

На правах рукописи



ЖАРНИКОВА МАРГАРИТА АНДРЕЕВНА

**ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ
СТЕПНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
И АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
(на примере Байкало-Гобийского трансекта)**

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Барнаул – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук

Научные руководители: **Гармаев Ендон Жамьянович**, доктор географических наук, чл.-корр. РАН
Алымбаева Жаргалма Баторовна, кандидат биологических наук

Официальные оппоненты: **Левыкин Сергей Вячеславович**, доктор географических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом степеведения и природопользования Института степи УрО РАН, г. Оренбург
Софронов Александр Петрович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории физической географии и биогеографии Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук (ИПЭЭ РАН), г. Москва

Защита состоится «23» июня 2021 г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета Д 003.008.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций при ФГБУН Институте водных и экологических проблем СО РАН по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодёжная, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института водных и экологических проблем СО РАН и на сайте www.iwep.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодёжная, 1, Диссертационный совет

Автореферат разослан « ____ » _____ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор географических наук, доцент



И.Д. Рыбкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Глобальное изменение климата в совокупности с неуклонно возрастающим антропогенным воздействием ведет к развитию процессов трансформации экосистем, в том числе деградации почвенного и растительного покрова. Степная растительность, как чувствительный, динамичный и быстро реагирующий на внешние изменения компонент природной среды, занимает важное место в исследовании этих процессов, выступая в качестве индикатора состояния и динамики ландшафтов. Растительный покров различных климатических зон неоднозначно реагирует на внешние воздействия и проявляет различную устойчивость к ним. Пространственно-структурные исследования растительного покрова наиболее полно отражают единство пространственной целостности с определенной географической структурой, сложившейся в ходе эволюционного развития природной среды и самой растительности, тем самым предоставляя основу для прогнозирования изменения ландшафтов в той или иной климатической зоне.

Байкало-Гобийский субмеридиональный трансект, в пределах которого выполнена данная работа, представляет собой относительно узкую полосу с севера на юг шириной около 150 км и длиной 600 км (52–45° с.ш., 105–108° в.д.). Он проходит по территории Западного Забайкалья и северной части Монгольского плато, охватывает по степени увлажнения различные климатические зоны: сухую субгумидную, семиаридную и аридную, в которых отчетливо наблюдаются различные процессы трансформации растительности, связанные как с климатическими изменениями, так и с антропогенным воздействием.

В последние десятилетия на монгольской территории отмечен резкий рост поголовья домашнего скота, приводящий к перевыпасу и деградации пастбищ. На российской же части длительное использование степных экосистем под пашни в советский период и дальнейшее выбытие из сельскохозяйственного оборота повлекло увеличение залежей, находящихся на разных стадиях развития. Долговременное восстановление залежей и пастбищное животноводство ухудшают геоэкологическую ситуацию засушливых территорий, приводят к деградации природной среды в целом и снижению природоохранных функций растительного покрова в частности, поэтому проблемы инвентаризации, мониторинга и геоэкологической оценки степных сообществ становятся все более актуальными.

Работа посвящена детальному изучению степных экосистем в разных климатических условиях, их картографическому анализу и оценке современного состояния на основе данных, получаемых от систем мониторинга трех уровней: наземного (натурного), авиационного (с использованием беспилотного летательного аппарата – БПЛА) и космического (спутникового). Используемый в работе разноуровневый мониторинг позволяет получить максимально объективную оценку трансформации степных экосистем для обширной территории.

Объектом исследования являются степные растительные сообщества по Байкало-Гобийскому субмеридиональному трансекту.

Предмет исследования – современное состояние и динамика степных сообществ в различных климатических зонах.

Цель работы – оценка современного состояния и трансформации степных растительных сообществ с севера на юг вдоль Байкало-Гобийского трансекта в условиях изменения климата и антропогенного воздействия.

Для достижения поставленной цели и исходя из схемы геоэкологических исследований (Гагина, Федорцова, 2002), включающей инвентаризационный и оценочный этапы, конечным итогом которых является разработка рекомендаций по сохранению целостности природной среды путем оптимизации хозяйственной деятельности, сформулированы следующие **задачи**:

1. Типология и систематизация фитоценотического разнообразия объекта исследования в разных климатических зонах на основе классификации растительности.
2. Оценка влияния на растительность основных экологических факторов среды, отражающих зональные и региональные особенности.
3. Анализ современного состояния и пространственного распределения растительных сообществ на основе информации трехуровневого мониторинга.
4. Оценка геоэкологического состояния исследуемой территории в условиях изменения климата и антропогенного воздействия.
5. Разработка рекомендаций по улучшению использования степных экосистем.

