

**Исследование растительности Республики Хакасия на
основе интеграции наземной информации и
спутниковых данных**

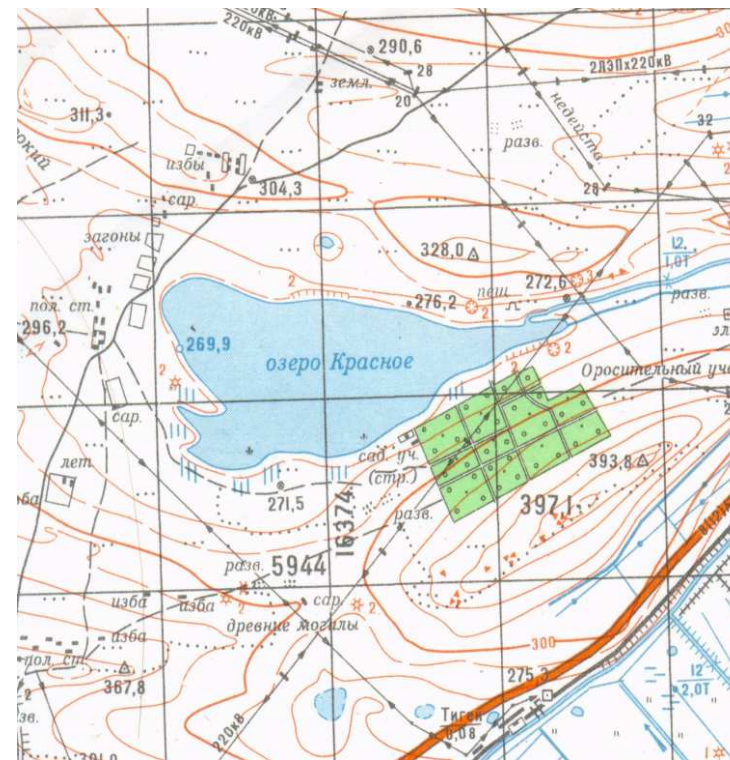
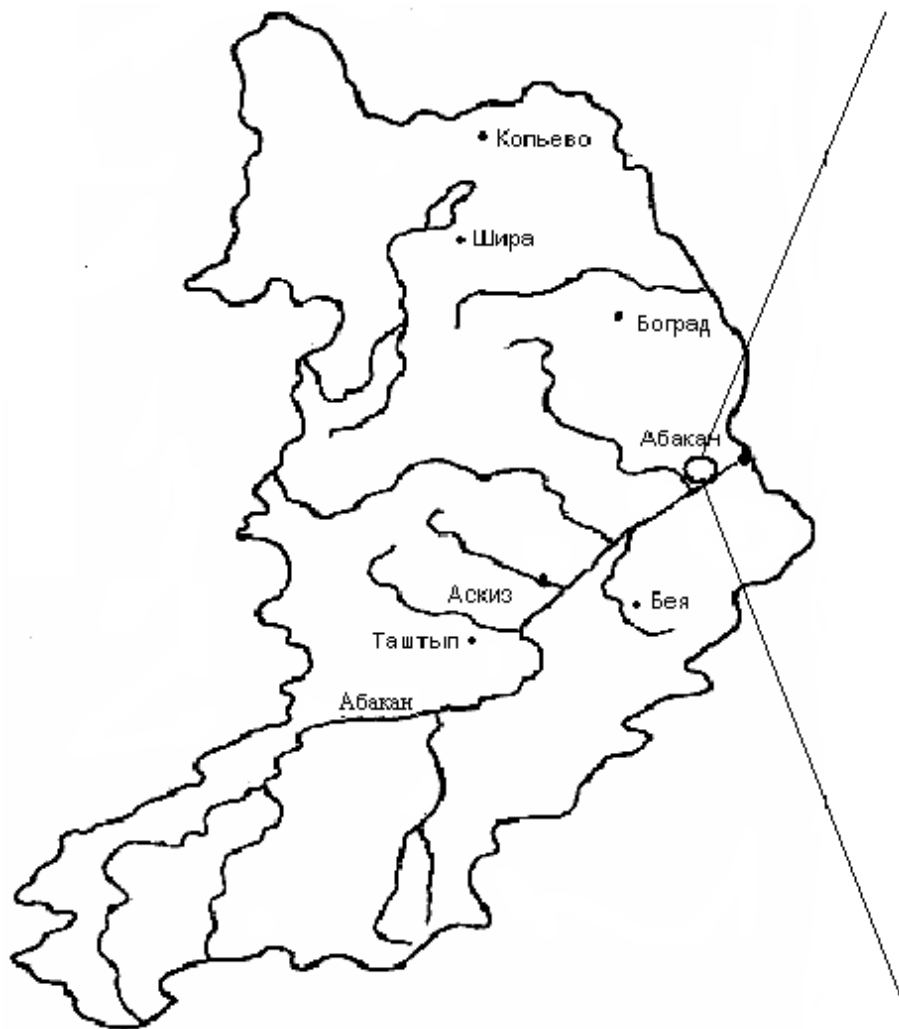
**Шуркина А.И.
Институт биофизики
СО РАН, г. Красноярск
ashurkina@yandex.ru
ap@ibp.ru**

Цель работы - изучение растительности степного пояса Хакасии на основе использования многоспектральной космической информации среднего разрешения и данных геоботанических обследований.

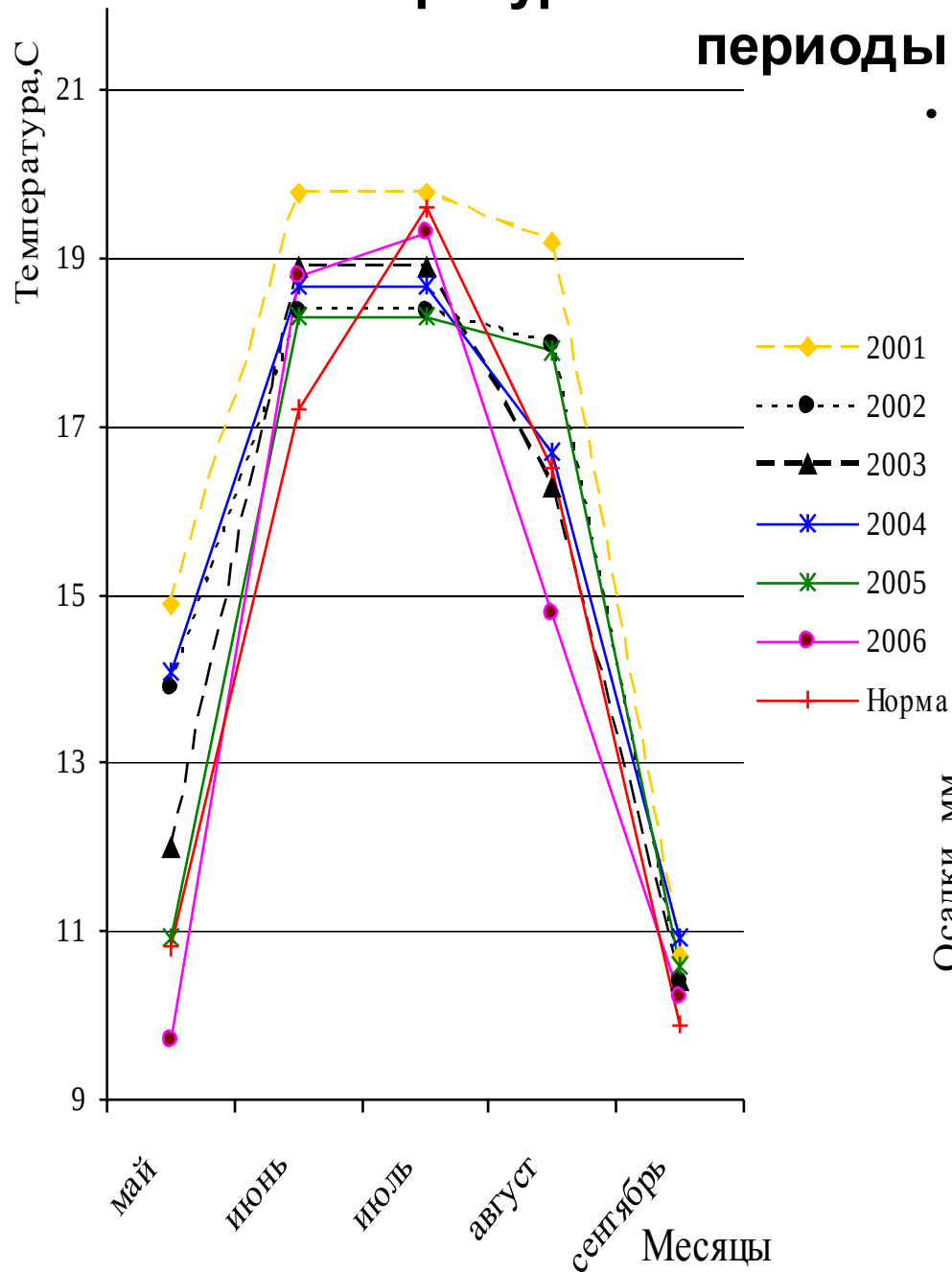
- **Задачи исследования:**

- изучение пространственного распределения и структуры основных растительных сообществ в окрестностях оз. Красное;
- исследование динамики надземной фитомассы, содержания воды в растительных сообществах;
- анализ динамики водного (NDWI) и вегетационного индексов (NDVI) растительных сообществ степного пояса Хакасии;
- исследование связи водного (NDWI) и вегетационного индексов (NDVI) с биометрическими параметрами растительных сообществ;

