

УДК 581.55:595:631(571-656)

БОТАНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОНОВ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ИЕРАРХИИ В ЗАПАДНО- СИБИРСКОЙ АРКТИКЕ И СУБАРКТИКЕ

Попова Е. И., Ильминских Н. Г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, г. Тобольск, Россия (626152, ул. Академика Ю. С. Осипова, д.15), e-mail: popova-3456@mail.ru

На северных территориях, в рамках конкурсной программы фундаментальных ориентированных исследований УрО РАН «Арктика» по теме «Состав, динамика и прогнозирование состояния биоразнообразия на экотонах разной иерархии и генезиса в Западно-Сибирской Арктике и Субарктике», № 12-4-7-009-АРКТИКА, проведена экспедиция по маршруту Тобольск – Ханты-Мансийск – Сургут – Тарко-Сале – Коротчаево – Новый Уренгой – Надым – Ямбург – Тазовский – Тобольск. Из полученных результатов следует, что видовое богатство (биоразнообразие) сосудистых растений, биологическая продуктивность, флуктуация морфометрических особенностей, концентрации микроэлементов на всех изученных ключевых участках имеют наибольшие значения в экотональных экосистемах (на экотонах). Концентрация тяжелых металлов снижается от полотна дороги к природным экосистемам. Реализация проекта позволит подойти к решению задач рационального использования, сохранения и восстановления ресурсов жизнеобеспечения в Арктике, целостности и продуктивности местных экосистем, биоразнообразия, биоресурсов, ареала и традиционного уклада жизни малочисленных народов Севера.

Ключевые слова: техногенный экотон, биоразнообразие сосудистых растений, плотность фитоценов, биологическая продуктивность, флуктуация морфометрических параметров, микроэлементы, тяжелые металлы.

BOTANICAL AND ECOLOGICAL PHYSIOLOGICAL PARAMETERS TECHNOGENIC ECOTONES HIGH LEVEL OF HIERARCHY IN THE WEST SIBERIAN ARCTIC AND SUBARCTIC

Popova E.I., Ilminskikh N.G.

Federal State Institution of Science Tobolsk Complex Scientific Station UD RAS, Tobolsk, Russia (626152, st. Academician Osipov d.15), e-mail: popova-3456@mail.ru

In the Northern Territory, under a competitive program of basic research oriented UD RAS "Arctic" on "Structure, dynamics and prediction of the state of biodiversity at different hierarchy ecotones and genesis in the West Siberian Arctic and Subarctic", № 12-4-7-009- ARCTIC, carried expedition route Tobolsk – Tyumen – Surgut – Tarko-Sale – Korotchaev – Novy Urengoy – Nadym – Yamburg – Taz – Tobolsk. Our results imply that the species diversity (biodiversity) of vascular plants, biological productivity, the fluctuation of morphometric features, the concentration of trace elements in all key areas studied are the greatest values ecotone ecosystems (on ecotones). Concentration of heavy metals decreases from the roadway to the natural ecosystems. The project will allow to approach the problems of rational use, conservation and restoration of livelihood resources in the Arctic, the integrity and productivity of local ecosystems, biodiversity, biological resources, habitat and traditional way of life of the indigenous peoples of the North.

Keywords: technogenic ecotone, biodiversity of vascular plants, density phytocenosis, biological productivity, morphometric fluctuation parameters, trace elements, heavy metals.

Введение

Экотоны – переходные, граничные пространства между различными природными системами, между природными и антропогенными системами, между различными средами и между различными природными зонами. Распространенность экотонов в природе огромна, а роль весьма существенна. Эти переходные пространства имеют специфическую структуру и служат местом формирования и сохранения биологического разнообразия, в том числе видового богатства. На экотонных территориях образуются специфические экотональные

сообщества и экотонные экосистемы. Они обладают особым составом, структурой и механизмами устойчивости, отличающимися от таковых в «нормальных» экосистемах. Повышенная флуктуационная активность факторов среды представляет одну из главных особенностей экотонных территорий, что определяет специфические экотонные структуру, режим функционирования, механизмы устойчивости и условия развития экотонных систем.

Экотоны, осуществляя функцию соединения, играют роль «швов» между различными природными или природными и агро-техноприродными системами и, одновременно, выполняют роль природных мембран по аналогии с клеточными и буферную функцию, а также функцию рефугиумов для ряда видов организмов (особенно реликтов) [1].

