

## БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КРИОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ИНДИКАТОР ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ

**Д.В. Московченко**

*Институт проблем освоения Севера СО РАН, 625003, Тюмень, а/я 2774, Россия, land@ipdn.ru*

Проведен анализ биогеохимической структуры ландшафтов полуострова Ямал. Определен микро-элементный состав почв различных типов, оценено содержание элементов, необходимых для минерального питания растений. Сделан вывод о влиянии на устойчивость криогенных ландшафтов двух факторов – геохимической активности фитобиоты и содержания биогенных элементов. Первый фактор стабилизирует вещественный состав ландшафта и проявляется в наибольшей степени в зональных геосистемах. От второго фактора зависит скорость восстановления растительности после техногенных нарушений, причем наиболее обеспечены элементами минерального питания азональные почвы.

Неоднократно отмечалось, что растительный покров является важнейшим регулятором процессов, определяющих устойчивое состояние криогенных ландшафтов [Тыртиков, 1974; Мельцер, 1994; Природная среда..., 1995; Москаленко, 1996; Ермохина, 2009]. Стабилизируя тепловой режим грунтовой толщи, растительность и сформированный ею торфяной горизонт почв предохраняют многолетнемерзлые породы от деградации. Вместе с тем растительный покров является наиболее динамичным компонентом геосистем, подверженным влиянию экзо- и эндогенных процессов. Поэтому одним из основных подходов к оценке экологического состояния и устойчивости тундровых

ландшафтов является анализ структурно-функциональной организации фитобиоты.

Формирование растительности непосредственно зависит от химических свойств почв. Так, лишайниковые тундры доминируют в условиях низкой трофности почв легкого механического состава [Природа..., 1995], кустарниковые ивняковые сообщества формируются на отложениях морского генезиса в условиях повышенной минерализации почвенных вод [Ермохина, 2009]. На почвах, обедненных макро- и микроэлементами, растительный покров разрежен, что определяет низкую устойчивость геосистем. Таким образом, устойчивость геосистем в значительной степени зависит

от их геохимической структуры, которая трактуется как чередование зон выщелачивания и обогащения, их соотношение в пространстве, вещественный состав, форма и размеры [Глазовская, 1988]. Структура ландшафтно-геохимических систем складывается в результате длительного эволюционного процесса, общая направленность которого подчиняется закону В.И. Вернадского об увеличении биогеохимической энергии живого вещества [Вернадский, 1980].

Изучение биогеохимической структуры ландшафтов проведено по результатам опробования почв и растений, выполненного с использованием метода экологического профилирования в арктических и субарктических тундрах п-ова Ямал (Бованенковское и Тамбейское месторождения). Пробы отбирались на серии ландшафтных профилей (катен), пересекающих различные геоморфологические уровни и, соответственно, отражающих различные экологические условия. Исследованы также закономерности трансформации состава почв на участках техногенеза (промплощадки, кусты скважин).

Анализ биотической составляющей катен показывает, что крайние звенья, как правило, характеризуются наиболее простой структурой ценозов и низким биоразнообразием. Так, в наиболее сухих и наиболее увлажненных биотопах из структуры ценозов субарктических тундр выпадает кустарниковый ярус. На бедных и слабо увлажненных песчаных почвах видовое разнообразие растительных сообществ значительно меньше, чем на лучше увлажненных и более богатых суглинистых почвах с осоково-кустарничково-моховой тундрой [Москаленко, 2006]. Спектр жизненных

форм травяных и сфагновых болот Ямала редуцирован [Телятников, 2003]. Упрощение структуры свидетельствует о нехватке вещественно-энергетических ресурсов и снижении уровня самоорганизации.

Рассмотрим в этом аспекте состав растений и почв различных экологических рядов. Ранее отмечалось, что растения зональных водораздельных тундр накапливают микроэлементы значительно активнее, чем растения переувлажненных или крайне сухих участков. Эдификаторы субарктических тундр – кустарники (*Betula nana*, *Salix glauca*, *S. lanata*), отличаются наиболее активным накоплением микроэлементов, в то время как сниженная биогеохимическая активность характерна для злаков, осок, сфагновых мхов, доминирующих в составе интразональных ценозов [Природная среда..., 1995]. Такие же закономерности прослеживаются при анализе состава поверхностного торфяного горизонта почв. Самое интенсивное накопление элементов происходит в поверхностном горизонте зональных тундровых почв на водоразделах. Максимальное содержание наиболее активно накапливаемых элементов – марганца и цинка – отмечено в торфе ерниковых кустарничково-лишайниково-зеленомошных тундр. В условиях переувлажненных слабокислых почв ослабевает биологическое накопление и увеличивается латеральная миграция веществ, содержание элементов-биогео в торфе уменьшается (табл. 1). Суммарный коэффициент накопления (среднее значение коэффициентов концентрации элементов, отнесенное к кларку почв) максимален для плакорных участков под зональными тундровыми сообществами.