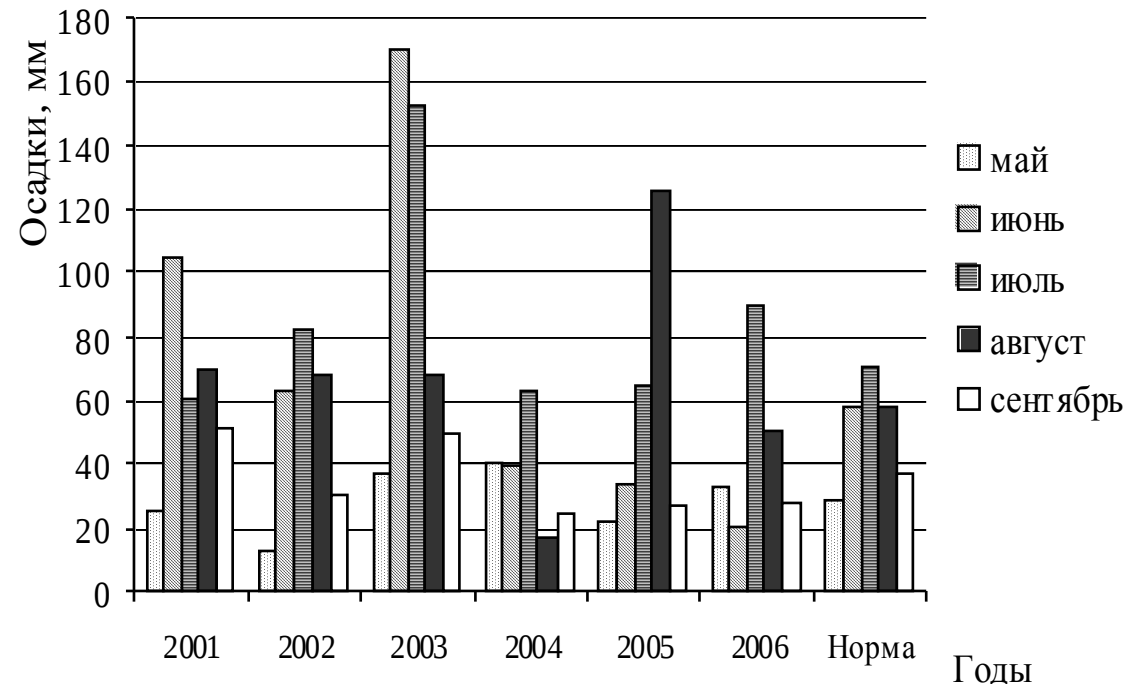
Территория исследования



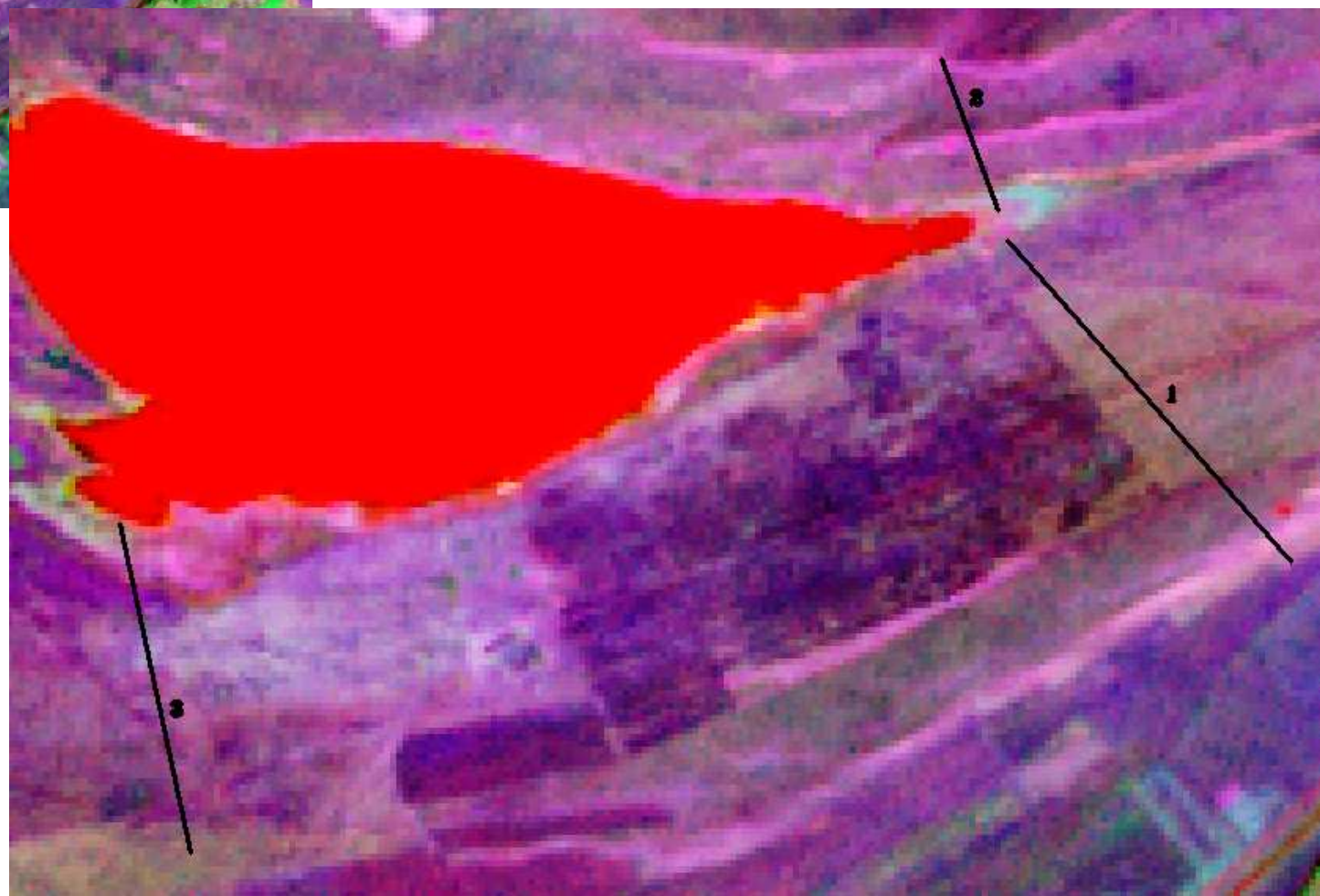
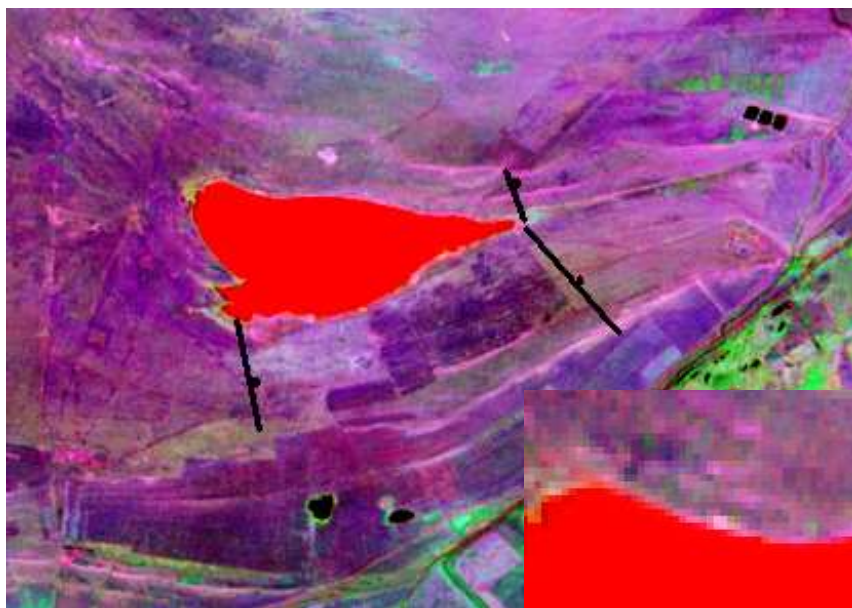
Температура и количество осадков за вегетационные периоды 2001-2006 гг.