Цель исследования: изучение Арктических и Субарктических экотонов техногенного генезиса (лесотундра и средняя тайга, пересекаемые автодорогами) в разных отношениях и сравнения параметров таких техногенных экотонов с соседними природными «нормальными» экосистемами.

Материал и методы исследования

Проводились количественные измерения разных параметров придорожных экотонов и прилегающих экосистем. В качестве примера рассмотрим 2 из 15 изученных ключевых участков с экотонами: автодорога – естественная природная экосистема (автодорога – средняя тайга, автодорога – лесотундра). Применены следующие методы исследования:

1) Полное описание геоботанических площадок по стандартной методике с применением метода вписанных квадратов: первоначально производилось описание площадки 1×1 м, далее площадь наращивалась до 4×4 м = 16 м² (при этом первый кв. м остается в составе второго, будучи в него вписанным), затем площадь наращивалась до $20 \times 20 = 400$ м² (площадка 16 м² также остается в составе площадки 400 м²).

2) На экологическом профиле описывались таким образом 3 площадки размерами 400 м²: а) на экотоне, б) в прилегающей экосистеме слева, в) в прилегающей экосистеме справа. Таким образом, на экологическом профиле всего тщательному осмотру и описанию подвергались $400 \times 3 = 1200$ м² площади.

3) Площадки на контактных экосистемах описывались, в зависимости от ширины экотона, на расстоянии от него не менее чем за 200 м. На каждом из трех отрезков экологического профиля случайным образом закладывались 3 площадки по 1 м², на которых подсчитывалась плотность фитоценоза, затем с них срезался весь травостой, мхи и лишайники до поверхности почвы. Срезанный живой напочвенный покров укладывался в полиэтиленовые пакеты, которые плотно завязывались. По окончании полевых работ в этот же день растения сортировались по видам и взвешивались на электронных весах для получения значений

сырой биомассы, затем замерялись морфометрические параметры растений по 6 признакам с последующей статистической обработкой.

На тех же площадках по 1 м² методом конверта отбирались пробы почв на глубину штыка лопаты. Почвы в камеральных условиях подвергались анализам на содержание тяжелых металлов (ТМ) и микроэлементов методом индуктивно связанной плазмы на спектрометре «Оптима 700Dv».

Результаты исследований и их обсуждение

Ключевые участки распределены по градиенту средняя тайга – лесотундра, в скобках приведены полевые номера ключевых участков.

Ключевой участок № 1 (2). Экотон автодорога – средняя тайга. Западная сторона автострады Сургут – Когалым, примерно в 20 км к С от перекрестка автодорог Сургут – Когалым, Сургут – Нижневартовск. N 62° 09'084'', E 73° 45'013''.

1.1. Придорожье. Откос насыпи автодороги занят злаково-рудеральным сообществом с господством (обилие 4) Вейника наземного (*Calamagrostis epigeios*). Видовое богатство: 4 вида на 1 м², 7 видов на 16 м². Общее проективное покрытие 25 %. Среднее значение коэффициентов накопления ТМ и микроэлементов в почве: Cu – 0,16, Fe – 65,23, Mn – 22,15, Sr – 0,34, Pb – 3,34; Zn – 0,12.

1.2. Экотон (опушка леса). Багульниково-шикшово-кладониевое сообщество. Общее проективное покрытие 80 %, в т.ч. травяно-кустарничковый ярус – 10 %, мохово-лишайниковый – 70 %. Видовое богатство: 5 видов на 1 м². На 16 м²: 8 видов. Среднее значение коэффициентов накопления ТМ и микроэлементов в почве: Cu – 0,12, Fe – 50,37, Mn – 21,12, Sr – 0,20, Pb – 0,22; Zn – 0,09.

1.3. Сосняк с кедром и березой багульниково-морозково-сфагновый. Формула древостоя С8К1Б1. Сомкнутость крон 0.3. Подрост и подлесок: ольховник, береза, сосна, кедр с формулой Б7С1К1Ол1.

Травяно-кустарничковый ярус с общим проективным покрытием 100 %, в т.ч. мохово-лишайникового яруса – 80 %. Доминируют: багульник (*Ledum palustre*) с обилием 3 и морозка (*Rubus chamaemorus*) с обилием 2. В мохово-лишайниковом покрове абсолютно господствует сфагнум (*Sphagnum spp.*). Видовое богатство: 5 видов на 1 м², 10 видов на 16 м², 34 вида на 400 м². Среднее значение коэффициентов накопления ТМ и микроэлементов в почве: Cu – 0,09, Fe – 45,23, Mn – 23,65, Sr – 0,19, Pb – 0,19; Zn – 0,08.

