

УДК 574.4

БИОГЕННЫЕ И ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТОВ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ

О.А. Ельчининова, А.В. Пузанов

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: puzanov@iwer.ru

Неоднородность элементного состава почвенного покрова и растительности Алтае-Саянской горной страны обусловлена разнообразием и сложностью геоморфологических, геологических, гидрографических, климатических условий. Почвы региона, не испытывающие влияния рудных тел месторождений и ореолов рассеяния, содержат марганца ниже кларка, цинка – на его уровне, меди, кобальта, ртути – выше. Аномальные концентрации ртути и кадмия обнаружены в почвах, формирующихся над ртутными месторождениями. Средняя концентрация химических элементов в растениях, за исключением марганца, находится в пределах фоновых значений и не превышает максимально допустимый уровень в кормах, а концентрация элементов-токсикантов имеет допустимый уровень для БАДов на растительной основе. Растения-манганофилы (представители семейств Ericaceae и Vacciniaceae) могут накапливать марганца более 2000 мг/кг.

Ключевые слова: почвенный покров, растительность, фоновые территории, месторождения.

DOI: 10.24411/2410-1192-2019-15413

Дата поступления 2.09.2019

Алтае-Саянская горная страна представляет собой крупную блоковую структуру со сложным горно-котловинным рельефом в центре Азии. Для нее характерно господство средневысотных и высокогорных складчато-глыбовых горных систем, разделенных котловинами. Горная страна включает Алтай, Кузнецкий Алатау, Салаирский кряж, Кузнецкую котловину, Западный и Восточный Саян, Восточно-Тувинское нагорье и Тувинскую котловину. Общая площадь Алтае-Саянской горной страны в пределах России составляет около 700 тыс. км². Целью настоящих исследований была оценка биогеохимического состояния компонентов ландшафтов Алтае-Саянской горной страны.

Объекты и методы исследования

В основу полевых исследований положен сравнительно-географический метод. Объектами исследования были основные компоненты ландшафтов Алтае-Саянской горной страны – почвы и

растения. Почвенные разрезы закладывали в системе геоморфологических профилей, образцы отбирали по генетическим горизонтам. Определение физико-химических свойств почв выполнено общепринятыми в почвоведении и агрохимии методами. Содержание химических элементов в почвах и растениях определено методом атомной абсорбции. При интерпретации полученного материала использован сравнительно-генетический метод. Полученную информацию подвергали вариационно-статистической обработке.

Результаты исследований

У западных предгорий Алтая и Салаирского кряжа заканчивается широтное простираание степной и лесостепной природных зон равнин. На остальной территории Алтае-Саянской горной страны степь распространена изолированно между горными хребтами, покрытыми тайгой. Основу почвенного покрова межгорных котловин состав-

ляют черноземы выщелоченные, обыкновенные, южные и горные, а в наиболее сухих местах – горные каштановые почвы. Количество гумуса в светло-каштановых почвах составляет 1,5-2,5 %, в черноземах обыкновенных – 4-12 %. Реакция среды варьирует от нейтральной до слабощелочной.

Горы покрыты преимущественно таежными елово-пихтовыми, а также лиственничными, лиственнично-кедровыми и сосновыми лесами. На наиболее увлажненных склонах запада и севера Алтая и Саян под кедрово-пихтово-осиновыми лесами (черневой тайгой) формируются горно-лесные серые почвы. Под парковыми лиственничными лесами и их производными с мезоксерофитным травянистым покровом встречаются горно-лесные черноземовидные почвы. На внутренних хребтах с более континентальным климатом под лиственничными и сосновыми лесами господствуют подзолистые, буро-таежные кислые неоподзоленные почвы. В Саянской и Тувинской областях, где значительно распространена многолетняя мерзлота, формируются мерзлотные почвы – подбуры таежные. Содержание органического вещества в горно-лесных почвах находится в пределах от 4 % (в дерново-глубокоподзолистых и светло-серых) до 18 % (в горно-лесных черноземовидных), реакция среды изменяется от кислой до слабощелочной (в карбонатных горизонтах).

