнему, определяется смесью лимонита, церуссита, смитсонита, псиломелана и остаточного галенита. Однако такие минералы, как каламин, ярозит, англезит, пиролюзит, бедантит, начинают играть существенную роль. Кроме того, встречаются плюмбоярозит, миметезит, малахит, азурит, гематит, ледгеллит, арсенат кальция, гетеролит и вульфенит.

Естественно, что это лишь самая общая картина развития зоны окисления в районах Восточного Забайкалья. В каждом конкретном случае она усложняется в соответствии с геологическими условиями, рельефом, явлениями многолетней мерзлоты и т. д. Но и в таком обобщенном виде при движении с северо-востока на юго-запад постепенно изменяется минеральный состав зон окисления, появляются минералы более поздних стадий развития (арсенаты, вульфенит и т. д.).

Как показал Ю. Ю. Бугельский [1962], реакции начальных стадий развития зоны окисления (образования сульфатов гидроокислов) имеют отрицательную величину изобарного потенциала и могут самопроизвольно протекать в прямом направлении. Эти реакции сопровождаются выделением большого количества тепла, что подтверждается образованием таликов в районах развития многолетней мерзлоты. Реакции более поздних стадий зоны окисления (начиная с карбонатной) имеют положительную величину изобарного потенциала. Для таких реакций необходим приток тепла. Источником тепла для образования минералов средних стадий может служить тепло, выделяющееся при окислении сульфидов, которые в эти стадии еще не полностью окислены. При полном окислении сульфидов источником тепла служит солнечная энергия.

На фоне региональной зональности в плане выявляется зональность и по вертикали, характерная для северо-восточных районов, более высоких, с большей эрозионной изрезанностью. На повышенных элементах рельефа формируются, согласно схеме Б. Б. Полынова [1956], элювиальные ландшафты с характерным обеднением легкоподвижными элементами. В верхних частях склонов на типичных элювиальных ландшафтах иногда вообще не наблюдается ореолов рассеяния, а ниже по склону в условиях формирования трансэлювиальных ландшафтов вынос материала значительно меньше, и, наконец, в супераквальных условиях происходит его накопление за счет испарительной аккумуляции. Для южных районов влияние испарительной аккумуляции настолько велико, что и в типичных элювиальных ландшафтах в ореолах рассеяния скапливаются легкоподвижные элементы.

Таким образом, территории Восточного Забайкалья свойственна региональная зональность при формировании вторичных ореолов рассеяния свинца и цинка. Связанная с физико-географическими особенностями эта зональность отражается не только в распределении почв

и вторичных ореолов рассеяния, но и в развитии зон окисления сульфидных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

Бугельский Ю. Ю. Гипергенная миграция рудных компонентов в различных климатических районах. Сб. «Кора выветривания», вып. 4. Изд. АН СССР, М., 1962.

Квятковский Е. М. Некоторые закономерности развития рельефа горных районов и формирование вторичных ореолов рассеяния. Зап. ЛГИ, т. XXXIX, вып. 2, 1961.

Крицук И. Н. О роли сорбции в формировании элювиально-делювиальных ореолов рассеяния. Зап. ЛГИ, т. XLV, вып. 2, 1963.

Осадчий Н. И., Орлова Л. М. Многолетняя мерзлота Читинской области. Тр. VII совещания по мерзлотоведению. Изд. АН СССР, М., 1959.

Полынов Б. Б. Избранные труды. АН СССР, М., 1956.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрической съемки. Изд. АН Каз. ССР, 1959.

Тютюнов И. А. Криогенез почв и горных пород. Тр. VII совещания по мерзлотоведению. Изд. АН СССР, М., 1959.

Типы местности и природное районирование Читинской области. Изд. АН СССР, М., 1961.