Степень изученности проблемы. Изучению степной растительности Южной Сибири и Центральной Азии посвящено множество работ ботанико-географического профиля. К настоящему времени накоплен разнообразный фактический материал по характеристике природных условий, структуре степных экосистем и их компонентов. Имеется большой объем картографических материалов, к сожалению, ограниченных мелким масштабом. С точки зрения оценки внешних факторов воздействия на растительный покров в последнее время внимание ученых сосредоточено либо на последствиях изменения климата (засуха, дзуд, пыльные бури, наводнения и др.), либо на результатах хозяйственной деятельности человека (землепашество, орошение, скотоводство, пожары и др.). Как правило, исследования ограничиваются отдельными локальными участками или прерываются государственной границей. Несмотря на повышенный интерес, процессы трансформации степных экосистем и оценка антропогенного воздействия и климатических изменений с позиций анализа долгосрочных состояний экосистем с использованием аэрофото- и космоснимков затрагивалась в гораздо меньшей степени.

Методология, методы и материалы исследования. Диссертационная работа основана на фактическом материале, собранном автором в ходе полевых экспедиционных работ 2015-2019 гг. В качестве основных методов применялись: сравнительно-географические, описательные, методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), маршрутно-геоботанические, статистические, картографические.

Научная новизна. Впервые на основе комплексного подхода с использованием трехуровневого мониторинга выявлена пространственно-временная структура степных сообществ по Байкало-Гобийскому субмеридиональному трансекту. Получены новые сведения о современном ценотическом разнообразии степных сообществ, отражающем сукцессионный статус, определены и описаны стадии трансформации растительного покрова с учетом влияния климатических факторов и антропогенного воздействия. Построены оригинальные крупномасштабные карты актуального состояния растительности и карты антропогенной нарушенности.

Преимуществом работы является синхронное использование натуральных наблюдений и данных ДЗЗ. Впервые для исследуемого региона получены оценки взаимосвязи надземной фитомассы степных сообществ с их спектральными характеристиками по аэро- и космическим изображениям.

Практическим результатом работы являются рекомендации, которые могут быть полезны хозяйствующим субъектам для оптимизации использования степей в целях рационального обращения и сохранения их экосистем, а также при разработке программ социально-экономического развития районов Бурятии и сомонов Монголии. Результаты работы вошли в отчеты НИР по темам государственных заданий лаборатории геоэкологии БИП СО РАН «Трансформация природы и общества Сибири и сопредельных территорий в условиях глобальных изменений окружающей среды» (№ VIII.79.2), «Трансформация природной среды в зоне влияния Великого Шелкового и Чайного пути в условиях глобализации и изменения климата» (№ IX.127.2.2) и грантов РФФИ № 17-05-01059 «Природно-климатические тренды Байкальского региона», № 19-55-53026 «Оценка экологических рисков и контрмеры по их преодолению для трансграничных районов России, Монголии и Китая»). Основные результаты работы были включены во второй том Национального доклада «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)», подготовленного в целях формирования гармонизированной платформы и объединения усилий научно-экспертного сообщества при выработке механизмов управления рисками опустынивания, деградации земель и засух в целях устойчивого развития и выполнения международных обязательств Российской Федерации.

Положения, выносимые на защиту.

1. Эколого-фитоценотическая классификация степной растительности, построенная на основе доминантно-детерминантного принципа, наиболее полно и информативно отражает актуальное состояние коренных и производных сообществ по Байкало-Гобийскому трансекту, сформировавшихся за длительный период времени в условиях выраженных климатических изменений под воздействием антропогенных факторов.

2. Выявленные закономерности пространственной структуры и распространения степной растительности по оригинальным картам, полученным с помощью трехуровневой системы мониторинга, характеризуют геоэкологическое состояние территории, находящихся на разных динамических стадиях.

3. Трансформация растительности в результате длительного воздействия антропогенных факторов в условиях выявленных климатических трендов выражается в ее ксерофитизации, упрощении флористического состава и структуры сообществ, утрате кормовой ценности.