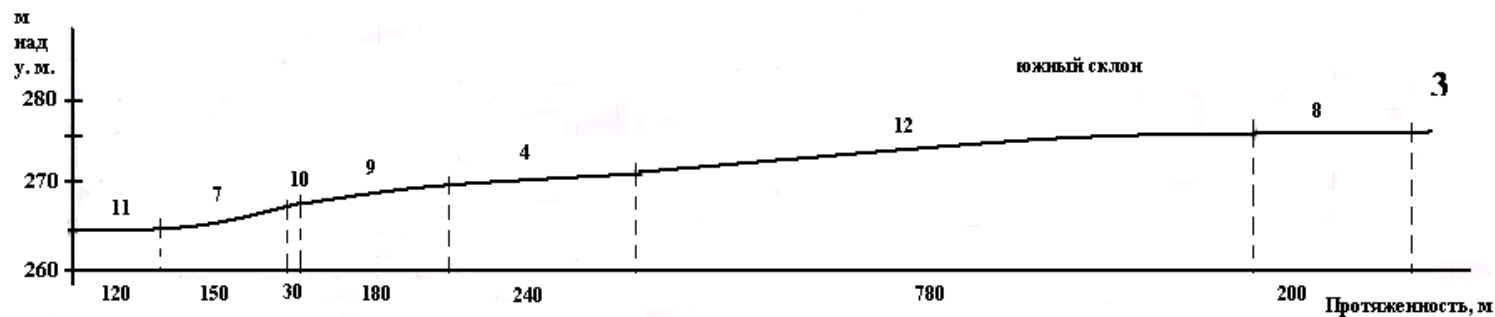
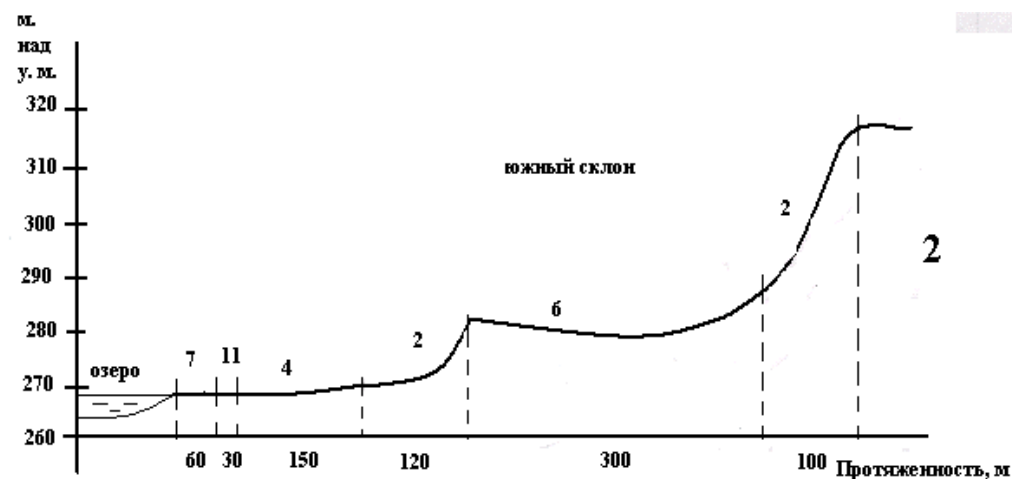
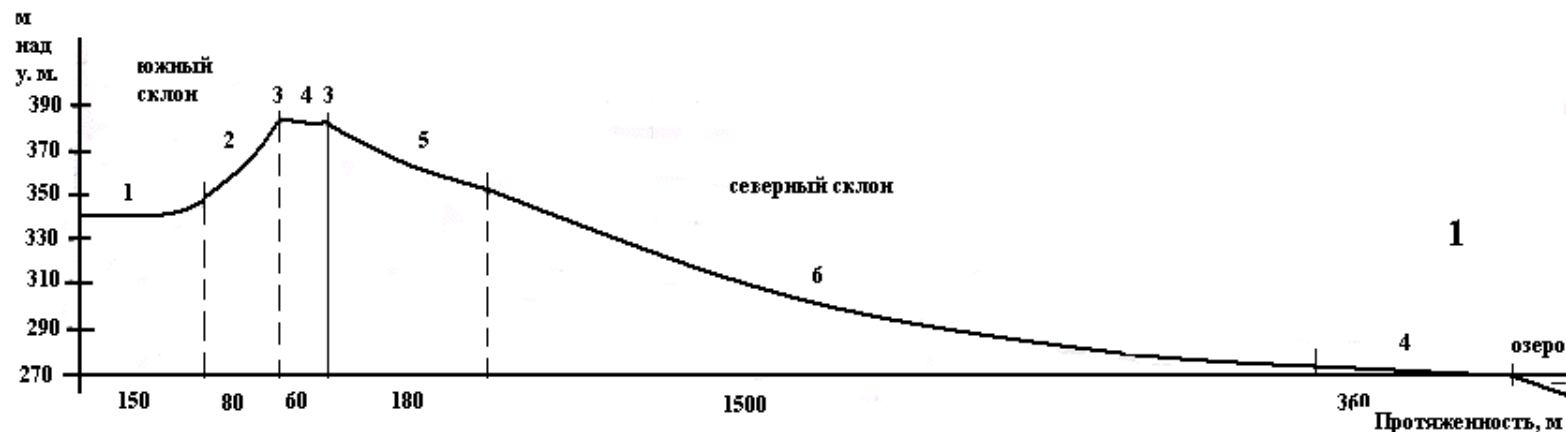
- Степная зона, охватывающая территорию исследования, характеризуется континентальным климатом с большой амплитудой колебания средних месячных температур (до 40), небольшим количеством осадков, наибольшим количеством тепла и света, значительной сухостью воздуха. Продолжительность безморозного периода 100-120 дней. Сумма активных температур 1700-2000. Погодные условия весенних месяцев не очень благоприятны для развития степных растений. Относительная влажность воздуха снижается в это время до 40, а иногда до 30%. Для большинства засушливых лет характерны ничтожное количество осадков в апреле (2-4 мм), очень маленькое в мае, а также недостатком увлажнения в наиболее ответственный период развития растений



Размещение профилей в пределах окрестностей оз. Красное.
Снимок Landsat 7 ETM + (RGB 3:4:5) 2 сентября 2006 г.



Размещение растительных сообществ на профилях в окрестностях оз. Красное



- Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицее; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Разнотравно-злаково-ковыльное растительное сообщество

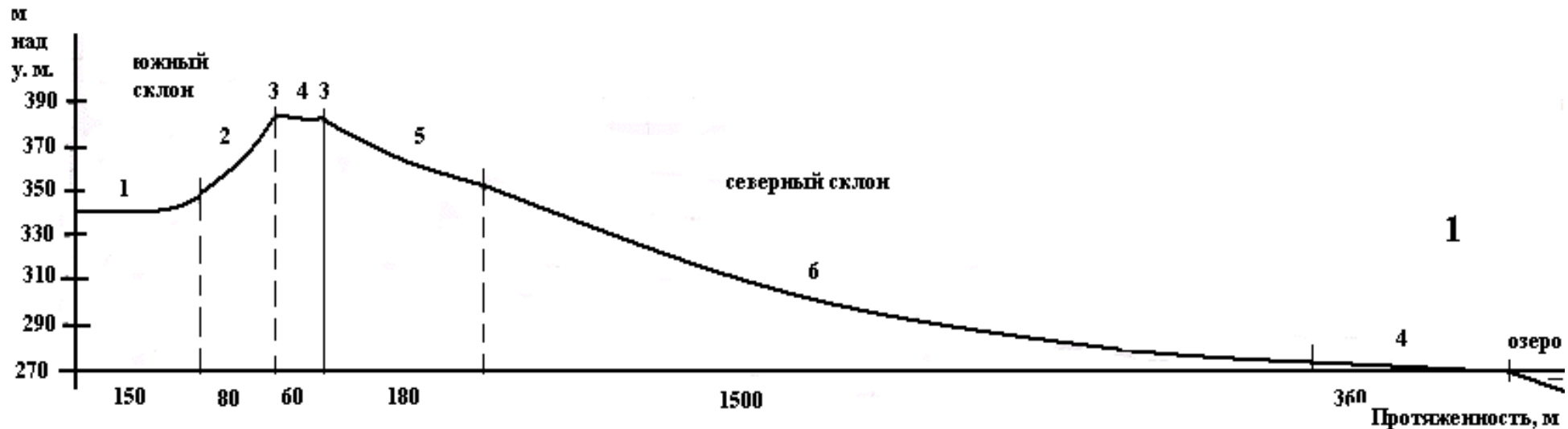


Общее проективное покрытие (ПП) – 40-50 %.

Количество ярусов -2

Основные виды: *Stipa capillata*, *Koeleria cristata*, *Potentilla bifurca*, *Festuca valesiaca*, *Heteropappus altaicus*.

Размещение растительных сообществ на профиле №1 в окрестностях оз. Красное



- Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицее; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Злаково-разнотравное (опустыненное) растительное сообщество

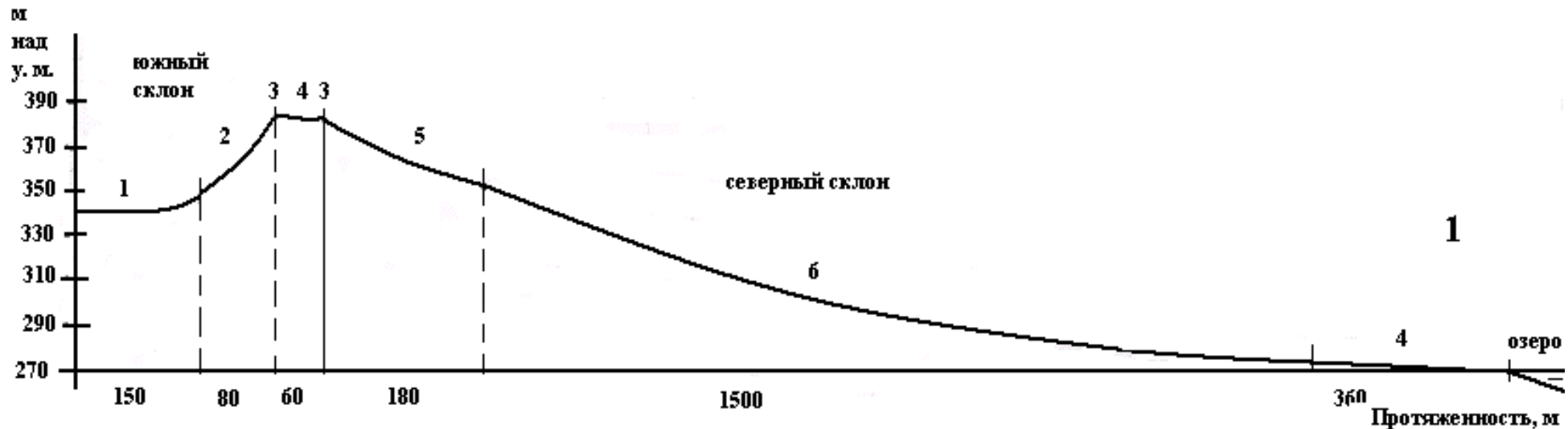


Общее проективное покрытие (ПП) – 30-35 %

Количество ярусов -2

Основные виды: *Agropyron cristatum*, *Artemisia frigida*, *Ceratoides papposa*, *Potentilla acaulis*.

