

## ОСОБЕННОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ГОРНЫХ ЛАНДШАФТАХ АЛТАЯ

Валовые содержания микроэлементов в почвах обусловлены их первичным содержанием в почвообразующих субстратах, однако характер распределения этих элементов в ландшафте обусловлен рядом внешних природных условий (гидрорежимом, особенностями биологического поглощения, степенью гумификации растительных остатков, особенностями местных геохимических барьеров).

Наблюдается накопление элементов в почвах, когда содержание их в почвообразующих породах невелико (Zn, Ti, V, Mn, Ba, Co в каштановых почвах).

*Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ 06-06-18007е и интеграционного проекта ОНЗ-3.1*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими элементами. – М.: Минздрав СССР, 1987. – 25 с.

2. Роде А.А. Система методов исследований в почвоведении / А.А. Роде. – Новосибирск: Наука, 1971. – 92 с.

3. Микроэлементы в почвах Советского Союза. – М. 1973.

4. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. – Новосибирск: Наука, 1978. – 272 с.

5. Почвы Горно-Алтайской автономной области / Под ред. Р.В. Ковалева. – Новосибирск: Наука, 1973. – 352 с.

6. Хмелев В.А. Черноземы Горно-Алтайской Автономной области. – Новосибирск: Наука, 1968. – 115 с.

7. Ерофеев В.С. Геологическая история южной периферии Алтая в палеогене и неогене / В.С. Ерофеев. – Алма-Ата, 1969. – 147 с.

8. Огуреева Г.Н. Ботаническая география Алтая. – М.: Наука, 1980. – 189 с.

9. Ревушкин А.С. Высокогорная флора Алтая. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1988. – 319 с.

10. Седелников В.П. Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области. – Новосибирск: Наука, 1988. – 222 с.

11. Касимов Н.С. Латеральная миграция микроэлементов в степных и пустынных ландшафтах // Вестник МГУ. – 1981. – № 5. - Серия география. – С. 69-74

## РАДИОНУКЛИДЫ В ГОРНО-ЛЕСНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ГОРНОГО АЛТАЯ

С.Н. Балыкин, А.В. Пузанов

*Выявлены закономерности внутрипрофильного распределения естественных радионуклидов (уран-238, торий-232, калий-40) и цезия-137 в горно-лесных дерново-подзолистых почвах Горного Алтая. Определена степень влияния физико-химических свойств почв на уровень концентрации радионуклидов.*

Горно-лесные дерново-подзолистые почвы широко распространены на Бие-Катунском холмисто-увалистом низкогорном междуречье. Развиты они также на правобережье р. Бия и в верхней части бассейна р. Кокса. Общая площадь дерново-подзолистых почв составляет около 440 тыс. га.

Горно-лесные дерново-подзолистые почвы развиваются в условиях обильного атмосферного увлажнения, расчлененного рельефа и периодически возникающего переувлажнения. Естественная растительность здесь представлена черневой тайгой.

Почвообразующей породой служит обычно довольно мощный (до 20—30 м) плащ делювиальных тяжелых суглинков или глин, плохо водопроницаемых.

Эти почвы характеризуются большой общей мощностью мелкоземистого профиля. Аккумулятивный горизонт А выражен нечетко и имеет мощность всего лишь 4—7, до 10 см. Элювиальный горизонт обособлен ясно и простирается до 55—60 см от поверхности, а нередко и глубже. Он более или менее резко сменяется плотным бурым иллювиальным горизонтом В значительной мощности, постепенно переходящим в горизонт С

— почвообразующую породу, как правило, глинистую или тяжелосуглинистую [6].

Профильное распределение показателей основных физико-химических свойств горно-лесных дерново-подзолистых почв Алтая представлено на рис. 1. Аналитические работы выполнены в лаборатории биогеохимии ИВЭП СО РАН общепринятыми в почвоведении методами.

