

Г. И. Махонина

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ, ВЫРОСШИХ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ УРАЛА

Знание химического состава растений необходимо при изучении целого ряда биологических проблем.

Во-первых, растительность является причиной почвообразовательного процесса и своим составом оказывает влияние на характер почвенного покрова. В связи с этим особый интерес представляет пионерная растительность, поселяющаяся на разнообразных по своим свойствам породах промышленных отвалов, образующихся при открытом способе добычи полезных ископаемых и формирующих первичные почвы.

Во-вторых, это важно для выяснения условий минерального питания растений, играющего большую роль в получении высоких урожаев. В этом плане также необходимо знать химический состав растений, поселяющихся на промышленных отвалах, на этих, весьма своеобразных экотопах. Выводы из такого изучения должны учитываться при выборе мероприятий по биологической рекультивации отвалов, так как только агрохимической характеристики пригодности пород может в определенных случаях оказаться недостаточно.

В-третьих, растительный покров служит пищей для животных, в том числе и домашних, которые, поедая растения разной питательной ценности, передают ее человеку. И в этом отношении это интересно, так как, по нашим наблюдениям, отвалы на Урале в первую очередь повсеместно используются как пастбища.

В данной работе приводятся результаты определения химического состава пионерных растений, поселяющихся на промышленных отвалах Урала, образованных при добыче открытым способом железа и никеля.

Сбор растений проводился в фазе вегетации или цветения, собиралась только надземная часть. Всего проанализировано около 38 видов растений: типчак; овсяница луговая; мятлик луговой, обыкновенный, узколистый; вейник наземный; пырей ползучий; лисохвост sp; тимофеевка sp; щучка дернистая; донник белый; клевер горный, луговой, ползучий, средний; вика sp; чина луговая;

полюнь австрийская, горькая, Маршалла, обыкновенная, приморская, Сиверса, сизая, холодная; экстрагон, тысячелистник мелколистный, благородный; иван-чай; мать-и-мачеха; хвощ полевой; полевица белая; смолевка обыкновенная; качим ср; льнянка обыкновенная; лебеда ср; волдырник ягодный; кровохлебка ср.

Растения анализировались на содержание следующих элементов: N, P, K, Na, Fe, Cu, Zn, Co, Mn, Pb, Ni. Макроэлементный состав определялся после мокрого озоления навески (Куркаев, 1959), микроэлементы — после сухого озоления растительной массы, растворения золы и последующего анализа на атомно-абсорбционном анализаторе.

Полученные результаты показывают, что химический состав растений как по содержанию одного и того же элемента, так и разных сильно варьирует. Для получения общего представления о химическом составе растительного покрова отвалов результаты анализов по отдельным видам были усреднены по каждому месторождению (табл. 1).

Таблица 1

Средний химический состав растений (процент на сухое вещество), выросших на отвалах месторождений Урала

Элемент	Железородные			Никелевые	
	степь	подзона тайги		степь	подзона южной тайги
		южная	северная		
N, %	1,62	2,05	2,94	1,85	2,16
P »	0,20	0,20	0,20	0,18	0,18
K »	1,83	2,26	2,22	не опр.	не опр.
Na »	0,09	0,09	0,04	не опр.	не опр.
Fe »	0,37	0,32	0,19	1,07	0,22
Cu, мг/кг	11,29	77,10	11,86	19,97	20,57
Zn »	31,61	81,35	65,21	36,39	32,99
Ni »	15,01	17,40	14,16	244,17	142,00
Co »	5,96	24,65	10,73	43,61	68,90
Mn »	60,13	137,74	130,63	196,17	90,5
Pb »	22,55	41,56	40,60	38,86	84,3

Полученные данные сравнивались с литературными (табл. 2).

Как видно из приведенных результатов, химический состав растений, выросших на отвалах разных месторождений Урала, значительно отличается от состава растений, выросших на территориях со средними значениями изучаемых элементов.

Особенно эти различия заметны в содержании микроэлементов. Так, среднее содержание железа в растениях определяется величиной по разным источникам несколько варьирующей, но в общем порядка 100—200 мг/кг сухого веса. Среднее содержание железа

в пастбищных растениях СССР, по В. В. Ковальскому (Ковальский, 1974), составляет 190 мг/кг. Среднее же содержание железа в растениях, выросших на отвалах железорудных месторождений Урала, в 9—18 раз больше, на никелевых — в 11—53 раза. Это избыточное количество уже токсично.

