

УДК 551.45+631.42

Мониторинг структуры доминирования травяных экосистем под влиянием Саяно-Шушенского водохранилища

А.Д. Самбуу

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН

В статье рассмотрены изменения в структуре доминирования видов растений в надземной и подземной сфере, начавшейся в травяных экосистемах зоны затопления под влиянием Саяно-Шушенского водохранилища.

Затопление и переувлажнение, связанные с вводом в эксплуатацию Саяно-Шушенской ГЭС, трансформируют растительность, вызывая затопление некоторых степных, луговых и лугово-болотных экосистем и замещение степных экосистем луговыми, луговых – заболоченными участками, что приводит к выраженной мезофитизации растительности.

Monitoring results showing changes in vegetation dominants structure in the above ground and below-ground sphere of the grassland ecosystems under the influence the Sayan-Shushensc water storage zone are presented.

Under the influence of the Sayan-Shushensc water storage zone natural vegetation of the grassland ecosystems got changed, there appeared changes in the species structure, some parts of the steppe, meadow and marsh ecosystems were flooded, some steppe ecosystems were replaced with meadow and meadow-marsh ecosystems.

Ключевые слова: доминанты, экосистемы, затопление, изменение структуры

В конце XIX века на р. Енисей создан каскад водохранилищ ГЭС, состоящий из Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ и их нижних бьефов. В результате как в самой речной системе, так и в прилегающих территориях произошли значительные изменения природных условий. Изменения в растительном покрове зоны действия Саяно-Шушенского водохранилища прежде всего связаны с коренными изменениями ландшафтной структуры, с затоплением базисной части длинного комплекса Енисея (пойм, островов, террас и нижней части склонов до высоты 540 м над уровнем моря) и образованием значительной зоны сработки с оползнями и обвалами.

Накопление воды в водохранилище в течение всего летнего периода приводит к затоплению берегов как в Саянской трубе, так и в Улуг-Хемской котловине Тувы. Осенью происходит сработка накопленной воды. Всё это приводит к формированию в долине полосы временного затопления. В статье рассмотрены изменения в структуре доминирования видов растений в надземной и подземной сфере, начавшейся в травяных экосистемах зоны затопления под влиянием Саяно-Шушенского водохранилища.

Объекты и методы исследования

Саяно-Шушенское водохранилище представляет собой водоём годичного регулирования поступающего стока с ежегодной сработ-

кой уровня к 10 – 15 мая до отметки 506 м или УМО – 500 м (рис. 1).

Водоохранилище состоит из каньонообразной и озёровидной частей. На территории Тувы расположены хвостовая озёровидная часть водохранилища и небольшой отрезок каньонообразной части.

Основные параметры водохранилища в пределах республики Тыва [1]:

- максимальная отметка наполнения водохранилища (или НПУ) – 540 м;
- отметка сработки (или УМО) – 500 м;
- общая протяжённость – 79 км;
- длина каньонообразной части – 27 км;
- длина озёровидной части – 52 км;
- средняя и максимальная ширина каньона – 1 км и 1,8 км;
- озёровидной части – 7 км и 12 км;
- длина береговой линии озёровидной части – 312 км;
- средняя глубина в каньоне – 40 м;
- в озёровидной части – 20 м;
- площадь мелководий (до 1 м глубиной) – 7,5 км²;
- площадь акватории озёровидной части – 262 км².

С начала работы водохранилища (1979 г.) выделяется два периода: период заполнения водохранилища (1979 – 1990 гг.) и период эксплуатации, начавшийся с 1990 г., когда было отмечено максимальное заполнение чаши водоёма до 540 м, и по настоящее время.



Рис. 1. Карта-схема исследуемых участков Саяно-Шушенского водохранилища: А – Шагонарская долина, Б – Чаа-Хольская долина

Объектами исследования были участки Шагонарской и Чаа-Хольской долин, расположенные в зоне затопления Саяно-Шушенского водохранилища (рис. 2). Зону влияния водохранилища можно разделить на три участка.

Первый участок находится полностью под водой – прирусловая, центральная части поймы и нижняя часть 1-й надпойменной террасы.