Значительные площади занимает высокогорный пояс, растительный покров которого состоит из кустарников (ерников), субальпийских и альпийских лугов, горной тундры; местами встречаются каменные россыпи и ледники. Под луговой растительностью сформировались горно-луговые почвы, характеризующиеся маломощным защебненным профилем, ярко выраженным проявлением дернового макропроцесса, выщелоченностью профиля, отсутствием признаков оподзоленности, кислой реакцией почвенного раствора.

Горные тундры представлены сообществами кустистых лишайников на горно-тундровых светлых слабогумусированных почвах, травянисто-лишайниковых – на горно-тундровых торфянистых почвах, травянисто-дриадовыми сообществами – на горнотундровых дерновых почвах. Наиболее характерными свойствами горно-тундровых почв являются сильная защебненность профиля, значительное накопление в органогенных горизонтах слабоминерализованного, высокозольного органического вещества фульватной природы, кислая реакция среды, равномерное распределение главных компонентов валового химического состава по профилю, биогенная аккумуляция кальция, марганца, фосфора и серы в верхних горизонтах.

Контрастный литохимический фон, петрографическое и гранулометрическое разнообразие аккумулятивных и остаточных кор выветривания, экология горного почвообразования и обусловленные ею разносторонние почвообразовательные процессы, разнообразные биогеохимические циклы элементов и ландшафтно-геохимические ситуации в системе высотной поясности Алтае-Саянской горной страны обусловили существенную неоднородность микроэлементного состава ее почвенного покрова (табл. 1).

Главным фактором, определяющим уровень содержания химических элементов в почвенном покрове, являются почвообразующие породы, представленные элювиальными, элювио-делювиальными, аллювиальными, аллювиально-делювиальными, озерно-аллювиальными и золовыми отложениями, лессовидными карбонатными суглинками и бурыми бескарбонатными глинами. Геохимические особенности четвертичной коры выветривания определяются высотной поясностью.

Физико-химические параметры почв, влияющие на концентрацию, пространственное и внутривертикальное

распределение химических элементов: содержание гумуса, карбонатов, реакция среды, емкость поглощения, поглощенные катионы, а также гранулометрический состав изменяются в широких пределах. Содержание гумуса в органических горизонтах колеблется от 1,6 в светло-каштановых до 24,4 % в горно-тундровых почвах; карбонатов – от полного отсутствия в почвах высокогорного и горно-лесного поясов до 25 % в каштановых почвах. Реакция среды находится в диапазоне от сильнокислой в горно-лесных дерново-глубокоподзолистых и горно-тундровых до сильнощелочной в каштановых почвах; гранулометрический состав – от песчаного до глинистого.

Выявлена биогенная аккумуляция микроэлементов в почвах Алтае-Саянской горной страны – важная экологическая характеристика наземных ландшафтов. Биогенное накопление марганца свойственно большинству типов почв, меди – степным почвам, цинка – горно-лесным и степным почвам, кобальта – горно-лесным черноземовидным и черноземным почвам. Депонирование гумусом микроэлементов предотвращает их выщелачивание в условиях слабокислых транзитных ландшафтов горных регионов; степень насыщения гумуса микроэлементами убывает от горных почв к почвам степных котловин. Современные процессы опустынивания в сухостепных котловинах обуславливают низкий уровень концентрации микроэлементов в пахотных вариантах черноземных и каштано-

вых почв и изменения их биогеохимических циклов.

В недрах Алтае-Саянской горной страны сосредоточены разнообразные и богатейшие по запасам полезные ископаемые. В пределах Алтае-Саянской горной страны выделяются территории с аномально высокими концентрациями цинка, свинца, меди, кобальта, никеля, ртути, ванадия, хрома и вольфрама в компонентах экосистем – биогеохимические провинции, которые по контуру совпадают с ореолами рассеяния полиметаллических месторождений (табл. 2).