Содержание гумуса в А-горизонтах колеблется от 3,5 до 19,0 % (в среднем 8,0 %) и резко падает с глубиной. Показатель pH водной вытяжки гумусовых и элювиальных горизонтов составляет 4,8-6,0, что характеризует уровень кислотности этих горизонтов как слабокислый и близкий к нейтральному. К почвообразующей породе значения pH незначительно возрастают до 6,0-8,0.

Из всех показателей физико-химических свойств более всего варьируют значения, характеризующие гумусовое состояние исследуемых почв (табл. 1). Как мы видим, коэффициент вариации содержания гумуса достигает 80 % в В-горизонте горно-лесной дерново-подзолистой почвы.

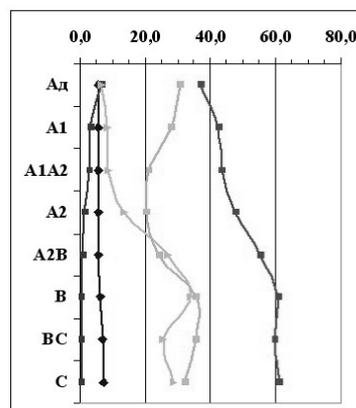


Рисунок 1 – Физико-химические свойства горно-лесных дерново-подзолистых почв Горного Алтая: —■— pH; —■— Гумус, —■— Ил, —■— Физ. глина, %; —■— ЕКО, мг-экв/100 г

В горно-лесных дерново-подзолистых почвах Алтая складываются благоприятные условия для миграции элементов вниз по профилю с нисходящим током воды в растворенной и коллоидной формах. Под влиянием оподзоливания миграционная способность элементов повышается.

Таблица 1  
Распределения показателей основных физико-химических свойств в горно-лесных дерново-подзолистых почвах Горного Алтая

Горизонт	pH <sub>в</sub>		Гумус %		Ил		Физ. глина		ЕКО мг-экв/100 г	
	$\frac{x \pm Sx}{Lim}$	C <sub>v</sub>	$\frac{x \pm Sx}{Lim}$	C <sub>v</sub>	$\frac{x \pm Sx}{Lim}$	C <sub>v</sub>	$\frac{x \pm Sx}{Lim}$	C <sub>v</sub>	$\frac{x \pm Sx}{Lim}$	C <sub>v</sub>
Ад	$\frac{5,6 \pm 0,1}{5,1 - 6,1}$	5,8	$\frac{6,5 \pm 1,3}{3,5 - 12,4}$	54,0	$\frac{6,5 \pm 0,7}{3,3 - 8,9}$	29,3	$\frac{36,9 \pm 2,0}{28,8 - 43,2}$	14,2	$\frac{30,6 \pm 2,4}{26,0 - 39,5}$	17,5
А1	$\frac{5,4 \pm 0,2}{4,8 - 5,9}$	8,0	$\frac{3,2 \pm 0,4}{1,8 - 4,9}$	33,4	$\frac{8,4 \pm 1,0}{5,9 - 12,2}$	27,2	$\frac{42,6 \pm 2,9}{30,6 - 51,8}$	18,0	$\frac{28,0 \pm 2,9}{20,0 - 41,8}$	27,8
А1А2	$\frac{5,5 \pm 0,1}{4,8 - 6,0}$	6,4	$\frac{2,8 \pm 0,6}{0,9 - 5,9}$	64,3	$\frac{8,7 \pm 0,9}{4,6 - 12,8}$	31,4	$\frac{43,5 \pm 0,7}{40,8 - 46,3}$	4,4	$\frac{21,0 \pm 3,1}{3,3 - 32,7}$	43,7
А2	$\frac{5,5 \pm 0,1}{4,8 - 6,6}$	9,5	$\frac{1,4 \pm 0,3}{0,6 - 3,1}$	67,5	$\frac{13,3 \pm 1,9}{9,3 - 27,6}$	46,5	$\frac{47,4 \pm 1,4}{38,5 - 53,8}$	9,6	$\frac{20,5 \pm 3,2}{2,0 - 37,0}$	52,1
А2В	$\frac{5,6 \pm 0,1}{5,1 - 6,4}$	7,6	$\frac{0,6 \pm 0,1}{0,3 - 1,3}$	50,2	$\frac{26,9 \pm 1,5}{17,6 - 29,7}$	15,7	$\frac{55,2 \pm 1,9}{47,1 - 61,5}$	10,5	$\frac{24,3 \pm 2,8}{9,4 - 32,7}$	34,7
В	$\frac{6,1 \pm 0,1}{4,8 - 7,6}$	10,0	$\frac{0,3 \pm 0,1}{0,1 - 1,0}$	74,6	$\frac{33,7 \pm 0,8}{23,9 - 41,4}$	13,5	$\frac{60,7 \pm 0,9}{49,0 - 68,0}$	7,8	$\frac{35,4 \pm 2,1}{4,6 - 66,0}$	32,4
ВС	$\frac{6,8 \pm 0,3}{5,1 - 8,0}$	12,6	$\frac{0,3 \pm 0,1}{0,1 - 0,5}$	56,3	$\frac{25,5 \pm 2,7}{10,3 - 39,3}$	32,2	$\frac{59,8 \pm 2,0}{52,8 - 69,2}$	9,9	$\frac{35,5 \pm 5,1}{17,6 - 60,0}$	37,9
С	$\frac{7,1 \pm 0,3}{6,3 - 8,3}$	12,1	$\frac{0,2 \pm 0,1}{0,1 - 0,2}$	10,0	$\frac{28,5 \pm 2,3}{23,3 - 38,5}$	19,8	$\frac{61,1 \pm 3,1}{49,6 - 70,6}$	12,4	$\frac{32,1 \pm 3,3}{24,0 - 44,0}$	22,8