Второй участок – верхняя часть 1-й надпойменной террасы и 2-я надпойменная терраса затопляются сезонно, постепенно покрываясь водой с середины мая по сентябрь и освобождаются от воды в октябре.

Третий участок – подтопляемая коренная надпойменная терраса.

Сотрудниками Центрального сибирского ботанического сада СО РАН под руководством А.В. Куминовой в 1977 году до затопления была составлена геоботаническая карта данной территории. Для изучаемых участков были характерны сочетания сухостепной, степной, луговой и лугово-болотной растительности [2]. На начальном этапе заполнения водохранилища исследования были продолжены в 1989 – 1991 гг. сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН под руководством А.А. Титляновой. Новый цикл наблюдений при постоянном режиме функционирования водохранилища был осуществлён нами в 2001–2007 гг.

Для изучения растительности использовали общепринятые методики. Геоботанические описания экосистем проводили на каждом участке на пяти площадках размером 100 м². Для определения фитомассы на каждом участке закладывалось случайным образом 8 экспериментальных площадок. На всех площадках надземную фитомассу срезали на уровне почвы и с почвы собирали подстилку. Ветошь отбирали отдельно от зелёной фитомассы и последнюю разбирали по видам.

Для определения подземной фитомассы в середине каждой площадки отбирали почвенные монолиты поверхностью 10 см², длиной 10 см, объёмом 10 дм³. Глубина отбора монолитов – 0 – 10 и 10 – 20 см. Подземную

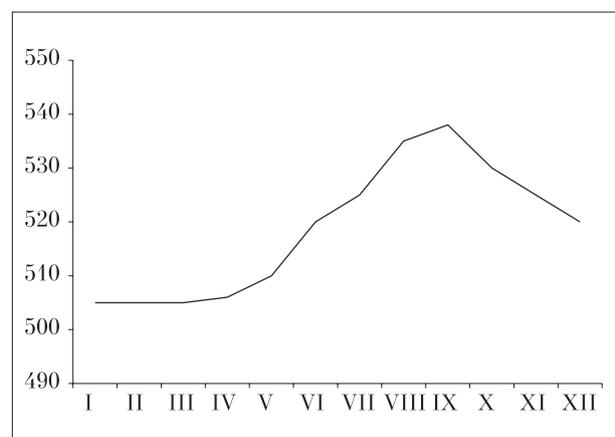


Рис. 2. Режим наполнения Саяно-Шушенского водохранилища на 2004 г.

фитомассу отмывали от почвы методом декантации с применением сита с отверстием 0,3 мм, растительный материал собирался на сите. При отмывке монолитов из слоя почвы 0 – 10 см живые корни и корневища отдельных видов тщательно выбирали из общей массы. Всю надземную и подземную фитомассу высушивали 24 часа при 80°C и взвешивали. Запасы всех компонентов выражали в граммах на квадратный метр для определённого слоя почвы.

Подземную фитомассу (отделённые крупные корни и корневища и мелкие корни) просеивали на почвенных ситах для определения фракции крупных (длиной более 2 см) и мелких (менее 2 см) корней. Узлы кущения отрезали от корней крупной фракции, затем корни визуально разделяли на живые и мёртвые, используя определённые признаки. Живые корни более эластичны и не ломаются при скручивании или лёгком растяжении. Активно растущие корни светлее, имеют тургор и покрыты корневыми волосками. Корни имеют оттенки разных цветов, и в зависимости от возраста, роста и развития интенсивность цвета меняется. Мёртвые корни – тёмные, не ветвистые, сухие и ломкие. Прошлогодние, а также омертвевшие много лет назад корни и корневища отличаются безжизненностью и не связаны с живыми частями растений, а если связаны, то легко отделяются от живых корней.

Для разборки подземного растительного материала по видам нами предварительно был составлен альбом растений с надземными и подземными органами на разных стадиях их развития.

Результаты и их обсуждение

В результате «работы» водохранилища возникли экосистемы с переменным режимом затопления (часть 1-й и 2-я надпойменная терраса) и переменным режимом увлажнения (надпойменная коренная терраса). Влияние данных режимов особенно велико в связи с климатом Тувы, который отличается резкой континентальностью, коротким, но жарким летом, продолжительной и малоснежной зимой, малым количеством осадков и длительными засухами.