Размещение растительных сообществ на профиле №1 в окрестностях оз. Красное



- Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицее; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Разнотравное растительное сообщество

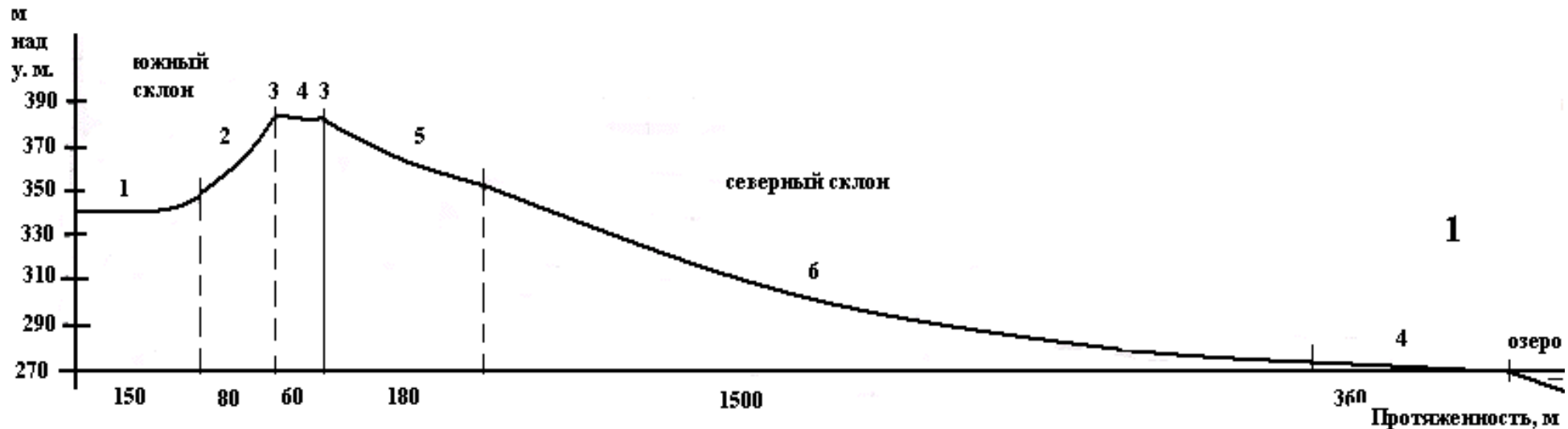


Общее проективное покрытие (ПП) – 30-35 %.

Ярусность не проявляется

Основные виды: *Potentilla sericea*, *Carex pediformis*, *Peucedanum vaginatum*, *Aster alpinus*, *Carex pediformis*

Размещение растительных сообществ на профиле №1 в окрестностях оз. Красное



- Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицее; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Полынно-злаковое с чием растительное сообщество

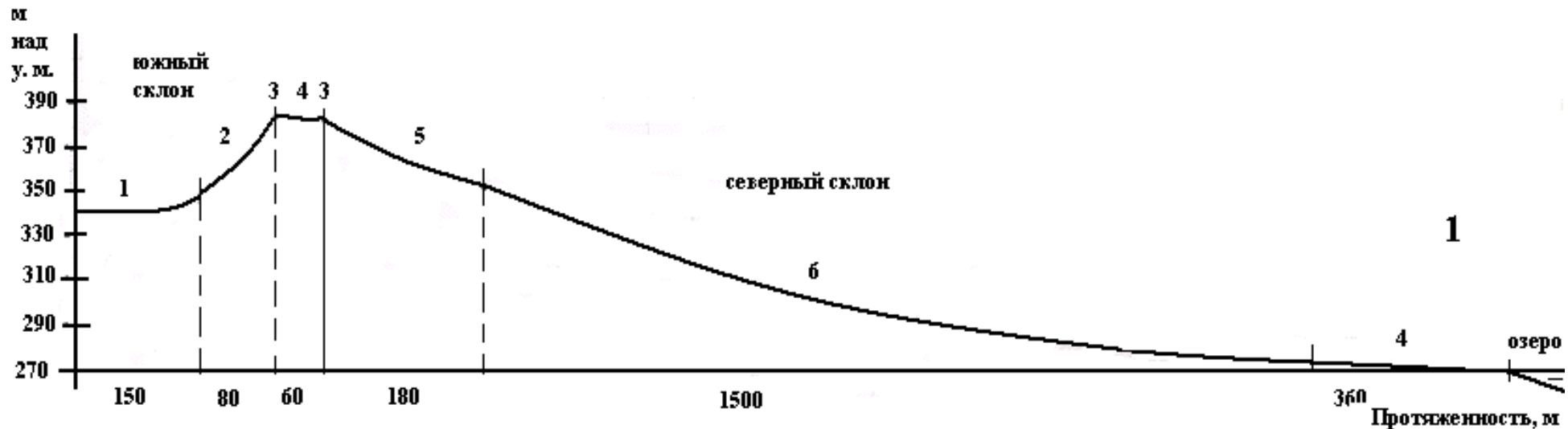


- Общее проективное покрытие (ПП) – 80-90 %.

Количество ярусов -3.

Основные виды: *Achnatherum splendens*, *Puccinellia tenuissima*, *Heteropappus altaicus*, *Artemisia frigida*, *Leymus ramosum*.

Размещение растительных сообществ на профиле №1 в окрестностях оз. Красное



- Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицеевое; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Осочково-змеевково-злаковое растительное сообщество

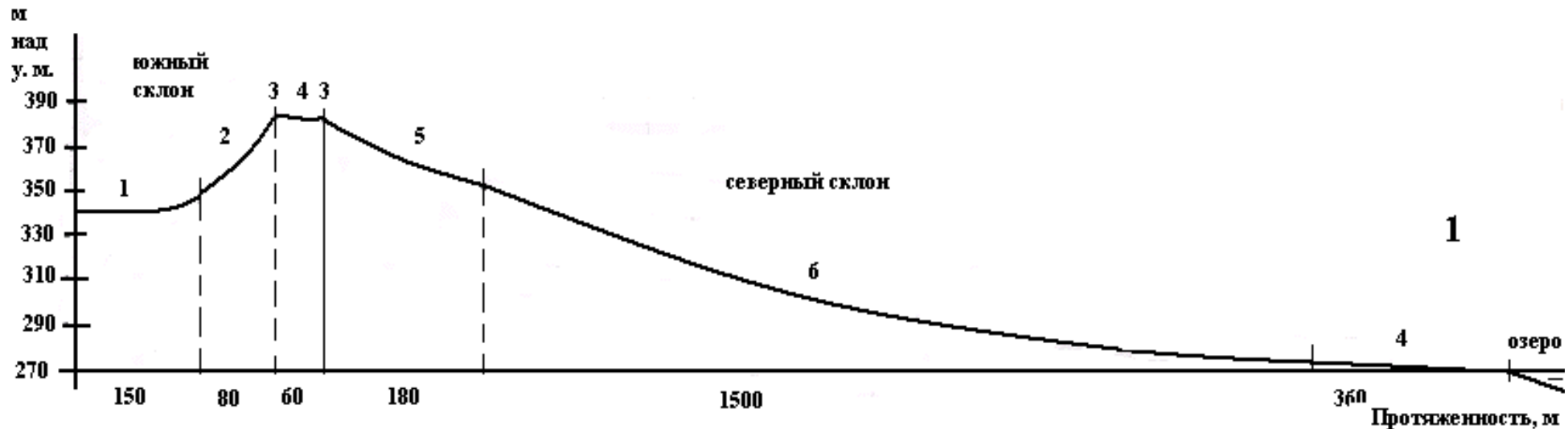


Общее проективное покрытие (ПП) – 50-60 %.

