

УДК 631.4

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЕСТЕСТВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПОСТМЕЛИОРИРОВАННОМ ЛЁССЕ ПРЕДГОРИЙ ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ

А.Т. Сейтменбетова

Казахский научно – исследовательский институт почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова, 050060, Алматы, пр-т аль-Фараби, 75в, seytmenbetova77@mail.ru

В статье рассматриваются процессы накопления тяжелых металлов (Fe, Cr, Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Cd) в растительности на постмелиорированном лёссе предгорий Заилийского Алатау. Установлена закономерность их аккумуляции в зависимости от вида.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое развитие земледелия на юго - востоке Казахстана способствовало вовлечению под орошение территорий предгорных равнин со сложным рельефом. В результате планировочных работ предшествующих оросительным мероприятиям, а так же развития водной эрозии значительные площади пашни потеряли верхний гумусовый слой и на дневную поверхность обнажилась материнская порода – лёсс и лёссовидные суглинки. Воспроизводство и повышение плодородия антропогенно – нарушенных земель является актуальной проблемой экологии и почвоведения. Наряду с этим в условиях Казахстана, с его многочисленными шахтами, карьерами, широким размахом геолого - разведочных работ, актуальность темы удваивается.

Поисками путей восстановления почвенного покрова и воспроизводства плодородия нарушенных орошаемых земель на юго - востоке Казахстана с 1967 года занимается группа ученых Казахского национального аграрного университета под руководством профессора Т. Тазабекова [1, 2]. Данная работа является логическим продолжением выше отмеченных исследований.

Целью исследований является оценка экологического состояния фитоценозов антропогенно - нарушенных почв в условиях первичного почвообразовательного процесса на постмелиорированном лёссе, оставленном под залежь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований является материнская почвообразующая порода предгорных тёмно - каштановых почв Заилийского Алатау – лёсс.

Полевые исследования проводились в Талгарском отделении УОС «Агроуниверситет» Казахского Национального Аграрного Университета в условиях мелкоделяночного полевого опыта, заложенном по методике С. А. Захарова [3], на постмелиорированном лёссе, вывернутым на дневную поверхность (горизонт С). Использованные для опыта бетонированные деланки размером 2 м² весной 1991 года были заполнены лёссом до глубины 60 см. Вариантов опыта – 24, один из которых - с естественным ненарушенным горизонтом А тёмно-каштановой почвы. Повторность опыта – трёхкратная.

Изучение накопления тяжелых металлов на постмелиорированном лёссе проводилось в 2002 - 2004 годы на 8 вариантах опыта: контроль (лёсс чистый); лёсс + солома 19,8 т/га; лёсс + солома 59,4 т/га; лёсс + биогумус 9 т/га; лёсс + биогумус 27 т/га; А (с 1971 г.) естественный горизонт тёмно-каштановой почвы (КЗ); лёсс + навоз 19,7 т/га; лёсс (с 1971 г.). Содержание тяжелых металлов в образцах растений определяли атомно-абсорбционным методом по Я.В. Пейве – Г.Я. Ринькису [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенный покров Земли является незаменимым компонентом биосферы. Он выполняет множество разнообразных экологических функций [5], одна из которых - миграция химических элементов по системе: почва > растение > животное > человек.

Выявление уровня содержания тяжелых металлов в наземных экосистемах является одной из актуальных проблем современности, изучению которой посвящены исследования многих ученых. Однако экологическое состояние фитоценозов антропогенно-нарушенных лесовых пород в процессе их сингенеза изучено в меньшей степени. В этой связи, большой научный и практический интерес представляют наши исследования по накоплению тяжелых металлов в фитоценозе постмелиорированного лёсса предгорий Заилийского Алатау, находящегося по Таргульяну [6] в стадии развития почвы: дальнейший рост почвы вглубь и дифференциация на почвенные горизонты.