Апробация работы. Основные результаты исследования представлены в форме устных докладов и обсуждены на конференциях международного, российского и регионального уровней, из которых наиболее значимы: международная научная конференция «Проблемы изучения растительного покрова Сибири» (Томск, 2015, 2017), международная конференция «Природные ресурсы и устойчивое развитие Монгольского плато» (Улан-Батор, 2016; Улан-Удэ, 2017), 33-й конгресс Международного географического союза (Пекин, 2016), международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS (Томск, 2016, 2018), XII Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу (Томск, 2017), международная научно-практическая конференция «Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования» (Иркутск, 2019) и др.

Публикации. По результатам исследования опубликованы 1 коллективная монография, 14 публикаций (из них 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК и индексируемых Web of Science, 5 статей в сборниках трудов конференций, индексируемых Scopus и 4 научных статьи в прочих рецензируемых изданиях).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 123 страницах, иллюстрирована таблицами и рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы, объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практическая ценность работы, приведены основные защищаемые положения.

В первой главе раскрыты физико-географические условия исследуемой территории. Для получения достоверной и своевременной разносторонней информации о современном состоянии окружающей среды, выявления процессов деградации экосистем и оценки геоэкологического состояния создана сеть модельных полигонов.



Исследования проведены на модельных полигонах с севера на юг «Улан-Удэ», «Гусиноозерск», «Дархан», «Дзун-Мод», «Мандалгови», расположенных на территории двух соседних государств – России и Монголии (рис. 1, табл. 1).

Территория исследования находится на главном водоразделе Азиатского континента, разделяющем водосборные бассейны Северного Ледовитого и Тихого океанов, а также область внутриматерикового стока Центральной Азии. Общая приподнятость над уровнем моря и изолированность от влагопереносящих потоков создают специфические условия для формирования резко континентального климата с большими годовыми и суточными колебаниями

температуры воздуха и неравномерным распределением атмосферных осадков по сезонам года. Основная масса осадков приходится на теплый период (60-90 %). С севера на юг происходит смена районов от умеренно влажных с прохладным летом и суровой зимой до сухих с теплым летом и холодной зимой. По физико-географическому районированию территория исследования относится к Южно-Сибирско-Хангай-Хэнтэйской горной области и Центрально-Азиатской горной возвышенно-равнинной пустынно-степной области (Суворов, Даш, 2015). По ботанико-географическому районированию – к Центральноазиатской (Даурско- Монгольской) подобласти степной области Евразии (Лавренко и др., 1991).

Таблица 1 – Основные физико-географические характеристики модельных полигонов

№	Модельные полигоны	Координаты		Абсолютные высоты, м над у.м.	Положение в системе физико-географического районирования (провинция)	Положение в системе ботанико-географического районирования (провинция / подпровинция)
		широта	долгота			
1	Улан-Удэ	51°43'	107°30'	570-730	Хилокско-Чикойская горнотаежно-котловинная остепненная	Алтае-Саянская / Южно-Бурятский округ
2	Гусиноозерск	51°09'	106°30'	680-760	Селенгинско-Орхонская котловинно-среднегорная остепненная	Хангайско-Даурская горнолесостепная / Орхоно-Нижнеселенгинская горнолесостепная
3	Дархан	49°28'	105°50'	700-900	Селенгинско-Орхонская котловинно-среднегорная остепненная	Хангайско-Даурская горнолесостепная / Орхоно-Нижнеселенгинская горнолесостепная
4	Дзун-Мод	47°40'	107°07'	1570-1700	Онон-Хэнтэйская котловинно-горнотаежная	Монгольская степная / Среднехалхаская степная
5	Мандалгови	45°42'	106°15'	1320-1370	Центральномонгольская среднегорная возвышенно-равнинная котловинная сухо-степная полупустынная	Северогобийская пустынностепная / Северо-Восточногобийская пустынностепная

* Названия провинций и подпровинций даны по схемам физико-географического районирования (Суворов, Даш, 2015), ботанико-географического районирования (Пешкова, 1985; Лавренко, 1991).

Во второй главе представлен анализ состояния изученности степей, рассмотрены теоретико-методологические подходы геоэкологических исследований, описаны объем и состав исходных данных, а также методы исследования.