Количество ярусов -2

Основные виды: *Cleistogenes squarrosa*, *Carex duriuscula*, *Koeleria cristata*, *Avenula schelliana*

Размещение растительных сообществ на профиле №1 в окрестностях оз. Красное



- Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицее; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Разнотравно-злаково-ковыльное с караганой растительное сообщество



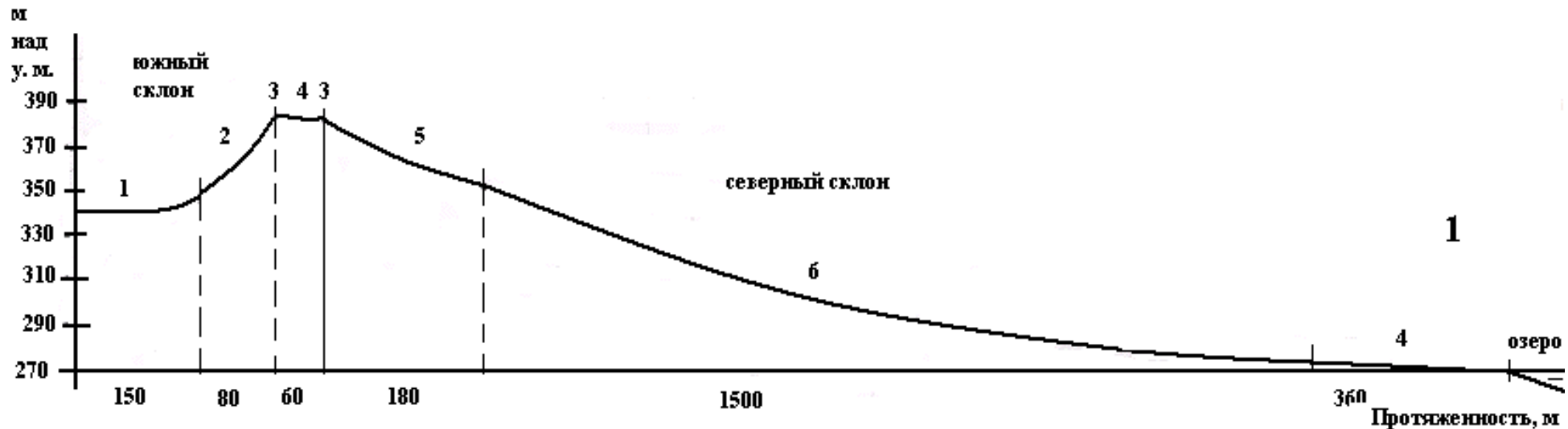
- Общее проективное покрытие (ПП) – 70-85 %.

Количество ярусов -2.

Основные виды: *Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Achnatherum splendens*, *Galium verum*, *Caragana pugnata*.

Описываемое растительное сообщество является типичным для солонцеватой Уйбатской степи и занимает большие площади.

Размещение растительных сообществ на профиле №1 в окрестностях оз. Красное



- Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицкое; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Тростниковое растительное сообщество

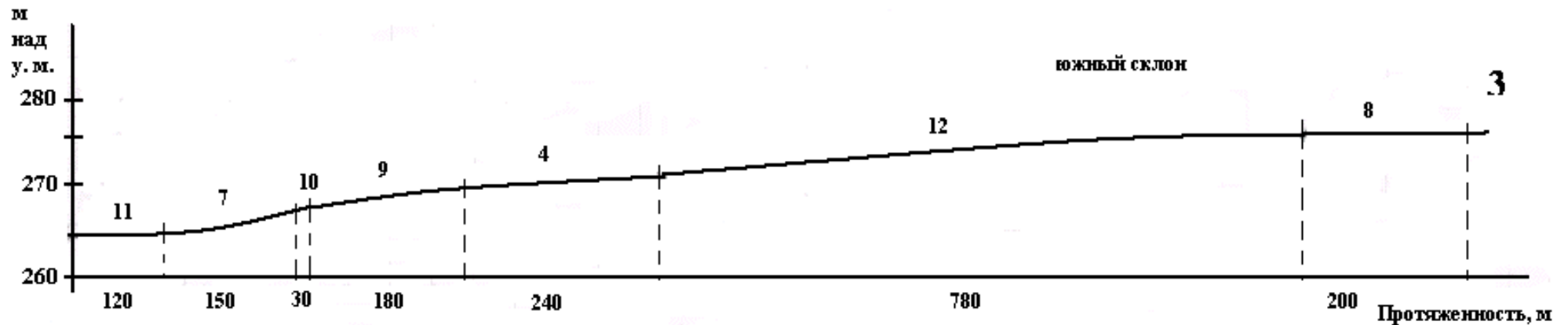


Общее проективное
покрытие (ПП) – 80-100 %.

Количество ярусов -2.

Основные виды: *Phragmites australis*, *Glaux maritima*.

Размещение растительных сообществ на профиле №3 в окрестностях оз. Красное



- **Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицкое; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Ячменное растительное сообщество

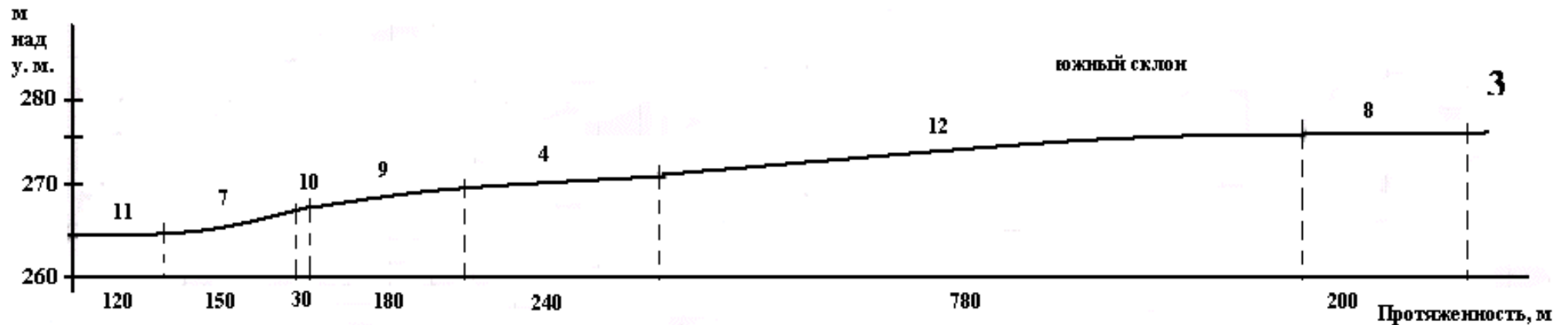


Общее проективное
покрытие (ПП) – 80-90 %.

Количество ярусов -2.

Основные виды: *Hordeum jubatum*,

Размещение растительных сообществ на профиле №3 в окрестностях оз. Красное



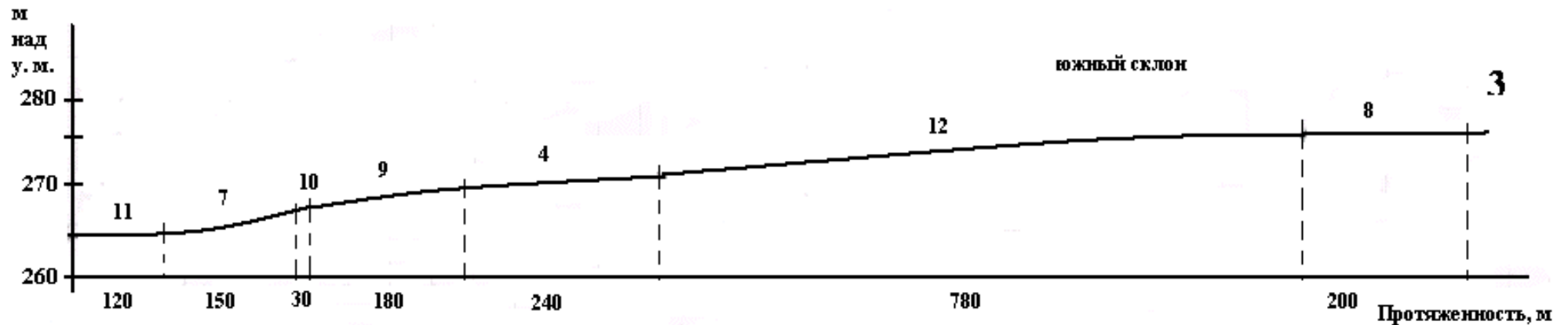
- **Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицеевое; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Бескильницево-полевицеевое растительное сообщество



- Общее проективное покрытие (ПП) – 90-95 %.
Количество ярусов -2.
Основные виды: *Agrostis australis*, *Puccinellia tenuissima*.

Размещение растительных сообществ на профиле №3 в окрестностях оз. Красное



- **Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицеевое; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Сведовое сообщество

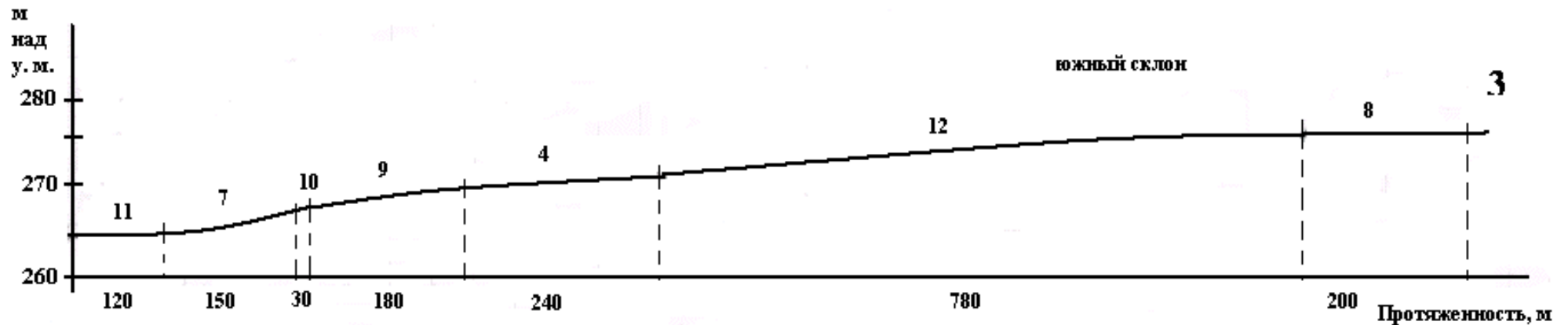


Общее проективное
покрытие (ПП) – 30-40 %.