Как известно, тяжелые металлы – металлы с большой атомной массой или с удельным весом более 8 г/см³ [7]. К ним относятся: свинец, медь, цинк, никель, кадмий, кобальт, сурьма, висмут, ртуть, олово, ванадий, хром, серебро, золото, платина, железо, марганец, а также полуметалл мышьяк. В виду своей токсичности даже при относительно низкой концентрации, а также способности к биологической аккумуляции, все вышеперечисленные тяжелые металлы относятся к опасным химическим загрязнителям окружающей среды.

В условиях нашего опыта при определении содержания тяжелых металлов в растительности постмелиорированного лёсса нами было отобрано 10 видов растений из доминантов, субдоминантов и третьестепенных видов: *Ambrosia*

artemisiifolia L., *Agropyron repens* (L.) P.B., *Lathyrus tuberosus* L., *Avena fatua* L., *Trifolium pratense* L., *Achillea millefolium* L., *Matricaria inodora* L., *Cichorium intybus* L., *Euphorbia helioscopia* L., *Artemisia serotina* Bge. (таблица 1).

Полученные результаты показали, что в составе изучаемых растений присутствует 8 наименований тяжелых металлов. По количественному содержанию их в растительном веществе они располагаются в следующий убывающий ряд: Fe > Cr > Zn > Cu - Ni > Pb > Co > Cd.

В условиях нашего опыта определенной закономерности по накоплению тяжелых металлов на уровне доминантов, субдоминантов и третьестепенных видов установлено не было. Аккумуляция металлов естественной растительностью в большей степени определяется их видовой спецификой.

Железо входит в состав ферментов, принимающих участие в образовании хлорофилла [8]. По запасам в земной коре оно занимает четвертое место после кислорода, кремния и алюминия. Количество данного элемента в растениях ничтожно мало и составляет: хлеба – 1,50; зерновые бобовые – до 2,2; сахарная свекла и картофель – до 12 кг/га. В нейтральных и слабо щелочных почвах подвижность железа резко падает, что приводит к его недостатку в усвояемой для растений форме и как следствие заболеванию хлорозом [9]. Содержание данного элемента в изучаемых растениях варьировало по видам в пределах от 10,24±0,05 до 29,12±0,09 мг/кг. Вариабельность данного показателя позволила нам расположить опытные растения в следующий убывающий ряд: *Ambrosia artemisiifolia* L. > *Agropyron repens* (L.) P.B. > *Artemisia serotina* Bge. > *Lathyrus tuberosus* L. > *Matricaria inodora* L. > *Cichorium intybus* L. > *Trifolium pratense* L. > *Avena fatua* L. > *Euphorbia helioscopia* L. > *Achillea millefolium* L.

Хром является малоподвижным инертным элементом, постоянно присутствующим в растительных и животных организмах. В земной коре количество хрома составляет $8,3 \cdot 10^{-3}$ % от общей массы. Cr присутствует в тяжелых минералах и полевых шпатах (фракция 0,1 - 0,005 мм), в мусковите глинистых минералах

(фракция < 0,005 мм). В почвах преобладают его малорастворимые соединения. В.В. Добровольский [10] указывает на отсутствие биогенной аккумуляции хрома в гумусовом горизонте и равномерное его распределение по почвенному профилю. Наряду с марганцем, кобальтом, медью, никелем, хром участвует в синтезе белков, способствует повышению про-

Таблица 1 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в фитоценозе постмелиорированного лёсса предгорий Заилийского Алатау (мг/кг, 2002 г.)