Вариабельность морфометрических параметров растений ключевого участка № 1 (2) представлена в таблице 1.

Таблица 1

Морфометрические особенности растений ключевого участка №1 (2)., $\bar{x} \pm m_x$

Название растения	Морфометрические показатели, $x \pm m_x$					
	Высота побега, см	Длина листа, см	Ширина листа, см	Индекс листа, см	Масса растения, г	Число листьев, шт
1.1. ПРИДОРОЖЬЕ						
Вейник наземный (n=99)	61,61±0,84	28,87±0,37	0,81±0,03	28,43±0,39	1,68±0,03	5,79±0,09
Тысячелистник азиатский (n=12)	13,50±0,34	6,75±0,43	2,08±0,21	3,79±0,59	1,165±0,58	5,25±4,47
Осока узколистная (n=100)	110,68±1,29	51,04±0,75	0,61±0,01	88,62±0,64	2,46±0,06	5,23±0,09
1. 2. ЭКОТОН (ОПУШКА ЛЕСА)						
Шикша (n=22)	12,31±0,27	0,23±0,01	0,13±0,01	1,64±0,10	1,32±0,03	67,82±1,97
Брусника (n=24)	8,28±0,14	1,30±0,02	0,37±0,01	3,71±0,10	2,02±0,03	25,21±1,17
Толокнянка (n=34)	11,50±0,08	0,25±0,01	0,15±0,01	2,50±0,09	1,92±0,06	104,0±2,78
Багульник (n=46)	29,18±0,72	2,39±0,05	0,32±0,01	7,27±0,21	7,61±0,09	167,9±1,86
Сосна обыкновенная (n=11)	26,00±1,57	3,35±0,04	0,13±0,01	2,73±0,14	27,19±0,09	144,4±2,62
Кладония (n=219)	-	-	-	-	-	-
1.3. СОСНЯК						
Мирт болотный (n=19)	22,94±0,67	2,48±0,05	0,74±0,17	2,75±0,05	2,96±0,15	33,42±2,14
Багульник (n=40)	24,97±0,80	2,19±0,04	0,32±0,01	6,43±0,14	7,08±0,07	158,8±2,53
Морошка (n=10)	13,71±0,41	3,65±0,15	2,47±0,09	1,28±0,11	0,88±0,06	5,00±0,26
Шикша (n=16)	10,87±0,20	0,18±0,01	0,13±0,01	1,68±0,12	1,18±0,02	62,75±1,77
Ягель (n=206)	-	-	-	-	-	-

Ключевой участок №2 (5). Вдоль автодороги Коротчаево – Новый Уренгой, 70 км к Востоку от Нового Уренгоя. Экотон лесотундра – автодорога. N 65° 55' 014'', E 78° 07' 312''.

2.1. Придорожье. Рудеральное злаково-осоковое сообщество. Доминирует осока (*Carex sp.*) с обилием 4, содоминируют иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*) и овсяница овечья (*Festuca ovina*) с обилием 2. Мохово-лишайниковый ярус не выражен. Общее проективное покрытие 70 %, много ветоши осок и злаков (до 20 %). Видовое богатство: 5 видов на 1 м², 7 видов на 16 м², 29 видов на 400 м². Среднее значение коэффициентов накопления ТМ и микроэлементов в почве: Cu – 0,16, Fe – 45,23, Mn – 19,64, Sr – 0,10, Pb – 5,14, Zn – 0,00.

2.2. Экотон. Лишайниково-ерниковое сообщество. В живом напочвенном покрове доминируют с обилием 2–3 береза карликовая (*Betula nana*), овсяница овечья (*Festuca ovina*) и кладония (*Cladonia sp.*). Общее проективное покрытие 70 %, видовая насыщенность: 10 видов на 1 м², 26 видов на 16 м², 31 вид на 400 м². Среднее значение коэффициентов накопления ТМ и микроэлементов в почве: Cu – 0,11, Fe – 33,37, Mn – 20,13, Sr – 0,10, Pb – 0,21, Zn – 0,00.