В связи с воздействием водохранилища на исследуемых участках изменились не только структура и видовой состав растительности, но и структура доминирования.

Говоря о доминировании, мы могли сравнивать 1977 и 1990, 2007 гг. условно. В 1977 г.

доминанты выделялись по доле проективного покрытия. Наше понимание доминантов совпадает с определением Дж. Грайма [5], который называл доминантами виды, постоянно присутствующие в сообществе, дающие основной вклад в общую фитомассу, захватывающие ресурсы и влияющие на другие виды, благодаря изменению воздушных, почвенных и биотических условий. Мы считаем доминантами виды, вклад которых в зелёную фитомассу (G) и/или в живые подземные органы (B) превышает 10% от общей фитомассы. В число содоминантов входят виды с соответствующим вкладом от 10 до 1%, в число минорных – виды с вкладом <1% [3]. Целью данной работы было изучение доминантов в надземной и подземной сферах сообщества (табл. 1).

Для установления видовой принадлежности подземных органов растений использовали составленные нами альбомы. Корни и корневища разных видов вполне различимы. Так, например, корни *Stipa krylovii* имеют цвет от белого до грязно-желтоватого, особыми приметам корней *Stipa krylovii* являются чехлы из опробковевшей серой ткани, покрывающей крупные корни первого порядка. Корни другого вида ковылей – *Stipa orientalis* отличаются цветом, который меняется от белого матового до светло-коричневого. Чехлы, покрывающие крупные корни, сформированы опробковевшей желтоватой тканью. Корневищное растение *Carex duriuscula* имеет светло-коричневое корневище и много корней второго и третьего порядка. Эти тонкие корешки отличаются жёсткостью, сильной ветвистостью и рыжим цветом. Корневища другой осоки – *Carex enervis* коричневого цвета, с обилием корней второго и третьего порядка. Корешки характеризуются тонкостью, мягкостью и эластичностью. Корневища *Potentilla acaulis* деревянистые, хрупкие; цвет корневищ *Potentilla anserina* меняется от коричневого до чёрного, прикреплённые корешки – тонкие, почти одинаковой длины 15 – 25 см. *Agrostis gigantea* обладает многочисленными корневищами тёмно-коричневого цвета, от которых отходят молодые белые подземные побеги. Корневища *Elytrigia repens* отличаются коричневым цветом, они длинные, ползучие, шнуровидные, с многочисленными белыми побегами. Описание корневых систем части видов сделано ранее А.А. Титляновой и др. [4].

В надземной фитомассе первого участка в 1977 г. доминировало 10 видов, на первой

Таблица 1

Долевое участие доминантов в сложении общей надземной (G) и подземной (В) фитомассы на исследуемых участках, %

№	Доминанты	Участок 1				Участок 2				Участок 3			
		G		В		G		В		G		В	
		1977 г.	1990 г.	2007 г.	2007 г.	1977 г.	1990 г.	2007 г.	2007 г.	1977 г.	1990 г.	2007 г.	2007 г.
1	<i>Agrostis gigantea</i>	+	15	12	20	+	15	20	20				
2	<i>Alopecurus arundinaceus</i>		10	10	18	+						10	12
3	<i>Achnatherum splendens</i>	+				+						10	20
4	<i>Artemisia frigida</i>					+							
5	<i>Bl?smus sp.</i>						10						
6	<i>Bromopsis inermis</i>	+	10		11	+		12	10			10	10
7	<i>Carex gracilis</i>	+											
8	<i>C. cespitosa</i>			18	10								
9	<i>C. enervis</i>	+		10		+					10	12	10
10	<i>Calamagrostis epigeios</i>							15	12				
11	<i>Cleistogenes squarrosa</i>												
12	<i>Cannabis ruderalis</i>		10	10	5	+	10	10	5			10	10
13	<i>Chenopodium album</i>						15			15			
14	<i>Eleocharis palustris</i>		10	15	12								
15	<i>Elytrigia repens</i>	+	12	12	13	+	12	12	10			10	10
16	<i>Equisetum palustre</i>		10									10	10
17	<i>Elymus mutabilis</i>												
18	<i>Glycyrrhiza uralensis</i>	+				+						10	
19	<i>Halerpestes ruthenica</i>					+							
20	<i>Leymus paboanus</i>	+				+							
21	<i>L. secalinus</i>	+				+							
22	<i>Potentilla bifurca</i>					+	10	7	10			5	10
23	<i>P. anserina</i>	+						15	10				
24	<i>P. acutis</i>					+							
25	<i>Polygonum aviculare</i>		10				10					10	
26	<i>Stipa krylovii</i>					+	10	6	10			6	10