Количество ярусов -2.

Основные виды: *Suaeda*
corniculata, *Puccinellia*
tenuissima

Размещение растительных сообществ на профиле №3 в окрестностях оз. Красное



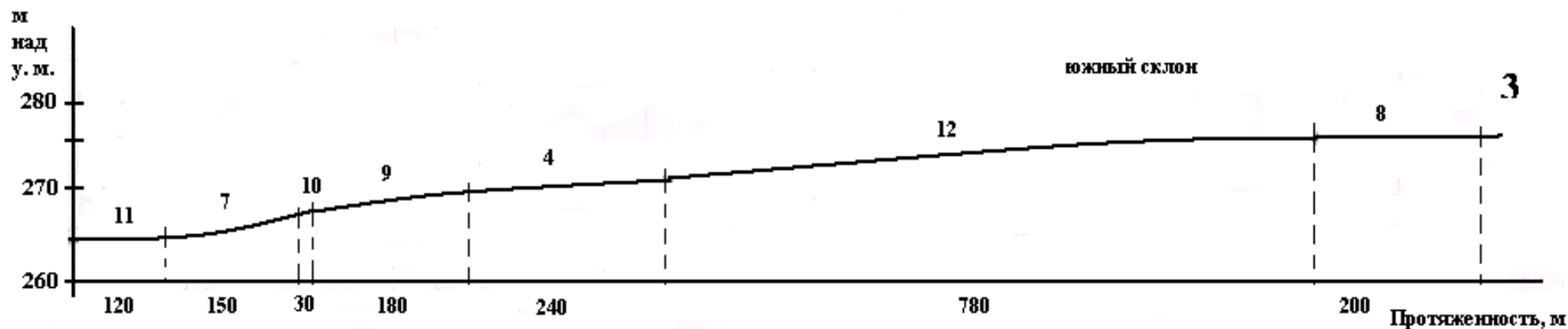
- **Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицеевое; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Колосняковое растительное сообщество



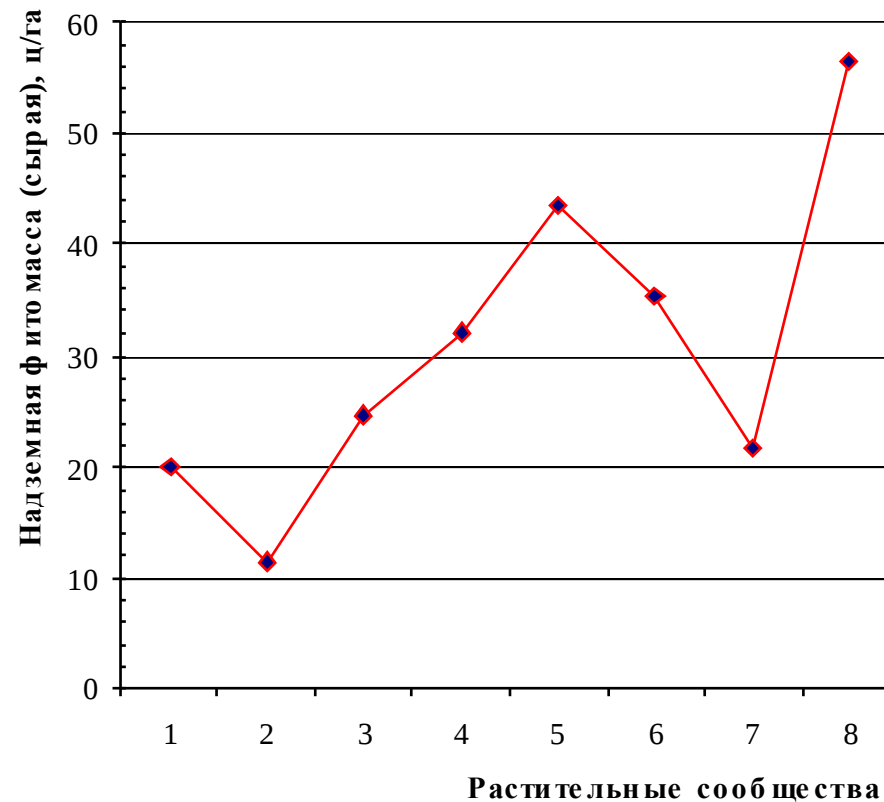
- Общее проективное покрытие (ПП) – 40-50 %.
Количество ярусов -2.
Основные виды: *Leymus ramosum*, *Heteropappus altaicus*, *Artemisia frigida*, *Potentilla bifurca*.

Размещение растительных сообществ на профиле №3 в окрестностях оз. Красное



- **Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (петрофитное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицкое; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь.

Надземная (сырая) фитомасса растительных сообществ в окрестностях оз. Красное (4 сентября 2006 г.)



- **Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – полынно-злаковое с чием; 4 – осочково-змеевково-злаковое, 5 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 6 – ячменное, 7 – колосняковое; 8 – тростниковое.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный дифференциальный вегетационный индекс растительности - показатель количества фотосинтетически активной биомассы.

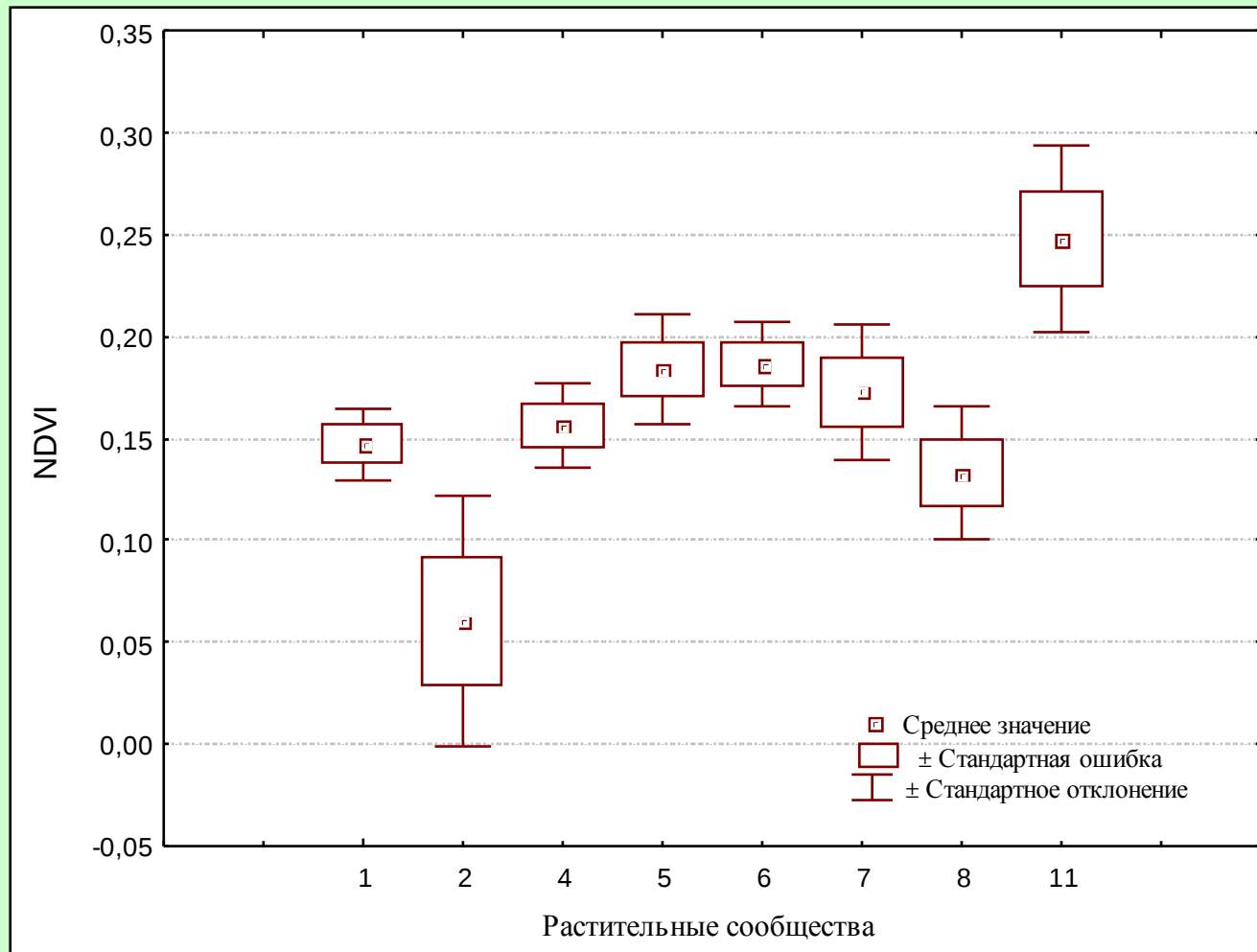
- **Вычисляется NDVI по следующей формуле:**

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{где,}$$

RED - значение коэффициентов отражения в красной области спектра (0,63-0,69 мкм);

NIR - значение коэффициентов отражения в ближней инфракрасной области спектра (0,76- 0,90 мкм)

NDVI некоторых растительных сообществ в окрестностях оз. Красное (2 сентября 2006 г.)