Аналогичная картина наблюдается и в отношении других микроэлементов. Так, среднее содержание никеля в растениях со-

Таблица 2

Пороговые концентрации элементов в растениях

Элемент	Среднее содержание	Недостаток	Норма	Избыток	Автор
N, %	3 1,2	Bowen, 1966 Ринькис, 1972
P »	0,25			...	Томме и др., 1948
K »	1,4 2,03	Bowen, 1966 Томме и др., 1948
Na »	1,52				Томме и др., 1948
Fe, мг/кг	190	до 25 21—115	24—30 28—250	250	Ковальский, 1974 Шарпан, 1968
Cu »	6,4	до 3—5	3—12 и выше	20—40	Ковальский, 1974
Zn »	21	20—30	20—60 и выше	60—100	Ковальский, 1974
Ni »	3	—	0,4—40	55—188	Шарпан, 1968
Co »	0,32	до 0,25	0,25—1	1	Ковальский, 1974
Mn »	73	до 20	20—60	60—70	Ковальский, 1974
Pb »	2,7				Ковальский, 1974

ставляет примерно 3 мг/кг сухого веса, а на отвалах железорудных месторождений его в 5—6 раз больше и еще больше на никелевых — в 47—81 раз, при этом подобные количества токсичны как для самих растений (Малюга, 1950), так и для животных,

питающихся этими растениями (Ковальский, 1974). Повышено и содержание меди. Среднее ее количество в растениях $6,4 \text{ мг/кг}$, до 20 мг/кг сухого веса не вызывает токсикозов у животных. В растениях, выросших на отвалах, содержание меди в 2—12 раз выше среднего и подходит к токсичному пределу.

Среднее содержание кобальта в растениях невелико — $0,32 \text{ мг/кг}$ сухого веса, и избыток его, угнетающий синтез витамина B_{12} , отмечен уже за пределом 1 мг/кг . Во всех изученных нами растениях эта величина перекрывается в 6—70 раз. Особенно велика она на никелевых месторождениях, где кобальт идет сопутствующим полезным ископаемым.

На Южном Урале (Малюга, 1950; Ковальский, 1974) выделена эндемическая биогеохимическая провинция с избыточным содержанием никеля, кобальта и меди. Избыточное содержание указанных элементов вызывает заболевания у домашних и диких животных, кожные заболевания у местного населения и появление уродливых форм у растений (астра мохнатая, сон-трава). Интересно отметить, что содержание никеля, кобальта и отчасти меди значительно выше в растениях, выросших на отвалах, чем на почвах, покрывающих месторождение. Следовательно, растения, выросшие на отвалах, будут еще более токсичны для человека, животных и растений.

Цинк накапливается преимущественно на железорудных месторождениях, расположенных в лесной зоне, в количествах, близких к верхнему пределу, вызывающему токсикоз; на остальных месторождениях содержание его близко к норме.

Марганец накапливается в растениях в среднем около 73 мг/кг сухого веса. В изученных нами растениях содержание его в 1,5—2,5 раза выше и входит в пределы верхних пороговых концентраций, вызывающих токсикоз.

В последнее время большое внимание уделяется изучению загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и в их числе свинцу. Среднее его содержание в растениях невелико — $2,7 \text{ мг/кг}$ сухого веса, в растениях, выросших на отвалах, его в 10—40 раз больше.

Таким образом, мы видим, что растения, выросшие на отвалах железно- и никелевых месторождений Урала, содержат токсичные концентрации железа, никеля, кобальта, свинца и отчасти цинка, марганца и меди.

В принципе это не удивительно, так как уже давно известно, что вокруг каждого полезного ископаемого существует ареал его рассеяния, который при неглубоком залегании рудного тела от поверхности (а именно такая руда и добывается открытым способом как на Урале, так и в других районах) захватывает окружающие породы и почвы и затем накапливается в растениях. На этой особенности разработан биогеохимический метод поиска полезных ископаемых, найдены индикационные виды растений, выделяются биогеохимические провинции (Виноградов, 1963; Ковальский, 1974

и др.). Чем дальше находится надрудная порода от полезного ископаемого, тем меньше в ней содержание рудного элемента.

В этом плане отвалы представляют собой особые образования, так как при их складировании чаще всего верхние вскрышные породы (часто и почвенный покров) оказываются в основании отвала, а на его поверхности — слои пород, близкие к рудному телу. Вследствие этого растения, выросшие на таких обогащенных тем или иным элементом породах, содержат его в очень больших количествах токсичных как для самих растений, так и для животных, а следовательно, и для человека.

В связи с этим, на наш взгляд, весьма важно при оценке пригодности пород отвалов для целей биологической рекультивации учитывать содержание не только макроэлементов, но и микроэлементов в породах отвалов и в самих растениях, так как растительная продукция со многих отвалов рудных месторождений будет токсичной для человека и животных.

Известно, что не все растения, растущие на почвах с повышенным содержанием того или иного элемента, одинаково реагируют на его избыток. Некоторые виды растений содержат большое количество тяжелых металлов и нормально развиваются (привычные концентраторы), другие патологически изменяются (непривычные концентраторы), есть растения, которые не накапливают тяжелых металлов в избыточном количестве, не дают морфологических и патологических изменений (Петрунина, 1966). На отвалах, обогащенных тяжелыми металлами, необходимо выявлять указанные группы видов растений, с тем, чтобы использовать их в зависимости от направления рекультивации.