В результате исследования степей в течение полутора веков накоплен большой фактический материал по растительности Центральной Азии. Планомерное и системное изучение степей Забайкалья и Монголии началось с 1930-х годов. Этот период характеризуется углублением геоботанических знаний и расширением исследований, прежде всего, естественных кормовых угодий советскими и монгольскими ботаниками, как по отдельности, так и в составе совместных экспедиций (Юнатов, 1951; Решиков, 1958; Лавренко, 1960; Мирошниченко, 1964; и др.). Геоэкологические исследования степей активно развиваются со второй половины XX века, большое внимание уделяется вопросам динамики, продуктивности степей, экологическим особенностям и оптимизации нарушенных геосистем (Исаченко, 1971; Снытко, 1976; Мордкович, 1982; Казанцева, 1988; Чибилев, 1998; Тишков, 2003; и др.). Накоплен большой описательный материал по фитоценоотическому разнообразию (Юнатов, 1950; Решиков, 1963; Пешкова, 1972; Лавренко и др., 1991; Намзалов, 1991; Рачковская, 1993; Karamysheva, Khramtsov, 1995; Hilbig,

1995; Королюк, 2002; Tuvshintogtokh, 2014). Во все периоды большое внимание уделялось разработке научных основ картографирования степных экосистем или их отдельных компонентов (Цаценкин, 1952; Исаченко, 1965; Карамышева, Рачковская, 1966; Сочава, 1967; Юнатов, 1974; Намзалов, 1991; Огуреева, 2009; Плюснин и др., 2011; Бажа и др., 2013; и др.). Огромный вклад в познание общих закономерностей растительного покрова внесли работы Совместной российско-монгольской комплексной биологической экспедиции Российской академии наук и Академии наук Монголии, ранее Академии наук СССР и МНР, посвященных вопросам антропогенной трансформации природных экосистем (Гунин и др., 2005; Казанцева, 2005; Жаргалсайхан, 2008; Бажа и др., 2018; и др.). Таким образом, за длительную историю изучения степей ученые постоянно расширяли и уточняли сведения об основных природных особенностях степной зоны.

Для оценки современного состояния экосистем и дальнейшего принятия обоснованных решений в сфере природопользования необходимы региональные геоэкологические исследования, имеющие комплексный междисциплинарный характер на основе синтеза подходов и методов. Растительный покров как индикатор экологических факторов в настоящее время широко используется при оценке состояния окружающей среды, поэтому для решения геоэкологических задач использован фитоиндикационно-геоэкологический анализ (Гусев, 2010). Он дополняет геоэкологические исследования и представляет собой комбинированное использование классификации растительности, экологических шкал и методик изучения растительного континуума. Синтаксоны растительности рассматриваются как репрезентативный признак, отображающий экологические условия и сукцессионный статус. Для определения степени антропогенной нарушенности использована эколого-биологическая оценка состояния экосистем. Большое внимание было уделено анализу их пространственного распределения на основе методов картографирования и ландшафтного профилирования. Таким образом, исходя из рассмотренных подходов, определены этапы оценки геоэкологического состояния территории исследования в данной работе.

Различный уровень детализации, присущий каждой из трех ступеней мониторинга состояния экосистем, позволяет с максимальной степенью достоверности дешифровать данные ДЗЗ, классифицировать объекты и происходящие процессы (Бедарева, 2006; Шевырногов, 2016). В этой связи автором используется комплексный подход к анализу растительных сообществ, подразумевающий синтез натуральных полевых описаний и данных, полученных с помощью БПЛА и разновременных космических снимков. Это дает возможность получить репрезентативные результаты, которые позволяют оперативно оценить состояние растительности на неизученных территориях.

Данные ДЗЗ, использованные в работе, включают снимки спутников NOAA, Terra, Landsat. Для анализа экотопической приуроченности степных сообществ использованы цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM и ЦМР,

полученная на основе съемки с борта БПЛА DJI Mavic Pro с помощью AgiSoft PhotoScan. Для обработки и хранения данных геоботанических описаний использованы программное обеспечение и база данных IBIS (Зверев, 2007), для визуализации – пакет PAST (Hammer et al., 2001). Обработка данных ДЗЗ проведена в пакетах ArcMap и ENVI. Статистическая обработка – в Statsoft Statistica.