Содержание тяжелых металлов в почвах, формирующихся в пределах биогеохимических провинций, значительно превышает верхние пороговые концентрации и ОДК. Растения характеризуются накоплением значительных количеств кобальта, меди, цинка, свинца, никеля, морфологическими отклонениями, нарушением физиологических функций.

Аномальные концентрации тяжелых металлов обнаружены в почвах, формирующихся над ртутными месторождениями, где среднее содержание ртути составляет 2,3 мг/кг и превышает фоновое более чем в 20 раз. В отдельных точках концентрации этого элемента достигают 36 мг/кг. Тем не менее, специфика геохимического поведения ртути в ее сульфидных месторождениях, которые в основном приурочены к высокогорьям и среднегорьям, обусловила экологически неопасные ее концентрации в почвах геохимически сопряженных с ними котловин.

Таблица 1

Содержание химических элементов в почвах Алтае-Саянской горной страны, мг/кг

| Химический элемент | Кларки | | Содержание химических элементов в почвах | | | | |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---------|
| | в земной коре [1] | в почвах мира [2] | высокогорного пояса | горно-лесного пояса | лесостепного пояса | межгорных котловин и речных долин | в целом |
| Mn | 1500 | 850 | 631 | 835 | 613 | 604 | 660 |
| Zn | 83,0 | 50 | 55,7 | 61,1 | 64,6 | 51,4 | 54,9 |
| Cu | 47,0 | 20 | 30,1 | 35,5 | 45,9 | 33,2 | 34,1 |
| Co | 18,0 | 10 | 15,3 | 17,6 | 18,5 | 13,2 | 14,8 |
| Hg (фоновые территории) | 0,08 | 0,01 | 0,041 | 0,099 | – | 0,103 | 0,102 |
| Hg (районы месторождений) – | 0,06-36 | | | | | | |

Примечание: «–» – не определяли.

Высокие содержания свойственны только почвам, находящимся непосредственно над рудными телами. Ореолы рассеяния локализованы в пространстве, содержание ртути в почвах ореолов в 2-3 раза выше фоновых значений.

Уровень концентраций кадмия в почвах в районах месторождений превышает фоновые в 380-400 раз. В целом, почвы Алтае-Саянской горной страны, не испытывающие влияния рудных тел месторождений и ореолов рассеяния, содержат марганца ниже кларка почв [2], цинка – на его уровне, меди, кобальта, ртути – выше. Средняя концентрация химических элементов в растениях Алтае-Саянской горной страны находится в пределах фоновых значений (табл. 3).

Встречаются как растения-манганофилы, накапливающие марганца до 2083 мг/кг (представители семейств *Ericaceae* и *Vacciniaceae*), так и растения с критическим уровнем марганцевой и цинковой недостаточности. На субальпийских и альпийских отгонных пастбищах возможна негативная реакция животных на повышенное содержание марганца в кормовых растениях. В целом, количество химических элементов в растениях, за исключением марганца, не превышает максимально допустимый уровень в кормах [4], а концентрация элементов-токсикантов – допустимый уровень для БАДов на растительной основе [5].

Заключение

В целом, почвы Алтае-Саянской горной страны, не испытывающие влияния рудных тел месторождений и ореолов рассеяния, содержат марганца ниже кларка почв, цинка – на его уровне, меди, кобальта, ртути – выше. Аномальные концентрации ртути и кадмия обнаружены в почвах, формирующихся над ртутными месторождениями. Средняя концентрация химических элементов в растениях, за исключением марганца, находится в пределах фоновых значений, не превышает максимально допустимый уровень в кормах, а концентрация элементов-токсикантов – допустимый уровень для БАДов на растительной основе. Растения-манганофилы (представители семейств *Ericaceae* и *Vacciniaceae*) могут накапливать марганца более 2000 мг/кг).

