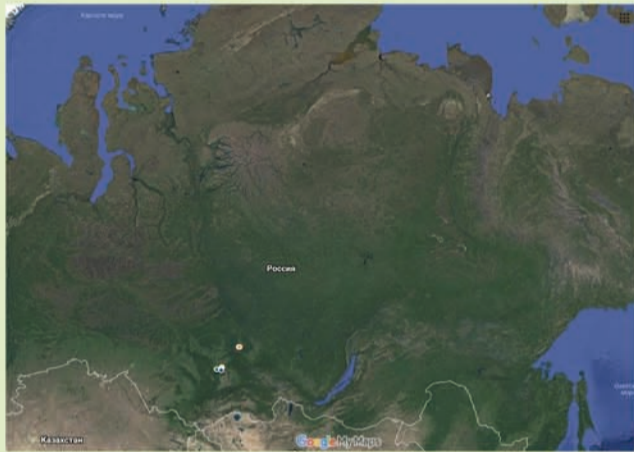


Сравнительный анализ применения спектральных индексов при исследовании степных сообществ Хакасии и юга Красноярского края по полевым спектрометрическим измерениям

Г.С. Высоцкая, И.Ю. Ботвич, А.И. Волкова, Ю.Д. Иванова,

Н.А. Кононова, А.А. Ларько, А.П. Шевырнов

Институт биофизики СО РАН, Академгородок 50-50, Красноярск, 660036, Россия
Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, ул. Ленина 90, Абакан, 655000, Россия
e-mail: g_vys@rambler.ru



Исследования проводились в центральном районе Красноярского края в пределах Красноярской лесостепи (Емельяновский район) и в центральной части Ширинского района республики Хакасия в пределах степной и лесостепной зон. Красноярская лесостепь располагается в пределах Принисейской денудационной равнины, в которой почвенно-растительный покров, характеризуется концентрической зональностью являющейся частным проявлением вертикальной поясности. Ширинский район, согласно геоботаническому районированию геоботаническому районированию, относится к Июсо-Ширинскому (Северо-Хакасскому) степному геоботаническому округу провинции Минусинской котловины. Общий рельеф территории холмисто-равнинный. Равнинные участки отделены друг от друга моноκлиальными куэстовыми грядами с резко ассиметричными склонами и широкими плоскими ложбинами между гряд. В ходе исследований изучены растительные сообщества луговых, настоящих крупнодерновинных и мелкодерновинных степей, а также остепнённых злаково-разнотравных суходольных лугов.

№ участка	Основные параметры исследуемых растительных сообществ
1	Настоящие степи: разнотравно-злаковое (<i>Festuca valesiaca</i> + <i>Koeleria cristata</i> -heteroherbae), разнотравно-типчаковое (<i>Festuca valesiaca</i> +heteroherbae), злаково-типчаковое с ирисом (<i>Festuca valesiaca</i> +мелкодерновинные злаки- <i>Iris biglumis</i>), разнотравно-осоково-ковыльное с караганой (<i>Stipa capillata</i> + <i>Caragana rugulosa</i> + <i>Carex pediformis</i> -heteroherbae), разнотравно-злаково-ковыльное с караганой (<i>Stipa capillata</i> + <i>Caragana rugulosa</i> -мелкодерновинные злаки+heteroherbae, разнотравно-злаково-пыльничное (<i>Iris biglumis</i> -мелкодерновинные злаки+heteroherbae).
2	Луговые степи: Злаково-ирисово-разнотравное (heteroherbae+ <i>Iris ruthenica</i> +мелкодерновинные злаки), разнотравно-злаковое с куркульским чаем (<i>Stipa capillata</i> + <i>Pentaphragmoides fruticosa</i> -крупнодерновинные злаки+ heteroherbae). Остепненные суходольные луга: злаково-разнотравное (heteroherbae- <i>Phleum phleoides</i> + <i>Festuca pratensis</i>).
3	Настоящие степи: полинно-злаковое (<i>Festuca valesiaca</i> + <i>Koeleria cristata</i> - <i>Artemisia frigida</i>), осоково-злаковое (<i>Festuca valesiaca</i> + <i>Koeleria cristata</i> + <i>Carex pediformis</i>), разнотравно-злаковое с караганой (<i>Caragana rugulosa</i> -мелкодерновинные злаки+heteroherbae, злаково-ковыльное (<i>Stipa capillata</i> - <i>Festuca valesiaca</i> + <i>Koeleria cristata</i>).
4	Луговые степи: (нарушенные): разнотравно-злаковое (<i>Helictotrichon hookeri</i> + <i>Poa pratensis</i> - <i>Potentilla multifida</i> + heteroherbae).

Для создания базы спектральных данных использовался полевой спектрометрический комплекс, состоящий из полевого портативного спектрофотометра PSR-1100F, портативного компьютера PDA GETAC, калибровочного отражающего эталона (Spectral Evolution), цифрового фотоаппарата и программного обеспечение DARWin SP и DARWin Compact 1.2. Благодаря портативности и автономности при высоких технических характеристиках, спектрофотометр PSR-1100F успешно применяется для полевых спектральных измерений при подспутниковых экспериментах. Данный спектрофотометр производит измерения в спектральном диапазоне 320-1100 нм, принимает и хранит до 2500 спектров, имеет автоматическую экспозицию и съемку. Полученные спектры имеют GPS привязку, данные о высоте местности, фото и голосовые заметки.