стадии затопления (1990 г.) – 8. Как уже говорилось выше, расхождение в количестве видов-доминантов возможно за счёт разного подхода к определению доминирования. Вклад семи доминантов из восьми в наземную фитомассу одинаков – 10-12%, и только долевое участие *Agrostis gigantea* составляет 15%.

В 2007 г. в наземной фитомассе доминируют семь видов. *Bromopsis inermis*, *Equisetum palustre*, *Polygonum aviculare* выпали из числа доминантов, появилось два новых доминанта – *Carex cespitosa* и *C. enervis*. Долевое участие доминантов стало более пёстрым. В подземной фитомассе доминируют шесть видов. Кроме *Agrostis gigantea* и *Alopecurus arundinaceus*, все остальные виды в подземной фитомассе имеют близкое долевое участие. *Bromopsis inermis* доминирует в подземной сфере, несмотря на то, что его нет в числе доминантов наземного яруса.

На втором участке в 1977 г. было самое большое количество доминантов (14). Видовой состав в 1990 г. включал восемь доминантов, где относительный вклад каждого вида в зелёную фитомассу почти одинаков. Важно отметить, что из восьми доминантов пять видов доминировали и в 1977 г. В состав доминантов, в частности, вошли сорные виды *Blytus sp.*, *Polygonum aviculare*, *Chenopodium album*. На 28-й год сукцессии в растительности участка происходит дальнейшая смена доминантов. Из числа старых доминантов сохранили свое долевое участие *Agrostis gigantea* и *Elytrigia repens*. Ранее (1990) доминировавшие в наземной сфере *Stipa krylovii* и *Potentilla bifurca* остались в числе доминантов, но только в подземном ярусе. Четыре вида с *Potentilla anserina* являются доминантами в обоих ярусах сообществ.

На третьем участке до затопления было 10 доминантов, после 1990 г. – 9. Из числа доминантов выпадают степные *Artemisia frigida*, *Cleistogenes squarrosa*, *Stipa krylovii* и луговые виды *Elymus mutabilis*, *Leymus paboanus*, *L. secalinus*, их замещают сорные *Cannabis ruderalis*, *Chenopodium album*, *Polygonum aviculare*, луговой *Glycyrrhiza uralensis* и болотный *Equisetum palustre* виды.

После 28 лет сукцессии растительности в обеих сферах сообществ преобладают с почти одинаковым долевым участием (кроме *Achnatherum splendens*) старые доминанты: *Alopecurus arundinaceus*, *Achnatherum splendens*, *Carex enervis* и *Elytrigia repens*. Появляются новые доминанты – *Bromopsis inermis* с равным долевым участием в зелёной и под-

земной фитомассе и два степных вида *Stipa krylovii*, *Potentilla bifurca*, доминирующих в подземной сфере. Сорные виды выпадают из числа доминантов.

Заключение

Сукцессионные процессы в травяных экосистемах и стрессорирующие факторы, такие как затопление и переувлажнение, связанные с вводом в эксплуатацию Саяно-Шушенской ГЭС, трансформируют растительность, вызывая затопление некоторых степных, луговых и лугово-болотных экосистем и замещение степных экосистем луговыми, луговых – заболоченными участками, что приводит к выраженной мезофитизации растительности.

Число видов, доминирующих в наземной фитомассе травяных экосистем исследуемых участков, меняется от 6 до 14, в подземной – от 6 до 7. Наибольшее количество доминантов наземной сферы (4) во все годы изучения участков характерно для сообществ коренной надпойменной террасы, по 2 доминанта – до (1977 г.) и после (1991 г.) затопления. Для начальной стадии сукцессии для всех участков отмечено доминирование как степных, луговых, так и рудеральных и однолетних сорных видов, а для 28-го года сукцессии – уменьшение количества доминантов с 8-9 до 6-7.