2.3. Лесотундра. Кедрач с березой лишайниковый. Формула древостоя К7Б3. Сомкнутость крон < 0.1. Подлеска нет, подрост изреженный из кедра. Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова 85 %, в т.ч. лишайники 80 %. Доминируют из кустарничков береза карликовая (*Betula nana*) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) с обилием 2, из лишайников виды *Cladonia* с обилием 4. Видовое богатство: на 1 м² 7 видов, на 16 м² 12 видов, на 400 м² 18 видов. Среднее значение коэффициентов накопления ТМ и микроэлементов в почве: Cu – 0,09, Fe – 14,23, Mn – 24,35, Sr – 0,10, Pb – 0,19, Zn – 0,00. Вариабельность морфометрических параметров растений ключевого участка № 2 (5) представлена в таблице 2.

Таблица 2

Морфометрические особенности растений ключевого участка № 2 (5), $\bar{x} \pm m_x$

Название растения	Морфометрические показатели, $\bar{x} \pm m_x$					
	Высота побега, см	Длина листа, см	Ширина листа, см	Индекс листа, см	Масса растения, г	Число листьев, шт
2.1. ПРИДОРОЖЬЕ						
Вейник наземный (n=62)	119,29±1,19	31,03±0,33	0,65±0,01	88,62±0,82	2,28±0,04	5,88±0,12
Иван-чай узколистный (n=25)	33,85±1,31	3,65±0,15	0,63±0,02	4,31±0,24	12,13±0,37	47,80±0,80
Осока седоватая (n=8)	114,38±4,10	58,38±2,49	0,61±0,01	88,38±2,52	2,72±0,17	4,63±0,18
2.2. ЭКОТОН (ЛИШАЙНИКОВО-ЕРНИКОВОЕ СООБЩЕСТВО)						
Голубика (n=80)	11,71±0,27	1,50±0,03	0,82±0,03	1,80±0,03	0,75±0,03	29,31±0,97
Иван-чай узколистный (n=30)	42,30±2,41	5,38±0,17	0,77±0,03	5,35±0,36	13,36±0,29	49,00±0,93
Береза карликовая (n=30)	19,90±1,83	1,05±0,04	0,84±0,03	1,32±0,05	2,09±0,16	54,23±2,18
Осока седоватая (n=601)	119,59±0,25	59,99±0,20	0,61±0,01	92,99±0,09	2,72±0,02	4,62±0,02
2.3. ЛЕСОТУНДРА						

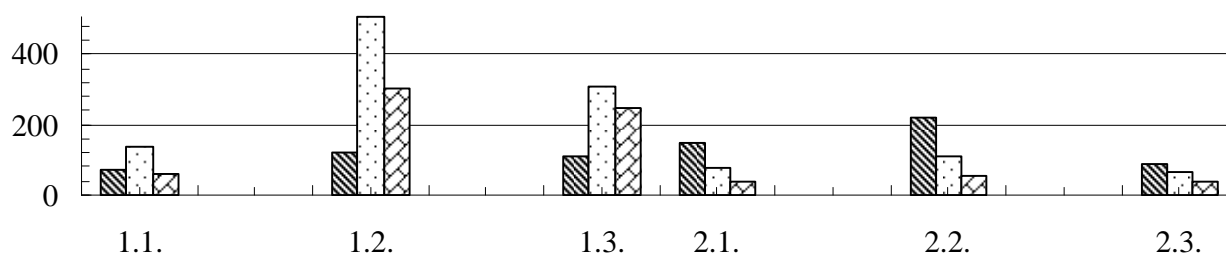
Багульник (n=15)	20,66±0,25	2,06±0,03	0,28±0,01	5,64±0,34	6,61±0,29	150,86±3,81
Брусника (n=6)	9,30±0,27	1,15±0,12	0,48±0,05	1,91±0,11	0,49±0,08	24,50±2,09
Кладония (n=120)	-	-	-	-	-	-

Морфометрический анализ растений ключевых участков показал, что растения экотонов значительно выше ростом, происходит увеличение ассимиляционной поверхности. При этом, как правило, на экотонах среднее значение массы растения, высоты побега также увеличиваются. Наряду с этим увеличивается, соответственно, и индекс листа. При этом следует отметить, что число листьев достоверно мало отличается.

Из приведенных результатов следует, что видовое богатство (биоразнообразие) сосудистых растений на всех ключевых участках имеет наибольшее значение в экотональных экосистемах (на экотонах).