Русское - латинское название	Cd	Cu	Zn	Ni	Pb	Cr	Fe	Co
Амброзия полыннолистая – <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	0,070	3,49	8,10	3,82	0,73	10,32	29,12	0,33
Пырей ползучий – <i>Agropyron repens</i> (L.) P.B.	0,026	1,68	8,19	11,63	1,84	13,26	27,45	0,40
Чина клубневая – <i>Lathyrus tuberosus</i> L.	0,048	4,39	7,87	2,77	1,74	19,91	23,53	0,55
Овсяг пустой – <i>Avena fatua</i> L.	0,020	0,87	3,71	3,99	0,93	нет	12,66	0,15
Клевер луговой, красный – <i>Trifolium pratense</i> L.	0,024	3,21	6,82	1,79	0,56	11,97	14,83	0,37
Тысячелистник обыкновенный – <i>Achillea millefolium</i> L.	0,090	4,24	8,61	2,66	1,72	24,44	10,24	0,81
Ромашка непахучая – <i>Matricaria inodora</i> L.	0,059	4,40	8,47	1,74	1,60	18,14	19,67	0,54
Цикорий обыкновенный – <i>Cichorium intybus</i> L.	0,053	3,51	7,91	0,06	1,17	16,18	15,16	0,44
Молочай – солнцегляд – <i>Euphorbia helioscopia</i> L.	0,089	2,51	7,98	3,22	0,77	10,69	11,86	0,27
Полынь осенняя – <i>Artemisia serotina</i> Bge.	0,111	4,96	8,56	9,54	2,24	22,70	25,42	0,34

дуктивности фотосинтеза и содержанию хлорофилла в листьях.

Пределы накопления хрома растениями в условиях нашего опыта составляют $10,32 \pm 0,01$ - $24,44 \pm 0,06$ мг/кг, а распределение его по видам фитоценоза определяется следующим убывающим рядом: *Achillea* L. > *millefolium* L. > *Artemisia serotina* Bge. > *Lathyrus tuberosus* L. > *Matricaria inodora* Cichorium intybus L. > *Agropyron repens* (L.) P.B. > *Euphorbia helioscopia* L. > *Trifolium pratense* L. > *Avena fatua* L. > *Ambrosia artemisiifolia* L.

Цинк является основным компонентом фермента карбоангидразы, активизирующего процесс дыхания. В земной коре содержание данного элемента составляет $8,3 \cdot 10^{-3}$ % от общей массы. По данным А. И. Виноградова [11] среднее содержание Zn в почвах составляет $5 \cdot 10^{-3}$ % от общей массы, в растениях – 15-70 мг/кг сухих веществ. На кислых почвах подвижность цинка выше, чем на щелочных. Недостаток Zn приводит к разрушению и окислению ростовых веществ (ауксина), задержке роста растений и нарушению физиологических процессов в целом. Потреб-

ность растений в цинке увеличивается при высоком содержании доступного фосфора в почве. Клевер является культурой, остро нуждающейся в цинке. Содержание цинка в образцах опытных растений варьировало от $3,71 \pm 0,07$ до $8,61 \pm 0,03$ мг/кг. Составные фитоценоза виды по данному элементу образуют следующий ряд: *Achillea millefolium* L. > *Artemisia serotina* Bge. > *Matricaria inodora* L. > *Agropyron repens* (L.) P.B. > *Ambrosia artemisiifolia* L. > *Euphorbia helioscopia* L. > *Cichorium intybus* L. > *Lathyrus tuberosus* L. > *Trifolium pratense* L. > *Avena fatua* L.

Медь постоянно находится в почвах, растениях и животных организмах. В почве она аккумулируется в гумусовом слое в виде органо – минеральных комплексов, частично – в обменно – поглощенном состоянии. По А. П. Виноградову [11] среднее содержание Cu в почвах составляет $2 \cdot 10^{-3}$ %, в растениях - $2-12$ мг/кг сухих веществ. Данный элемент является составной частью ряда важнейших окислительных ферментов: полифенолоксидазы, аскорбиноксидазы, лактазы, дегидрогеназы, цитохромоксидазы. В растениях, испытывающих недостаток меди, содержится меньше редуцирующих сахаров и крахмала. Недостаток меди отрицательно влияет на синтез белков, что приводит к снижению урожая зерна. При медном голодании в сильной степени нарушается обмен веществ у растений: задержка роста, хлороз листьев, потеря тургора, увядание, задержка стеблевания, цветения. Это в свою очередь, приводит к неполноценности кормов растительного происхождения, способствующих развитию малокровия и рахита животных. Большой чувствительностью к недостатку меди обладают пшеница, ячмень и овес. По данным В.В. Ковальского [8] содержание Cu в кормах ниже 3 мг/кг сухого вещества является недостаточным для удовлетворения потребнос-

ти животных.