Elytrigia repens – постоянный доминант на всех стадиях сукцессии во все годы исследования – вносит почти равный относительный вклад в наземную и подземную (в 2007 г.) фитомассу. Этот вид имеет широкую экологическую амплитуду, в силу чего в пойме *Elytrigia repens* занимает довольно неоднородные местообитания, и входит во многие разнообразные по составу и структуре сообщества. *Agrostis gigantea* доминирует на первом и втором участках до (1977 г.) и после (1991 г.) затопления с почти равным долевым участием в зелёной (12 – 20%) и подземной (20%) фитомассе.

Некоторые виды доминируют только в сообществах в наземном (*Cannabis ruderalis*) или в подземном (*Bromopsis inermis*) ярусе во все годы исследования. При высоких 47 – 85 см маловетвистых стеблях с крупнозубчатыми листьями *Cannabis ruderalis* имеет слабые, хилые корни и поэтому доминирует только в наземной сфере. А *Bromopsis inermis* – наоборот, с мощными длинными корневищами и многочисленными побегами занимает доминирующее положение в подземной сфере.

Степные виды *Stipa krylovii* и *Potentilla acaulis* сохраняют свое господство в подземном ярусе, что является показателем устойчивости степных экосистем к внешним воздействиям, даже таким, как избыточное увлажнение.

Антропогенная трансформация растительности включает в себя несколько различных процессов, в том числе дифференциацию местных видов растений в зависимости от неодинаковой реакции разных видов на антропогенное воздействие. Анализ видов доминантов до и после затопления водохранилищем травяных экосистем Улуг-Хемской котловины позволяет вскрыть природные источники, т. е. местные виды растений таят в себе ресурсы для восстановления растительности, так как они уже самой природой испытаны на выживаемость в нарушенных и созданных Саяно-Шушенским водохранилищем условиях.

Литература

1. Отчёт Ленинградгидропроект. Л. 1991. С. 15 – 37.
2. Мальцева Т.В. Растительность долины р. Улуг-Хем // Растительные сообщества Тувы. Новосибирск: Наука, 1982. С. 29-44.
3. Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. Подземные органы растений в травяных экосистемах. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 128 с.
4. Титлянова А.А., Косых Н.П., Романова И.П. Структура доминирования в травяных экосистемах // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Материалы 1-й Международной научно-практической конференции. Барнаул, 2002. С. 212-217.
5. Grime J.P. Plant Strategies and Vegetation Processes. Chichester, UK: John. Wiley and Sons, 1979. P. 222.

УДК 502.55 (203) (470.21)

Количественная оценка аэротехногенного загрязнения территории Мурманской области Часть 2

Н.Е. Раткин, А.В. Шаблова

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

Изучены факторы, определяющие пространственно-временной характер атмосферного выпадения сульфатов, никеля и меди на сложно-пересечённую поверхность модельного водосбора озера Чунозеро. Дана оценка уровня локальных атмосферных выпадений загрязняющих веществ на единицу площади типичных ландшафтов от внешних и внутренних источников загрязнения во времени и пространстве. Дана количественная оценка атмосферного выпадения сульфатов, никеля и меди на территории с региональным фоновым уровнем загрязнения во времени.

The factors are considered in the article that influence the space-time character of atmospheric fall-out of sulfates, nickel and copper on complex-crossed surface of the model basin of Chunozero Lake. It presents evaluation of the influence of internal and external contamination sources in time and space on the level of local atmospheric pollutants fall-out per unit of the typical landscapes area. Quantitative evaluation of atmospheric fall-out of sulfates, nickel and copper on the territory with regional background pollution level in course of time is given.

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, сульфаты, никель, медь, количественная оценка

Введение

Выпадение вещества на подстилающую поверхность определяется двумя процессами – вымыванием осадками и сухим поступлением вещества на подстилающую поверхность в отсутствие осадков [1]. Уровень локального загрязнения подстилающей по-

верхности складывается из «сухого» осаждения вещества под действием сил гравитации и поглощения вещества подстилающей поверхностью и «мокрого» осаждения атмосферными осадками. В локальной зоне загрязняющие вещества присутствуют в атмосфере в виде полидисперсных частиц, имеющих разнообразную форму, размеры