Примечание. x – средняя арифметическая, Sx – ошибка средней, Lim – пределы колебаний, C<sub>v</sub> – коэффициент вариации (%).

## РАДИОНУКЛИДЫ В ГОРНО-ЛЕСНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ АЛТАЯ

С другой стороны, дерново-подзолистые почвы, сформированные под черневыми лесами, вследствие ежегодного поступления значительного количества опада, богатого основаниями (высокотравье), характеризуются высокой гумусированностью верхних горизонтов. Таким образом, в горно-лесных дерново-подзолистых почвах формируется биогенный геохимический барьер.

Еще один мощный геохимический барьер – сорбционный, образуется в иллювиальных горизонтах дерново-подзолистых почв, вследствие элювиально-иллювиального распределения тяжелых гранулометрических фракций в процессе почвообразования. Определение радионуклидов выполнено гамма-спектрометрическим методом в аналитическом центре ОИГГИ СО РАН.

Результаты исследований удельной активности естественных радионуклидов в горно-лесных дерново-подзолистых почвах (табл. 2, рис. 2) свидетельствуют о том, что для урана характерно некоторое повышение его удельной активности в гумусовых горизонтах до 20,0-45,0 Бк/кг в сравнении с нижележащими горизонтами и почвообразующей породой (варьирование составляет 15,0-38,0 Бк/кг). Явление это может быть связано с биогенным накоплением нуклида и связыванием его органическим веществом почвы [1, 5, 10]. С другой стороны,  $^{238}\text{U}$  образует растворимые комплексы с органическими кислотами и способен мигрировать в таком виде вниз по профилю [2, 4, 11, 12]. В некоторых дерново-подзолистых почвах это находит подтверждение, но в целом, тип распределения  $^{238}\text{U}$  в горно-лесных дерново-подзолистых почвах Алтая аккумулятивный.

В распределении  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  наблюдается обратная закономерность. Их содержание

и, соответственно, удельная активность растут вниз по профилю.