Таблица 2
Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях над полиметаллическим месторождением, Северо-Западный Алтай, мг/кг (Разрез 3з)

| Генетический горизонт | Глубина образца, см | Pb | Zn | Cu |
|--------------------------------|---------------------|------|-----|------|
| A | 10-20 | 20 | 150 | 150 |
| AB | 50-60 | 30 | 100 | 100 |
| B | 70-80 | 30 | 150 | 150 |
| BC | 120-130 | 80 | 300 | 2000 |
| CD | 150-160 | 100 | 200 | 1500 |
| ОДК* | | 130 | 220 | 132 |
| <i>Artemisia absinthium L.</i> | | 61,3 | 117 | 39 |

Примечание: * – в почвах, близких к нейтральным, нейтральным (суглинистым и глинистым), pH KCl > 5,5 [3].

Таблица 3
Микроэлементы в растениях незагрязненных территорий, мг/кг

| Mn* | Cu | Zn | Pb | Cd | Hg |
|---|-----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <i>Алтае-Саянская горная страна</i> | | | | | |
| 65±5 (5-368) | 5,8±0,4 (0,7-19,0) | 28,3±1,1 (3,6-72,0) | 1,39±0,08 (0,05-5,7) | 0,088±0,001 (0,004-1,6) | 0,017±0,002 (0,004-0,13) |
| <i>Естественные уровни содержания в травах суши [2]</i> | | | | | |
| 17-334 | 1-20 | 12-47 | 0,1-10 | 0,07-0,27 | 0,04-0,1 |

Примечание: * – выборка без растений-манганофилов; в скобках – пределы колебаний.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект № 0383-2019-0005).

Список литературы

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555-571.
2. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition. – CRC Press, 2011. – 548 p.
3. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2511-09. – М., 2009.
4. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных (№ 123-41281-87). – М.: ВАСХНИЛ, 1987. – 12 с.
5. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. – М.: ФГУП «ИнтерСЭН», 2002. – 168 с.

References

1. Vinogradov A.P. Sredneye sodержaniye khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh gornyykh porod zemnoy kory // Geokhimiya. – 1962. – № 7. – S. 555-571.
6. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition. – CRC Press, 2011. – 548 p.
3. Oriyentirovochno dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Gigenicheskiye normativy GN 2.1.7.2511-09. – M., 2009.
4. Vremenny maksimalno dopustimy uroven (MDU) nekotorykh khimicheskikh elementov v kormakh dlya selskokhozyaystvennykh zhivotnykh (№ 123-41281-87). – M.: VASKhNIL, 1987. – 12 s.
5. Gigenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov. Sanitarno-epidemiologicheskiye pravila i normativy. SanPiN 2.3.2.1078-01. – M.: FGUP «InterSEN», 2002. – 168 s.

BIOGENIC AND TOXIC ELEMENTS IN LANDSCAPE COMPONENTS OF THE ALTAI-SAYAN MOUNTAIN COUNTRY

O.A. El'chininova, A.V. Puzanov

Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, E-mail: puzanov@iwep.ru

The heterogeneity of the elemental composition of the soil cover and vegetation of the Altai-Sayan mountain country is due to the diversity and complexity of geomorphological, geological, hydrographic, and climatic conditions. The soils of the Altai-Sayan mountain country, which are not affected by the ore bodies of deposits and scattering halos, contain manganese below Clark, zinc – at its level, copper, cobalt, mercury-above. Abnormal concentrations of heavy mercury and cadmium were found in soils formed over mercury deposits. The average concentration of chemical elements in plants, with the exception of manganese, is within the background values. does not exceed the maximum permissible level in feed, and the concentration of elements-toxicants-the permissible level for plant-based dietary Supplements. Plants-manganophils (representatives of the families Ericaceae and Vacciniaceae) can accumulate manganese more than 2000 mg/kg).

Keywords: soil cover, vegetation, background territories, deposits.

Received September 2, 2019