Отражательные спектральные свойства природных объектов принято выражать коэффициентом спектральной яркости (КСЯ). КСЯ - это фотометрическая функция, которая характеризует структуру отраженного поверхностью излучения, как по длинам волн, так и по условиям наблюдения и освещения. Условия наблюдения определяются (надирным углом сканирования и азимутальным углом между вертикалями сканирования и источника освещения (Солнца), который отсчитывается от направления на источник. Условия освещения обычно определяются углом высоты Солнца.

Для изучения отличий спектральных характеристик различных сообществ с помощью спектральных индексов были выбраны августовские измерения, выполненные на полигонах в районе озера Шира, Хакасия. Всего на данных полигонах было выделено 13 типов растительных сообществ.

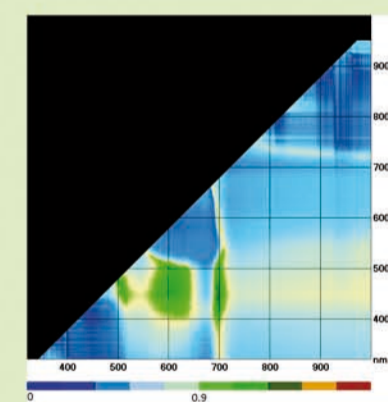
тип растительности	фитоценоз	к-во изм.	
1	луговая степь	злаково-разнотравно-ирисовое	69
2	кустарниковая луговая степь	разнотравно-злаковое с куркульским чаем	20
3	настоящий суходольный злаково-разнотравный луг	злаково-разнотравное	45
4	настоящая мелкодерновинная степь	полинно-разнотравно-злаковое	40
5	луговая степь	ирисово-ковыльно-разнотравное	12
6	настоящая мелкодерновинная степь	разнотравно-злаково-полинное	39
7	петрофитный вариант настоящей мелкодерновинной степи	злаково-разнотравное	51
8	настоящая крупнодерновинная степь	разнотравно-ковыльное с караганой	8
9	настоящая мелкодерновинная степь	злаково-разнотравное	20
10	настоящая мелкодерновинная степь	злаково-разнотравно-тонконоговое	40
11	настоящая мелкодерновинная степь	злаково-разнотравно-злаковое	30
12	настоящая крупнодерновинная степь	осоково-разнотравно-ковыльное с караганой	26
13	остепненный солончаковый луг	разнотравно-злаково-ирисовое	23

Были выбраны 20 спектральных индексов: NDVI₇₀₅((R750-R705)/(R750+R705)), VOG-1 (R740/R720), VOG-2 ((R734-R747)/(R715+R726)), VOG-3 ((R734-R747)/(R715+R720)), PRI ((R570-R531)/(R531+R570)), SIPI ((R800-R445)/(R800+R680)), RSI((R815,R704)(R815/R704), RSI((R815,R578) (R815/R578), GMI-1 (R750/R550), GMI-2 (R750/R700), SR705 (R750/R705), ZM (R750/R710), RI-1dB (R735/R720), RI-2dB (R741/R717), RI-half (R747/R708), SAVI ((1+0.5)* (R810-R680)/(R810-R680+0.5)), CI red edge ((R840-R870)/(R720-R730-1)), CI red edge2 ((R750-R800)/(R695-R740-1)), CI green ((R840-R870)/(R550-1)), VARI ((R550-R670)/(R550+R670+R445)). Относительно хорошая дифференциация сообществ была получена с помощью индексов SIPI и PRI.

Помимо спектральных индексов, приведенных в списке, был проведен поиск среди вегетационных индексов, вычисляемых по типу $V(a,b)=(R_a-R_b)/(R_a+R_b)$. Для каждого растительного сообщества было вычислены средние значения каждого индекса и дисперсия. Далее была проведена оценка достоверности различия средних с уровнем $p>0.9$. Полученные результаты были сведены в диаграмму, где вертикальной и горизонтальной осями являются значения дли волн, используемых при вычислении индекса. В зависимости от количества и достоверности различаемых сообществ пикселям присвоены более высокие значения, т.е. зеленым выделены области значений а и b, для которых вегетационные индексы достоверно разделяют наибольшее количество сообществ. Ниже приведены таблицы для индексов SIPI и $V(456,700)=(R_{700}-R_{456})/(R_{700}+R_{456})$, где «+» обозначены достоверно разделяемые пары сообществ.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
5	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
7	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
9	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
11	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
13	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+
2	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+
6	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
8	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
9	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-



Диаграмма, показывающая эффективность дифференциации сообществ при различных вариантах параметров $V(a,b)=(R_a-R_b)/(R_a+R_b)$.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-
2	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-
3	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-
4	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
6	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
7	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
8	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+
9	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
10	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
12	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-

Выводы. Приведенные выше результаты показывают, что для дифференциации растительных сообществ по спектральным индексам необходимо использование нескольких спектральных индексов, а также разработка и выявление оптимальных спектральных индексов различного вида.