Если в гумусовых горизонтах содержание тория соответствует 20,0-40,0, а калия – 340,0-540,0 Бк/кг, то в нижележащих горизонтах и породе удельная активность их варьирует от 25,0 до 45,0 для  $^{232}\text{Th}$  и от 390,0 до 590,0 Бк/кг для  $^{40}\text{K}$ . По данным Н.А. Титаевой и др. [12], основное количество Th в почвах находится в виде минеральной фракции. Поэтому, повышение его удельной активности с глубиной может происходить за счет привноса тонкодисперсного материала из вышележащих горизонтов. Смена кислотно-щелочных условий от слабокислых к нейтральным, по-видимому, так же оказывает влияние на профильное распределение тория, так как в нейтральных условиях  $^{232}\text{Th}$  подвержен сильной сорбции глинными минералами. Результаты корреляционного анализа служат подтверждением вышесказанному. Так, коэффициенты корреляции удельной активности  $^{232}\text{Th}$  с содержанием фракций ила, физической глины, а так же значениями pH варьируют от 0,7 до 0,9.

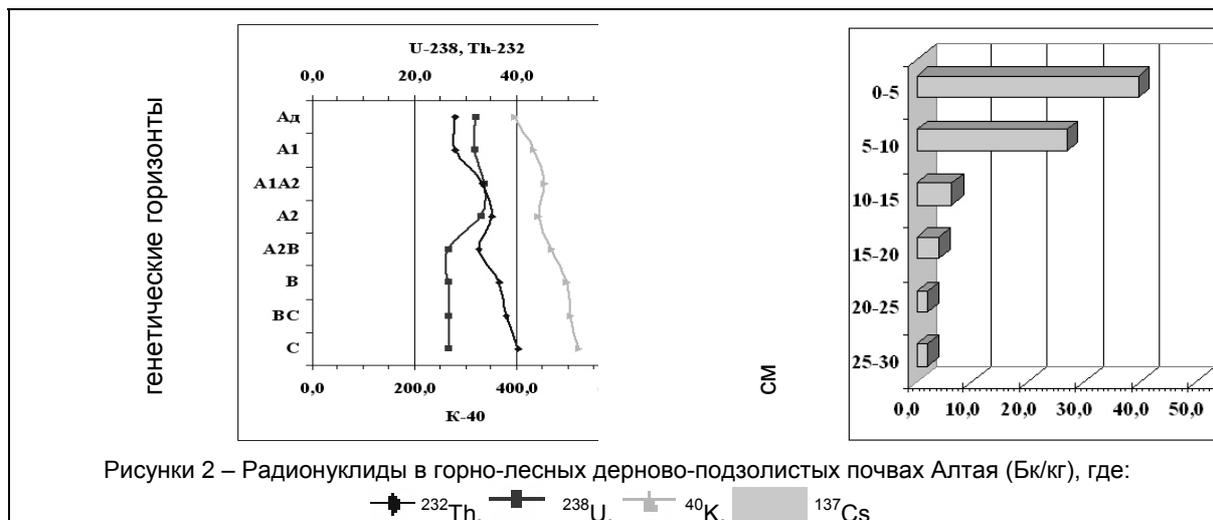
Такая же высокая корреляционная зависимость от вышеупомянутых показателей физико-химических свойств характерна для радионуклида калия. Известно, что из всех фракций гранулометрического состава, на глинистую приходится наиболее высокое содержание калия [3]. К тому же, в горно-лесных дерново-подзолистых почвах под влиянием слабокислых растворов происходит выщелачивание  $^{40}\text{K}$  из верхних горизонтов. Еще одной причиной обеднения гумусовых и элювиальных горизонтов калием служит его долговременный захват многолетними растениями.

Таблица 2

Профильное распределение естественных радионуклидов в горно-лесных дерново-подзолистых почвах Горного Алтая