Содержание меди во всех исследуемых растениях, за исключением *Avena fatua* L. и *Agropyron repens* (L.) P.B., превышает его лимитирующий порог (выше 3 мг/кг сухого вещества). Наибольшие значения Cu отмечены в *Artemisia serotina* Bge. ($4,96 \pm 0,16$ мг/кг) и *Matricaria inodora* L. ($4,40 \pm 0,08$ мг/кг). Аккумуляция меди в опытных растениях закономерно снижается по их видам в следующем порядке: *Artemisia serotina* Bge. > *Matricaria inodora* L. > *Lathyrus tuberosus* L. > *Achillea millefolium* L. > *Cichorium intybus* L. > *Ambrosia artemisiifolia* L. > *Trifolium pratense* L. > *Euphorbia helioscopia* L. > *Agropyron repens* (L.) P.B. > *Avena fatua* L.

Никеля в земной коре содержится $5,8 \cdot 10^{-3}$ % от общей массы. Данный элемент широко распространен в растительных организмах, в степных ландшафтах малоподвижен и не выносится из почвенной толщи [10]. Ni активизирует аргиназу, оксалоацетатдекарбоксилазу, ряд пептидаз, действующих на азотосодержащие группировки. Токсический уровень содержания данного элемента в растениях (более 1,0 мг/кг сухой массы) вызывает хлороз, остановку роста корней, молодых побегов, ростков, деформацию растений [11]. Содержание никеля и меди по вариантам опыта явилось равнозначным. Наименьшее содержание установлено Ni в *Cichorium intybus* L. ($0,06 \pm 0,005$ мг/кг), наибольшее - в *Agropyron repens* (L.) P.B. ($11,63 \pm 0,08$ мг/кг). Убывающий ряд представлен следующим образом: *Agropyron repens* (L.) P.B. + *Artemisia serotina* Bge. + *Avena fatua* L. + *Ambrosia artemisiifolia* L. + *Euphorbia helioscopia* L. + *Lathyrus tuberosus* L. + *Achillea millefolium* L. + *Trifolium pratense* L. + *Matricaria inodora* L. + *Cichorium intybus* L.

Содержание свинца в земной коре составляет $1,6 \cdot 10^{-3}$ % от общей массы, в

растениях - 2-3 мг/кг сухой массы. Норма в сене составляет 10 мг/кг сухой массы. В опытных растениях количество свинца варьировало от $0,56 \pm 0,03$ (*Trifolium pratense* L.) до $2,24 \pm 0,02$ мг/кг (*Artemisia serotina* Bge.). Распределение опытных растений по этому показателю выглядит следующим образом: *Artemisia serotina* Bge.+ *Agropyron repens* (L.) P.B. + *Lathyrus tuberosus* L. + *Achillea millefolium* L. + *Matricaria inodora* L.+ *Cichorium intybus* L.+ *Avena fatua* L.+ *Euphorbia helioscopia* L.+ *Ambrosia artemisiifolia* L.+ *Trifolium pratense* L.

Содержание кобальта в земной коре строго дифференцировано. По данным А. П. Виноградова [11] его содержание в почвах равно $8 \cdot 10^{-4}$ %. В растительных организмах кобальт участвует в процессах фотосинтеза, активирования ферментов белкового обмена – аргиназы, лецитиназы, аминопептидазы. Положительно влияет на устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды. Кроме того, Со является необходимым элементом для бобовых культур и играет важную роль в процессе фиксации молекулярного азота. Он постоянно присутствует в тканях растений. Избыток марганца и железа в почвах снижает усвояемость растениями кобальта, фосфора наоборот усиливает его поступление в растения.