Таблица 1. Микроэлементный состав торфяных горизонтов почв (Бованенковское месторождение)

Почвы, местоположение, тип растительности	Элемент									Rk
	Mn	Cr	Ba	Sr	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	
Тундровые торфянисто-глеевые почвы водоразделов под бугорковатыми ерничково-кустарничково-лишайниково-зеленомошными тундрами, n = 32	3,00	0,7	2,1	0,8	0,6	1,1	0,8	2,3	1,1	2,0
	3650	124	1834	169	61	25	46	202	24	
Тундровые торфянисто-глеевые почвы на склонах водоразделов под ивняками травяными, n = 6	2,6	0,6	1,7	1,3	0,7	1,3	0,8	1,3	0,9	1,8
	3167	120	1467	262	68	28	44	112	19	
Болотно-тундровые почвы западин и микропонижений под кустарничково-осоково-моховой растительностью, n = 8	1,2	0,6	1,7	1,1	0,7	1,0	0,8	1,0	1,1	1,6
	1483	113	1500	225	73	23	47	82	25	
Болотные переходные под осоково-пушицево-сфагновой растительностью, n = 4	1,7	0,6	1,9	0,8	0,7	1,4	1,0	0,9	1,1	1,8
	2050	120	2000	150	70	30	55	80	25	
Аллювиальные почвы притеррасной части поймы, n = 6	1,3	0,6	1,7	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	1,1
	1500	120	1500	200	60	10	30	40	15	

П р и м е ч а н и е. n – количество проб; Rk – суммарный коэффициент накопления (среднее значение коэффициентов концентрации элементов, отнесенное к кларку почв). Элементный состав почв: числитель – коэффициент радиальной дифференциации (отношение содержания элемента в почве к содержанию в почвообразующей породе), знаменатель – среднее содержание элемента, мг/кг.

Таким образом, зональные геосистемы плакоров, в наибольшей степени отражающие особенности природной среды (инвариантные, по определению В.Б. Сочавы), характеризуются максимальной геохимической активностью фитобиоты, выработавшейся в ходе эволюционного процесса. Это находит выражение в специфике биогеохимической структуры – обогащенности органогенных горизонтов почв, в то время как минеральные горизонты, как правило, характеризуются весьма бедным элементным составом. Именно процесс биологического накопления, препятствующий выносу элементов в водной среде, стабилизирует вещественный состав ландшафта. Биотический компонент геосистем выступает как важнейший внутренний фактор саморегуляции и стабилизации.

Однако сравнение с данными, характеризующими состав торфов других природных зон, показывает, что тундровые почвы обеднены большинством микроэлементов. Так, среднее содержание Zn, Ni, Pb, Cu и Co в торфе верховых болот лесной зоны, согласно данным О.П. Добродеева [1990], составляет 940, 180, 120, 89 и 45 мг/кг золы соответственно, что значительно выше содержания в торфяных горизонтах почв Ямала. Бедный микроэлементный состав органогенных горизонтов тундровых почв связан с замедленным биологическим круговоротом и интенсивным выщелачиванием. Низкая интенсивность биологического круговорота в тундровых ландшафтах и связанная с этим низкая самоорганизация определяют малую устойчивость к антропогенному воздействию [Перельман, Касимов, 1999].

Почвы севера Западной Сибири испытывают недостаток многих элементов минерального питания растений, от которых зависит возможность быстрого и эффективного восстановления растительности на нарушенных участках [Васильевская и др., 1986]. Техногенное воздействие на участках промышленного освоения резко меняет геохимическую структуру. В частности, на участках бурения в техногенно-трансформированных почвах

наблюдается загрязнение нефтепродуктами, барием, стронцием, свинцом [Московченко, 1998]. Нарушение торфяного горизонта почв приводит к сокращению запасов органического вещества, калия, азота. Механические повреждения и загрязнение приводят к деградации либо полному уничтожению растительности. Ее восстановление зависит от запаса и доступности элементов минерального питания растений.

Анализ агрохимических показателей почв Ямала свидетельствует, что зональные тундровые торфянисто-глеевые почвы характеризуются пониженным содержанием фосфора, имеют низкие емкость катионного обмена и сумму поглощенных оснований. Чрезвычайно бедный состав имеют распространенные в условиях плакоров криогенные подзолы и надмерзлотно-глеевые почвы пятен. В то же время почвы интразональных геосистем отличаются повышенными запасами элементов, необходимых для минерального питания растений. Максимальная обеспеченность фосфором и калием характерна для аллювиальных почв, наиболее высокие запасы азота выявлены в торфяных горизонтах болотно-тундровых и болотных низинных почв (табл. 2). Именно переувлажненные участки обладают наивысшим восстановительным потенциалом растительности. Отмечалось, что лучше всего восстанавливается растительность на маломощных торфяниках [Ливеровский и др., 1980] или в топяных болотах и ложбинах стока [Москаленко, Шур, 1975].