Горизонт	$^{238}\text{U}$ , Бк/кг			$^{232}\text{Th}$ , Бк/кг			$^{40}\text{K}$ , Бк/кг		
	$x \pm S_x$	Lim	$C_v$	$x \pm S_x$	Lim	$C_v$	$x \pm S_x$	Lim	$C_v$
A <sub>d</sub>	31,8±3,5	20,3-45,0	26,7	28,0±3,1	20,3-38,2	26,8	395,6±48,3	256,4-516,0	29,9
A <sub>1</sub>	31,7±2,2	24,9-41,1	17,9	27,9±1,2	23,1-31,8	11,2	433,0±20,1	370,0-514,0	12,3
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	33,4±2,2	23,3-39,4	16,4	33,2±2,6	23,8-39,7	19,3	453,3±33,7	342,2-540,0	18,2
A <sub>2</sub>	32,9±1,0	28,3-37,4	8,4	35,2±2,8	29,2-49,1	20,8	442,4±19,1	365,7-511,0	11,4
A <sub>2</sub> B	26,5±1,4	24,1-31,6	11,9	32,5±0,7	30,8-34,4	4,8	467,2±18,0	422,5-519,0	8,6
B	26,6±1,6	15,6-38,3	24,3	36,4±1,5	28,7-45,4	16,1	496,9±15,0	407,0-594,0	12,1
BC	26,5±2,5	20,3-34,2	20,9	37,9±3,5	25,4-45,4	20,8	505,6±33,5	392,0-577,0	14,8
C	26,6±1,8	22,4-32,9	15,5	40,2±3,7	28,2-48,0	20,6	521,8±36,1	391,0-588,0	15,5

Примечание.  $x$  – средняя арифметическая,  $S_x$  – ошибка средней, Lim – пределы колебаний,  $C_v$  – коэффициент вариации (%)



Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ 06-06-18007е и интеграционного проекта РАН ОНЗ – 3.1

В таблице 3 представлено профилное распределение искусственного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ , где:  $\bar{x}$  – средняя арифметическая,  $S_x$  – ошибка средней,  $\text{Lim}$  – пределы колебаний. Во всех разрезах глубже 30 см удельная активность цезия находится ниже пределов обнаружения, то есть  $< 1$  Бк/кг. Как мы видим (табл. 3, рис. 2), максимальное содержание этого радионуклида приходится на слой почвы 0-5, 5-10 см. Здесь его удельная активность составляет 23,0-47,0 Бк/кг, затем она резко падает. Как мы могли наблюдать выше, в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых почв складывается некоторый дефицит калия, который может быть компенсирован (за счет сродства элементов)  $^{137}\text{Cs}$ . Таким образом, цезий может активно поглощаться травянистым ярусом и опять поступать на поверхность почвы с опадом. Так же препятствует миграции радиоцезия достаточно высокая гумусированность верхних горизонтов дерново-подзолистых почв Алтая. Коэффициент корреляции удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  с содержанием гумуса равен 0,9.

### ВЫВОДЫ

1. Значения удельной активности естественных радионуклидов в горно-лесных дерново-подзолистых почвах Алтая находятся на уровне среднемировых для почв [6]. Содержание цезия не превышает фоновых концентраций для Алтайской горной страны [8, 9];
2. Отмечена депонирующая роль гумусовых горизонтов дерново-подзолистых почв по отношению к  $^{238}\text{U}$  и особенно к  $^{137}\text{Cs}$ . Обнаружена тесная корреляционная зависимость этих элементов с содержанием гумуса;
3. Очевидно, что на профилное распределение  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  в дерново-подзолистых почвах Горного Алтая в большей степени оказывает влияние распределение глинистых фракций, а так же кислотно-щелочные условия, чем содержание гумусовых веществ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Баева А.И., Ахундова А.Б. Содержание урана и тория в почвах и растениях горной части Ленкоранской области // Изв. АН АзССР, сер. биол. наук. – 1981. – №1. – С. 56-59.
2. Евсеева Л.С. Восстановление урана природными органическими веществами // Химия урана. – М.: Наука, 1981. – С. 52-57.
3. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Кн. 1: s-элементы. – М.: Недра, 1994. – 304 с.
4. Оценка последствий испытаний ядерных устройств и антропогенного загрязнения окружающей среды на население республики Алтай:

Таблица 3  
Распределение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг) в горно-лесных дерново-подзолистых почвах Горного Алтая

Слой, см	$\bar{x} \pm S_x$	Lim
0-5	39,7±5,5	29,0-47,0
5-10	27,0±4,0	23,0-35,0
10-15	6,3±2,8	3,0-12,0
15-20	4,0±2,1	1,0-8,0
20-25	2,0±1,0	1,0-3,0
25-30	2,0±1,0	1,0-3,0

## РАДИОНУКЛИДЫ В ГОРНО-ЛЕСНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ АЛТАЯ

Научный отчет. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 1992. – 376 с.