Плотность фитоценоза (число стеблей сосудистых растений и мхов + талломов лишайников) на всех ключевых участках достигает максимальных значений на экотонах. Биологическая продуктивность (сырая биомасса (фитомасса+лихеномасса), а также сухая биомасса) на всех ключевых участках достигает максимальных значений также на экотонах

Рис.1. Это и неудивительно, поскольку биологическая продуктивность тесно коррелирует с плотностью фитоценоза.



▨ Плотность фитоценоза, шт □ Сырая фитомасса, г/м² ▩ Сухая фитомасса, г/м²

Рис. 1. Плотность фитоценоза и биологическая продуктивность на ключевых участках

В целом обнаруживается также следующий тренд обоих этих показателей: минимальные значения в придорожном сообществе – максимальные на экотоне – средние значения в контактной природной экосистеме.

Это можно объяснить с позиции полевой парадигмы экотонного эффекта [2]: на границе контактных экосистем организующая, унифицирующая роль экосистем (равно сообществ), прежде всего входящих в их состав эдификаторов, ослабевает.

Тяжелые металлы не обнаруживают тяготения к экотональной зоне. Для них характерен следующий тренд: закономерное падение содержания в почвах от придорожья к

прилегающему природному сообществу. Это и понятно, поскольку источником их возрастания является автомобильный транспорт. Микроэлементы (Mn, Zn) не подчиняются такой закономерности, обычно их содержание принимает максимальные значения в прилегающей лесной экосистеме, что объясняется естественным повышенным кларком этих элементов в природных почвах.

Нами выявлено [3,4,5], что на границах северной тайги и лесотундры, лесотундры и тундры (на экотонах высокого иерархического уровня) возрастает видовое богатство сосудистых растений, мхов, грибов-макромицетов и т.д. На границах более низкого уровня эти закономерности проявляются слабее. Полученные данные совершенно новые, тем более для Арктики и Субарктики.

Выводы

1. Биоразнообразие на экотонах выше, чем в природных и рудеральных сообществах.
2. Плотность фитоценозов и биологическая продуктивность также имеют максимальное значение на экотонах.
3. Содержание в почвах тяжелых металлов достигает максимальных значений в придорожных рудеральных сообществах, закономерно снижаясь в направлении прилегающих природных экосистем.
4. Микроэлементы (Mn, Zn), в целом, тяготеют к природным сообществам.
5. Увеличиваются биомасса всех растений, особенно доминантов, формовое разнообразие растений, сокращается биоразнообразие лишенобиоты.

Список литературы

1. Ильминских Н.Г., Попова Е.И. Состав, динамика и прогнозирование состояния биоразнообразия на экотонах разной иерархии и генезиса в Западно-Сибирской Арктике и Субарктике // Окружающая среда и Менеджмент природных ресурсов: Тезисы докл. III Междунар. конф. (Тюмень, 6–8 ноября 2012 г.). – Тюмень, 2012. – С.94-95.
2. Ильминских Н.Г. Полевая парадигма концепции экотона // Тобольск научный – 2012: Материалы IX Всероссийской (с Международным участием) научн.-практ. конф. (Тобольск, Россия, 9–10 ноября 2012 г.). – Тюмень 2012. – С. 93-96.
3. Ильминских Н.Г., Попова Е.И., Козлов С.А. Некоторые биотические и абиотические параметры антропогенных экотонов в Западно-Сибирской Арктике и Субарктике // В мире научных открытий. Серия «Проблемы науки и образования». – 2013. – №. 3 (39). – С. 257-271;

4. Ильминских Н.Г., Козлов С.А., Попова Е. И. Некоторые характеристики экотонов "авдорога-тундра" в Ямало-Ненецком АО (Западная Сибирь) // Агропродовольственная политика России. – 2013. – № 1. – С. 15-19.

5. Ilminskikh N.G., Popova E.I., Kozlov S.A. Some biotic and abiotic parameters anthropogenic ecotones in the western Siberian Arctic and Subarctic//In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2013. T. 1. № 1. P. 63-73.

Рецензенты:

Харитонцев Б.С., д.б.н., профессор кафедры биологии и МПБ ТГСПА им. Д.И. Менделеева, г. Тобольск.

Тестов Б.В., д.б.н., профессор, зав. лабораторией радиэкологии ТКНС УрО РАН, г. Тобольск.