В аспекте кормопроизводства кобальт играет важную роль в кроветворении, синтезе белков, усвоении жиров и углеводов животными. В кормах, содержащих кобальта менее $0,04 - 0,07$ мг/кг наблюдается заболевание животных акобальтозом [12]. Содержание кобальта в исследуемых растениях варьирует незначительно от $0,15 \pm 0,03$ до $0,81 \pm 0,01$ мг/кг. Содержание кадмия в образцах рас-

тений также минимально от $0,020 \pm 0,01$ до $0,111 \pm 0,02$ мг/кг.

Таким образом, несмотря на одинаковые почвенно-климатические условия роста и развития растений фитоценоза постмелиорированного лёсса, нами установлены закономерности аккумуляции Fe, Cr, Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Cd на видовом уровне.

По данным В.Б. Ильина [13] тяжелые металлы подразделяются на четыре группы: элементы повышенной концентрации - Sr, Mn, Zn; средней - Cu, Ni, Pb, Cr; низкой - Mo, Cd, Se, Co, Sn; очень низкой – Hg. При этом автор отмечает, что уровень содержания большинства тяжелых металлов находится в прямой зависимости от Кларка. Исключение составляют Zn, Cd, Se, Cr. Полученные нами результаты исследований показали, что содержание кадмия, меди, цинка, свинца, железа и кобальта ($0,020 \pm 0,01 - 29,12 \pm 0,09$ мг/кг) в фитоценозе постмелиорированного лёсса не превышает нормальных концентраций. Концентрации никеля ($0,06 \pm 0,005 - 11,63 \pm 0,08$ мг/кг) явились предположительно максимальными, но не токсичными; хрома - превысили нормальные концентрации и явились токсичными ($10,32 \pm 0,01 - 24,44 \pm 0,06$ мг/кг), то есть способными оказывать пагубное воздействие на живые организмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На наш взгляд, экспериментальные данные по накоплению тяжелых металлов в естественной растительности постмелиорированного лёсса имеют определенный теоретический интерес и практическую значимость в плане обеспечения экологической безопасности при организации кормопроизводства для животноводческой отрасли в предгорьях Заилийского Алатау.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тазабеков Т.Т. Сравнительно плодородие генетических горизонтов почв северного склона Заилийского Алатау // Вестник с.-х. науки. 1974. №3 А. С. 11-14.
2. Тазабекова Е.Т. Ферментативная активность почв и пути её регулирования. А.: 1997. 184 с.
3. Захаров С.А. Плодородие глубоких горизонтов почв ... Северного Кавказа и Дона. Ростов. Т. 2. в. 4. 1946.
4. Агрохимические методы исследования почв // Отв. ред. Соколова А.В. М.: Наука. 1975. 656 с.
5. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: МГУ. 1986. 136 с.
6. Таргульян В.О. Развитие почв во времени // В кн.: Проблемы почвоведения. М.: Наука. С. 108-113.
7. Экологический энциклопедический словарь. М.: Ноосфера. 2002. 930 с.
8. Ковальский В.В. Геохимическая экология // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ. 1998. С. 72-84.
9. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: ВШ. 1975. 342 с.
10. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: ВШ. 1998. 413 с.
11. Виноградов А.П. Основные закономерности распространения микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. М. 1952. С. 7-20.
12. Кабата - Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 1989. 439 с.
13. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука. 1991. 151 с.

ТҮЙІН

Мақалада Іле Алатауының етегіндегі мелиорациядан кейінгі лёстің өсімдік жабынындағы ауыр металдардың (Fe, Cr, Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Cd) жинақталуы қарастырылды. Олардың жинақталуы өсімдік түріне байланысты екендігі анықталды.

RESUME

In article processes of accumulation of heavy metals (Fe, Cr, Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Cd) in vegetation on the postreclaimed loess of foothills of Zailiysky AlaTau are considered. Law of their accumulation depending on a kind is established.