5. Погосян Е.А., Ананян В.Л. Содержание урана в некоторых почвах Армении // Почвоведение. – 1984. – № 10. – С. 125-126.

6. Почвоведение / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. Почва и почвообразование. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.

7. Почвы Горно-Алтайской автономной области / Отв. ред. Р.В. Ковалев, – Новосибирск: Наука, 1973.

8. Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г. Изменение параметров миграции цезия  $^{137}$  в почве // Атомная энергия. – 1988. – Т. 65. – Вып. 2. – С. 137-141.

9. Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г., Бобовникова Ц.И. Вертикальная миграция в почве радионуклидов, выпавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. – 1989. – Т. 66. – Вып. 3. – С. 194-197.

10. Султанбаев А.С., Григорьев А.Ф. Содержание урана в почвах и растениях Тянь-Шаня // Тр. Киргиз. науч. произв. об-ния по земледелию. – Фрунзе, 1977. – Вып. 5. – С. 240-250.

11. Титаева Н.А., Таскаев А.И. Миграция тяжелых естественных радионуклидов в условиях гумидной зоны. – Л.: Наука, 1983. – 252 с.

12. Титаева Н.А. Техногенная геохимия урана, тория и радия // Проблемы радиогеохимии и космологии. – М.: Наука, 1991.

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ УЙМОНСКОЙ КОТЛОВИНЫ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛТАЙ)

Д.Н. Балыкин, О.А. Ельчинова

*Проведена оценка удельной активности естественных радионуклидов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  в почвах различных высотных поясов Уймонской котловины. Установлен характер профильного распределения естественных радионуклидов.*

Уймонская котловина представляет собой глыбово-складчатое сооружение, образовавшееся в плейстоценовую эпоху в результате неравномерного сводового поднятия древнего палеозойского основания. Она располагается на высоте 900-1200 м над уровнем моря, вытянута почти в широтном направлении на 50 км при ширине около 15 км. Окружающие ее хребты (Теректинский и Катунский) сравнительно расчленены и поднимаются на высоту от 2000 до 4500 м [2].

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются почвы различных высотных поясов Уймонской котловины: горно-луговые, горно-тундровые примитивные (гольцово-пустошные), горно-лесные бурые, горно-лесные черноземовидные, черноземы обыкновенные, аллювиальные почвы.

Целью работы является выявление закономерностей поведения радионуклидов в почвах Уймонской котловины.

Нижние границы альпийского и субальпийского высотного почвенного пояса проходят на высоте 1800-2200 м над ур. м.

Формирование почв происходит под альпийскими (мелкотравными) и субальпийскими (крупнотравными лугами) [5]

Почвообразующий субстрат исследованных нами почв на Теректинском хребте представлен суглинистым элювием, элювио-делювием различного петрографического состава, с преобладанием хлоритового сланца. В отдельных местах встречаются выходы гранита, элювий которого также служит почвообразующим материалом. Свойства и состав почв представлены в таблице 1.

Пояс горно-лесных почв занимает абсолютные высоты от 1000-1100 до 1800-2200 м над ур. м.

Почвы горно-лесного пояса приурочены к тенивым, более увлажненным, облесенным склонам. Основной фон составляют бурые горно-лесные почвы, формирующиеся на элювио-делювии кристаллических сланцев, песчанников, гранитов, известняков. Они наиболее широко распространены на Катунском хребте. Растительность представлена преимущественно кедрово-лиственничными лесами с примесью осины и березы с широкотравным напочвенным покровом [1, 2, 5].

В нижнем ярусе пояса, где широкое развитие получают парковые лиственничные леса или их производные, доминирующее значение имеют своеобразные горно-лесные черноземовидные почвы. Чаще всего они встречаются на южных склонах Теректинского хребта под формациями лиственничных