Индифферентные виды растений будут наиболее перспективными при проведении биологической рекультивации, а привычные концентраторы могут быть использованы для вторичной добычи ценных металлов.

Весьма интересно накопление и макроэлементов. Так, содержание фосфора в разных растениях соответствует среднему его содержанию в наземных растениях, причем колебания на разных месторождениях и в разных видах невелики независимо от обеспеченности пород подвижными формами фосфора, которая колеблется на разных месторождениях от очень высокой до очень низкой. В связи с этим встает вопрос о применимости существующих методик определения подвижных форм фосфора в почвах (разработанных преимущественно для пахотных горизонтов) к новым минеральным субстратам промышленных отвалов. Этот вопрос, на наш взгляд, требует специального изучения, так как в настоящее время все классификации пород отвалов базируются на использовании почвенных методик при оценке пригодности пород для растений.

Как возможное объяснение несоответствия между обеспеченностью пород подвижными формами фосфора и содержанием его в растениях могут служить те работы (Шемаханова, 1968 и др.),

которые указывают на особенно заметную роль консортных связей в усвоении труднодоступных элементов, в частности фосфора.

По-видимому, только симбиотическими отношениями можно объяснить и такой удивительный факт, что все растения на отвалах, практически безазотных, тем не менее содержат его в нормальных количествах.

Содержание калия в растениях также находится в пределах нормального.

Среднее содержание натрия в растениях по разным литературным источникам очень варьирует. М. Ф. Томмэ и др. (Томмэ, Ксанфопулу, Сементовская, 1948) в кормовых растениях СССР определяют среднее содержание натрия в 1,52% на абсолютно сухое вещество с колебаниями от 0,03 до 5,32%. По данным Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич (1965), содержание натрия в растениях колеблется от 0,01 до 0,37%. По нашим данным, количество натрия в растениях находится в пределах нормы по Л. Е. Родину и Н. И. Базилевич и значительно ниже в сравнении с данными М. Ф. Томмэ.

Сравнение накопления химических элементов в отдельных группах растений — бобовых, злаках и разнотравье — показало, что в 64 случаях из 100 в разнотравье накапливается химических элементов больше, чем в бобовых и злаковых. Бобовые всегда больше содержат азота. Полученные данные согласуются с имеющимися в литературе.

Ранее нами было показано (Махонина, Чибрик, 1974), что в процессе почвообразования на отвалах появляется характерное почвенное распределение подвижных форм фосфора и калия (увеличивается их содержание от нижних горизонтов к верхним и от более молодых отвалов к более старым) и происходит накопление гумуса и азота с тем же характером распределения.

Мы предполагали, что на породах, не обеспеченных указанными элементами, в процессе почвообразования будет увеличиваться и содержание этих элементов не только в породах, но и в растениях. Однако этого не произошло. Проанализировав одни и те же виды, растущие на отвалах разного возраста и разного содержания азота и фосфора, мы не получили каких-либо закономерных изменений в их составе, кроме случайного варьирования.

Таким образом, химический состав растений, выросших на промышленных отвалах при добыче железа и никеля, отличается от обычных в содержании микроэлементов. Многие микроэлементы накапливаются в токсичных для животных концентрациях, что нужно учитывать при использовании растительной продукции в сельском хозяйстве и при проведении биологических мероприятий по их рекультивации.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов А. П., 1963. Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции. — «Геохимия», № 3, 43—50.

- Ковальский В. В., 1974. Геохимическая экология. М.
- Куркаев В. Т., 1959. Ускоренное определение азота, фосфора и калия в растениях из одной навески.— «Почвоведение», № 9, 114—118.
- Малюга Д. П., 1950. О биохимических провинциях на Южном Урале.— «ДАН», 70, № 2, 257—259.
- Махонина Г. И., Чибрик Т. С., 1974. Начальные этапы почвообразования на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза при естественном за-растании их растительностью.— В сб.: Растения и промышленная среда, вып. 3. Свердловск.
- Петрунина Н. С., 1966. Геохимическая экология растений в районах, обогащенных тяжелыми металлами.— В сб.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ.
- Ринькис Г. Я., 1972. Оптимизация минерального питания растений. Рига.
- Родин Л. Е., Базилевич Н. И., 1965. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.
- Томмэ М. Ф., Ксанфопуло О. И., Сементовская Н. М., 1948. Минеральный состав кормов СССР. М.
- Шемаханова Н. М., 1968. Микотрофия и ее роль в жизни растений.— В кн.: Вопросы биологии и экологии доминантов и эдификаторов растительных сообществ. Пермь. (Учен. зап. Пермск. ун-та, вып. 64).
- Вовен Н. I. M., 1966. Trace elements in biochemistry. L., N.Y.
- Charman H. D., 1968. Diagnostic criteria for plant and soils. Univ. Calif.