- Растительные сообщества: 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное) , 4 – полынно-злаковое с чием; 5 -осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 11 – тростниковое.

Распределение значений NDVI в растительных сообществах в окрестностях оз. Красное (2 сентября 2006 г.)



	- водная поверхность
Class 1	- $< - 0.01$
Class 3	- $0.11 - 0.13$
Class 4	- $0.13 - 0.14$
Class 5	- $0.14 - 0.15$
Class 6	- $0.15 - 0.16$
Class 7	- $0.16 - 0.17$
Class 8	- $0.17 - 0.23$
Class 9	- > 0.23

Экологическая шкала по фактору увлажнения (У)

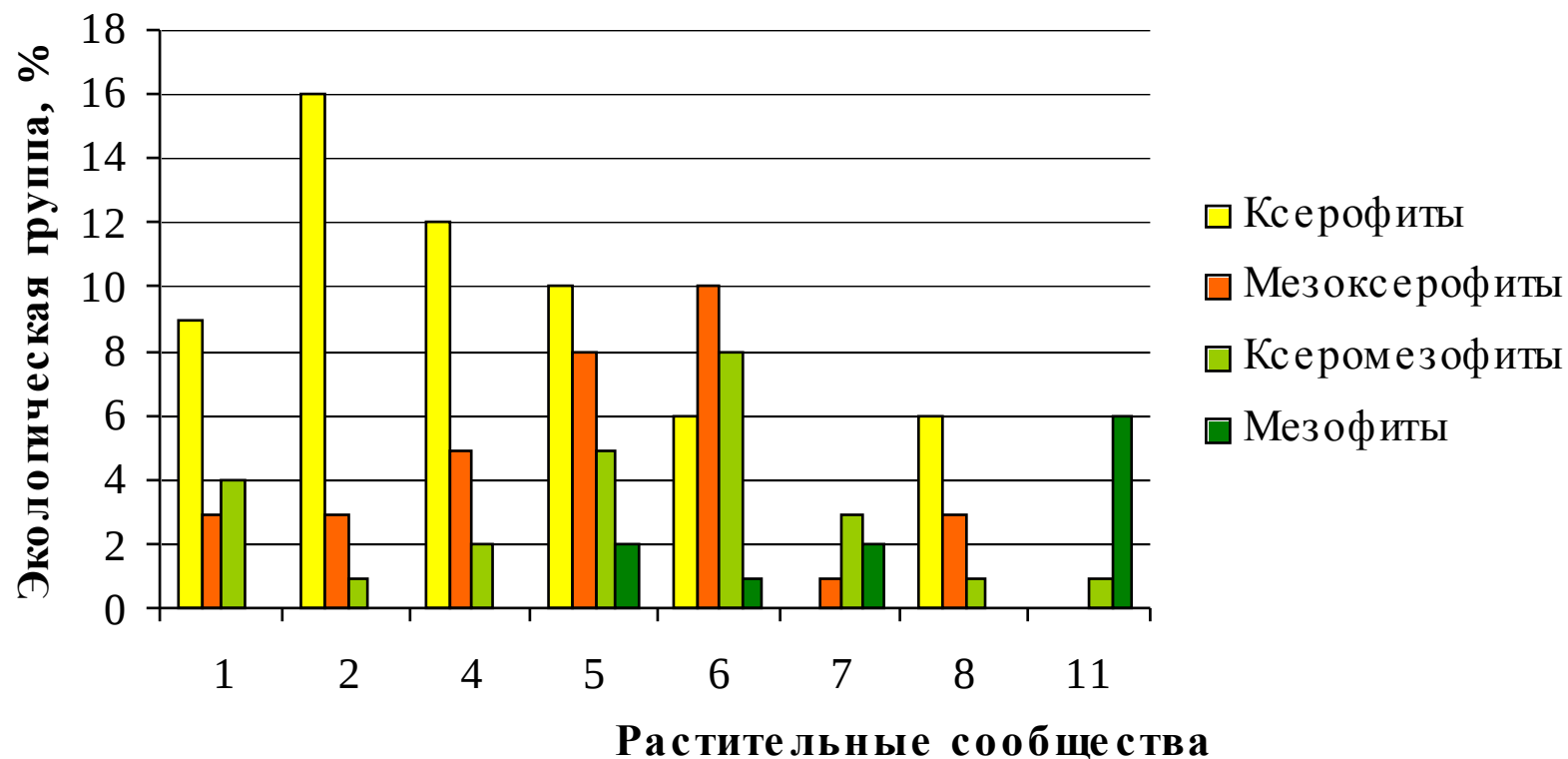
Ступени	Серия местообитаний
1-17	Пустынная
18-30	Полупустынная
31-39	Сухостепная
40-46	Среднестепная
47-52	Лугово-степная
53-63	Остепненно-луговая
64-76	Влажно-луговая
77-88	Сыролуговая
89-93	Болотно-луговая
94-103	Болотная
104-109	Прибрежно-водная
110-120	Водная

- В начале XX столетия фитоценологии начали систематически изучать реагирование растений на отдельные экологические факторы и оформлять результаты в виде таблиц, в которых отношение растений к тому или иному фактору обозначалось в виде условных показателей баллов. Такие таблицы получили название экологических шкал. К настоящему времени известно большое число экологических шкал, составленных исследователями (Раменский, 1938 и др.; Ellenberg, 1952, 1979; Цыганов, 1983, Цаценкин, 1974 и др.). Каждая шкала представляет обобщенный ряд местообитаний по тому или иному фактору и разделяется на определенное число градаций – ступеней, которые объединяются в группы, соответствующие более крупным градациям фактора, - сериям местообитаний.

**Экологические показатели растительных сообществ
в окрестностях оз. Красное**

Растительное сообщество	Увлажнение (y)	Пастбищная дигрессия (ПД)
1. Разнотравно-злаково-ковыльное	39	5,1
2. Злаково-разнотравное	37	4,3
3. Разнотравное	38	3,2
4. Полынно-злаковое с чиём	42	3,5
5. Осочково-змеевково-злаковое	44	5,5
6. Разнотравно-злаково-ковыльное с караганой	47	5,0
7. Ячменное	49	3,5
8. Колосняковое	41	5,2
11. Тростниковое	90	4,1

Соотношение экологических групп



- **Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 -осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 11 – тростниковое.

**Содержание воды в свежей навеске листьев некоторых степных растений,
относящихся к разным экологическим группам (2006 г.)**

Экологическая группа	Вид растения	Содержание воды, % от сырого веса	
		26 июня	4 сентября
Ксерофиты: злаки	<i>Stipa capillata</i>	44,8 ± 2,3	34,0 ± 1,3
разнотравье	<i>Artemisia frigida</i>	48,0 ± 0,9	40,5 ± 1,3
Мезоксерофиты: злаки	<i>Koeleria cristata</i>	53,0 ± 1,4	38,2 ± 1,1
	<i>Cleistogenes squarrosa</i>	51,3 ± 1,6	47,0 ± 1,5
разнотравье	<i>Potentilla bifurca</i>	61,0 ± 3,6	50,0 ± 2,1
Ксеромезофиты: злаки	<i>Achnatherum splendens</i>	59,0 ± 2,2	43,5 ± 1,8
осоки	<i>Carex pediformis</i>	57,4 ± 1,4	51,2 ± 1,8
разнотравье	<i>Artemisia glauca</i>	64,0 ± 1,6	53,2 ± 1,1
Мезофиты: злаки	<i>Phragmites australis</i>	73,6 ± 2,4	62,3 ± 1,4
разнотравье	<i>Glaux maritima</i>	87,8 ± 2,8	75,0 ± 1,4