Таким образом, устойчивость зональных и азональных геосистем определяется различными механизмами, в значительной степени зависящими от химических свойств почв. Устойчивость как способность к сохранению структуры (стабильность), свойственная зональным геосистемам, зависит от эффективного использования растительностью вещественно-энергетических ресурсов. Численным выражением эффективности являются высокие коэффициенты накопления химических элементов в торфе. Устойчивость как способ-

Таблица 2. Показатели химического состава почв арктических тундр (п-ов Ямал)

Тип почвы	pH <sub>сол</sub>	pH <sub>водн</sub>	Органическое вещество	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	ЕКО	СПО
			%					
Тундровые торфянисто-глеевые	4,8	5,9	45,2	0,23	63	240	1,5	4,7
Надмерзлотно-глеевые почвы пятен	5,0	6,6	0,55	0,03	114	225	1,5	0,5
Подзолы криогенные	4,9	6,5	1,2	0,04	98	231	1,6	1,2
Болотно-тундровые	4,0	5,5	14,5	0,38	80	190	2,8	8,9
Болотные низинные	4,4	5,5	23,2	0,44	33	232	1,2	8,6
Аллювиальные	5,2	6,5	3,1	0,17	178	286	2,1	6,9

Примечание. ЕКО – емкость катионного обмена, СПО – сумма поглощенных оснований.

ность к быстрому восстановлению после нарушений (упругость) максимальна для азональных геосистем и определяется повышенным содержанием в почвах элементов, необходимых для минерального питания растений.

### Литература

- Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г.** Почвы севера Западной Сибири. М., Изд-во Моск. ун-та, 1986, 286 с.
- Вернадский В.И.** Проблемы биогеохимии // Труды Биогеохим. лаб. М., 1980, т. XVI, 320 с.
- Глазовская М.А.** Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М., Высш. шк., 1988, 328 с.
- Добродеев О.П.** Особенности биогеохимии тяжелых металлов верховых болот // Труды Биогеохим. лаб. М., 1990, т. XXI, с. 53–61.
- Ермохина К.А.** Фитоиндикация экзогенных процессов в тундрах центрального Ямала: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2009, 24 с.
- Ливеровский Ю.А., Попов А.И., Смирнов В.В.** Рекультивация нарушенных в результате деятельности человека природных ландшафтов Крайнего Севера // Охрана окружающей среды при освоении области многолетнемерзлых пород: Сб. науч. тр. М., Наука, 1980, с. 111–115.
- Мельцер Л.И.** Фитоценоотические аспекты устойчивости ландшафтов Ямала // Западная Сибирь – проблемы развития. Тюмень, Ин-т проблем освоения Севера СО РАН, 1994, с. 128–141.
- Москаленко Н.Г.** Динамика тундровых геосистем севера Западной Сибири и влияние на нее техногенных нарушений // Изв. РГО, 1996, вып. 5, с. 67–74.
- Москаленко Н.Г.** Растительные сообщества побережий Ямала как объект для изучения биоразнообразия и создания базы данных // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 2, с. 90–95.
- Москаленко Н.Г., Шур Ю.Л.** Типичные нарушения природных комплексов севера Западной Сибири под влиянием линейного строительства и возможности их рекультивации // Охрана окружающей среды в связи с хозяйственным освоением области распространения многолетнемерзлых пород: Тез. Всесоюз. совещ. Якутск, Ин-т мерзлоговедения СО АН СССР, 1975, с. 96–108.
- Московченко Д.В.** Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск, Наука, 1998, 112 с.
- Перельман А.И., Касимов Н.С.** Геохимия ландшафта. М., Астрей-2000, 1999, 763 с.
- Природа Ямала** / Отв. ред. Л.Н. Добринский. Екатеринбург, Наука, 1995, 435 с.
- Природная среда Ямала** / Отв. ред. В.Р. Цибульский. Тюмень, Ин-т проблем освоения севера СО РАН, 1995, т. II, 104 с.
- Телятников М.Ю.** Растительность типичных тундр полуострова Ямал. Новосибирск, Наука, 2003, 121 с.
- Тыртиков А.П.** Динамика растительного покрова и развитие вечной мерзлоты в Западной Сибири. М., Изд-во Моск. ун-та, 1974, 153 с.

*Поступила в редакцию  
17 февраля 2011 г.*