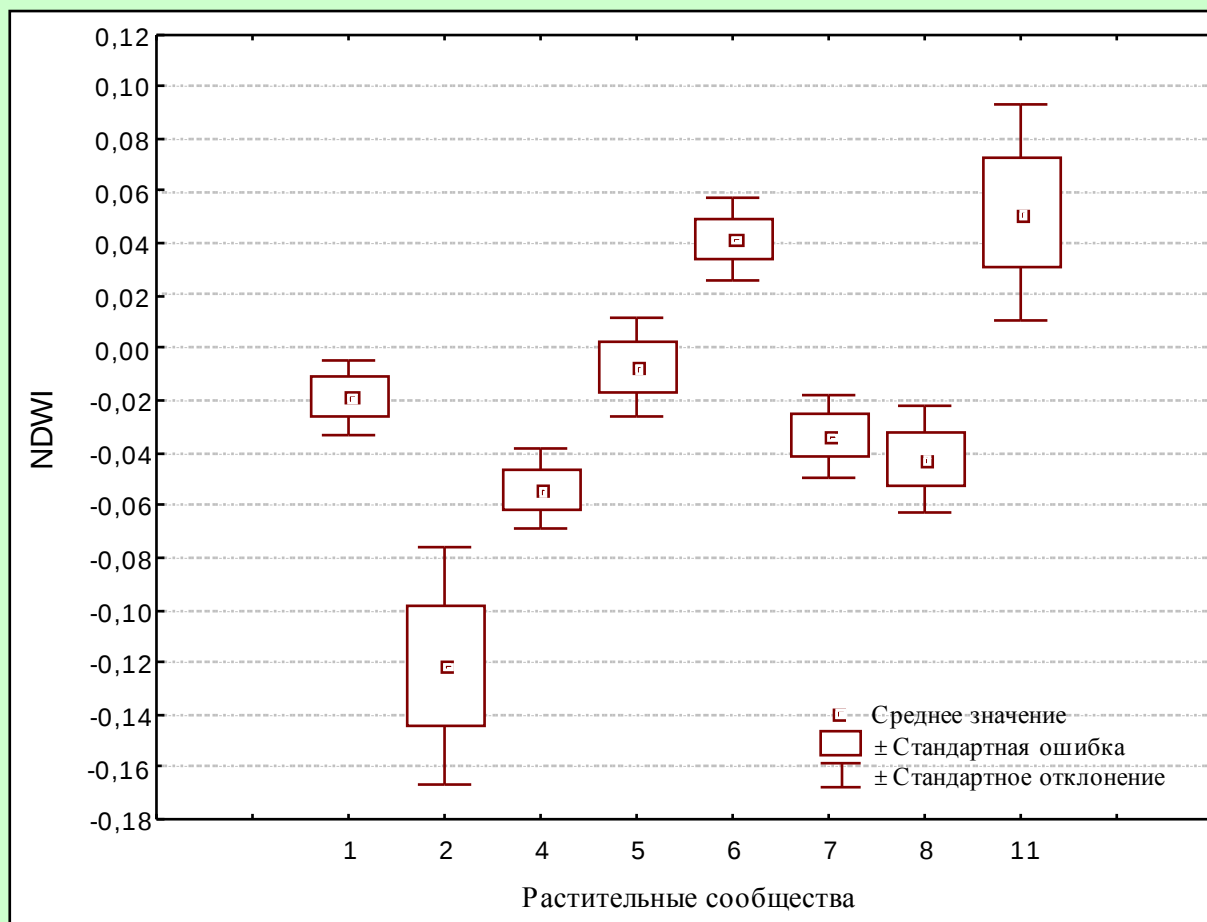
NDWI – (Normalized difference water index) нормализованный дифференциальный водный индекс - показатель относительного содержания воды в растениях.

Вычисляется NDVI для изображений Landsat ETM + по следующей формуле

$$\frac{4 \text{ канал} - 5 \text{ канал}}{4 \text{ канал} + 5 \text{ канал}} \quad \text{где,}$$

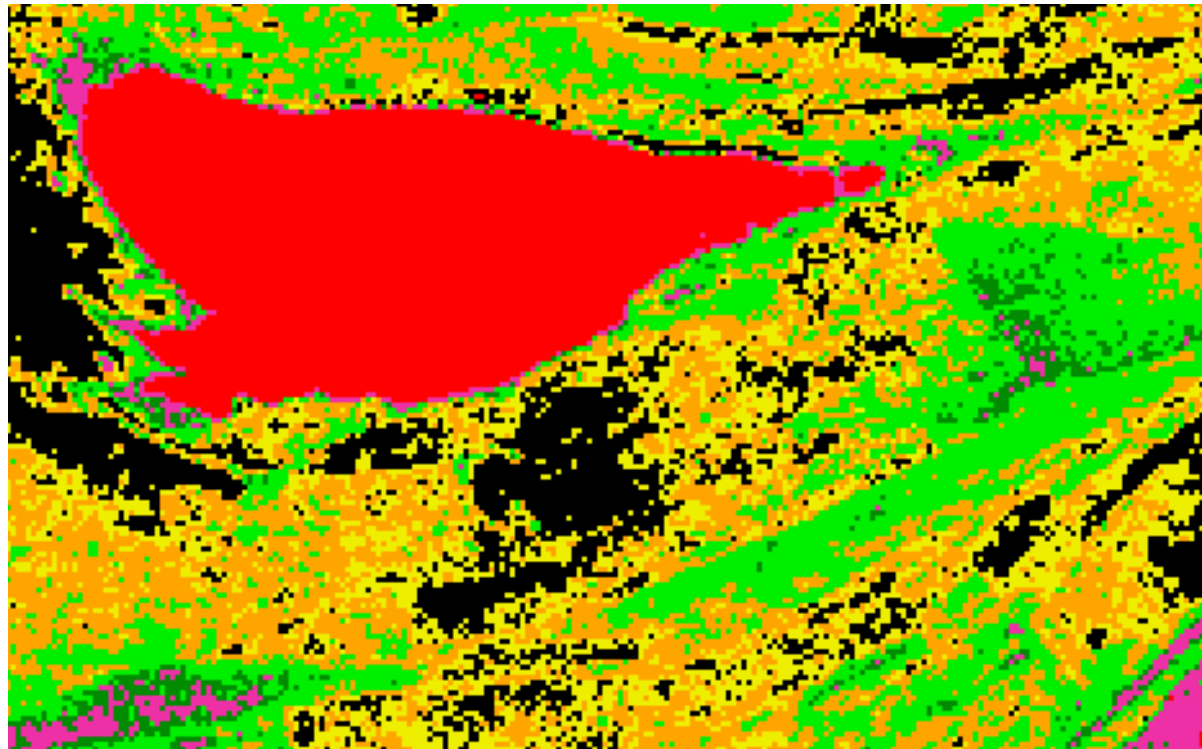
4 канал - значение коэффициентов отражения в области спектра - 0,76 – 0,90 мкм ;
5 канал - значение коэффициентов отражения в области спектра - 1,55 – 1,75 мкм.

NDWI некоторых растительных сообществ в окрестностях оз. Красное (2 сентября 2006 г.)



- **Растительные сообщества:** 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 -осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 11 – тростниковое.

Распределение значений NDWI в растительных сообществах в окрестностях оз. Красное (2 сентября 2006 г.)



	- водная поверхность
Class 1	- ≤ -0.08
Class 3	- $-0.08 - -0.06$
Class 4	- $-0.06 - -0.03$
Class 5	- $-0.03 - 0.03$
Class 6	- $0.03 - 0.05$
Class 7	- > 0.05

- В область значений < -0.08 входят злаково-разнотравные (опустыненные) сообщества расположенные на крутых южных склонах и злаково-полынные сообщества, возникающие в результате дерадации растительного покрова, значения NDWI в интервале от -0.08 до -0.06 характерны для разнотравно-злаково-ковыльных сообществ. Острцовые, ячменевые и полынно-злаковые с чием сообщества обладают значениями NDWI в интервале $-0.06 - -0.03$. Осочково-змеевково-злаковые сообщества $-0.03 - 0.03$. Наиболее высокими значениями NDWI (> 0.05) обладают разнотравно-злаково-ковыльные с караганой и тростниковые сообщества.

Выводы:

- - распределение растительных сообществ степного пояса определяется их приуроченностью к местообитаниям с определенной степенью увлажнения, формам рельефа и повторяется в пространстве. Так злаково-разнотравное сообщество (опустыненное) приурочено к склонам южных экспозиций с сухостепным увлажнением (37), а тростниковое сообщество к приозерному понижению с болотно-луговым (90) увлажнением;
- - сырая надземная фитомасса растительных сообществ в окрестностях оз. Красное увеличивается от вершины к подножиям склонов. При этом сообщества, приуроченные к сухостепным типам местообитаний, характеризуется наименьшей фитомассой варьирующей от 11,5 ц/га (злаково-разнотравное (опустыненное)) до 19,8 ц/га (разнотравно-злаково-ковыльное). Наибольшая сырая надземная фитомасса (56,4 ц/га) отмечается в приозерном понижении в тростниковом сообществе;
- - ксерофитные и мезоксерофитные злаки, такие как *Stipa capillata*, *Koeleria cristata* характеризуются наименьшим периодом вегетации, содержанием воды и наибольшим уровнем ее потери к концу вегетационного сезона, в отличие от представителей группы мезофитов (*Glaux maritime*);
- - по мере увеличения увлажнения местообитания и уменьшения доли ксерофитных злаков водный индекс увеличивается. Максимальные значения NDWI отмечаются в тростниковом и разнотравно-злаково-ковыльном с караганой сообществах, минимальные значения наблюдаются в злаково-разнотравном (опустыненном) сообществе в условиях сухостепного увлажнения;
- - диапазоны значений водного индекса (NDWI) разных растительных сообществ степного пояса Хакасии, по сравнению с вегетационным индексом (NDVI), перекрываются в меньшей степени, а, следовательно, NDWI является более эффективным для выявления вариаций растительного покрова;
- - явление усыхания злаков к сентябрю и длительная вегетация осенью группы разнотравья позволяет на основе вегетационного (NDVI) и водного (NDWI) индексов классифицировать растительные сообщества по преобладанию ботанических групп.

Спасибо за внимание

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 07-05-96807-р_енисей_а и

Красноярского фонда научных исследований 17G014.