В третьей главе рассмотрено разнообразие степных сообществ, экологические условия и их пространственная структура.

Фитоценоотическое разнообразие выявлено на основе эколого-фитоценоотического доминантно-детерминантного принципа классификации. Преимущество подхода заключается в наглядности и удобстве использования в натурных исследованиях. Синтаксоны отражают актуальное состояние растительных сообществ на определенной сукцессионной стадии развития, в то время как, например, единицы эколого-флористической классификации, прежде всего, дают представление о потенциально возможном составе растительности, свойственном данному местообитанию. Помимо полного видового состава данная классификация учитывает основные структурные признаки сообщества (ярусность, проективное покрытие видов и т.д.), отражающие биофизическое состояние. Практическая ценность используемого подхода выражается в процессе создания карт – объем основных синтаксонов меньше по сравнению с эколого-флористическим подходом, что дает возможность для более содержательного анализа при крупномасштабном картографировании.

При анализе растительности модельных полигонов использованы 265 полных геоботанических описаний. В качестве основных таксономических единиц классификации приняты следующие: ассоциация, формация, флороценотип и эколого-исторический ряд. На основе данных, полученных автором в ходе полевых и камеральных работ, опираясь на классификационные построения предыдущих исследователей, на рассматриваемой территории выделено 5 флороценотипов, один из которых является антропогенно-обусловленным (залежная растительность), остальные (луговые, настоящие, горные, пустынные) представлены тремя эколого-историческими рядами. Полученная классификационная схема отражает фитоценоотическое разнообразие, представленное коренными сообществами, адаптированными к современным природным условиям, и производными сообществами, сформировавшимися под воздействием антропогенных факторов.

Кроме классификации, которая основывается на характеристике растительности (видового состава, его ценоотических свойств), важной является также оценка внешних факторов, обуславливающих развитие, структуру сообществ и распределение их в пространстве. Проведена непрямая ординация методом Detrended correspondence analysis (DCA-ординация) для экологического анализа флороценотипов (рис. 2).

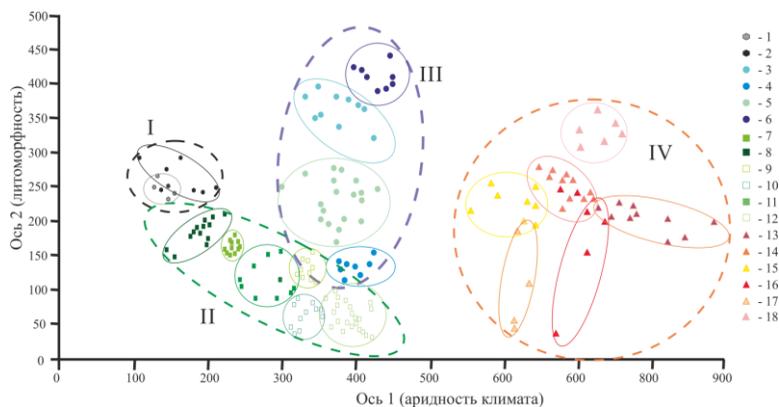


Рисунок 2 – DCA-ординация ценофлор степных сообществ территории исследования

Римскими цифрами и пунктирными линиями обозначены флороценоотипы:

I – луговые степи, II – настоящие степи, III – горные степи, IV – пустынные степи; Сплошными линиями обозначены формации:

1 – стоповидноосоково-разнотравная, 2 – кустарниковая разнотравная, 3 – нителестниковая, 4 – твердоватоосочковая, 5 – мелкодерновиннозлаково-разнотравная, 6 – кистевидномятликово-злаковая, 7 – крыловоковыльная, 8 – разнотравно-крыловоковыльная, 9 – караганово-вострещовая, 10 – холоднопопынная, 11 – караганово-крыловоковыльная, 12 – твердоватоосочковая, 13 – ковыльковая, 14 – змеевково-ковыльковая, 15 – луковая, 16 – ковыльково-луковая, 17 – солянково-луковая, 18 – караганово-ковыльковая

В пространстве двух осей ординации, представляющих значения экологических факторов, сформировалось несколько групп. Они представляют разные типы степной растительности, различающиеся по экологии и флористическому составу. Вдоль оси абсцисс наблюдается последовательное замещение основных подзональных типов степей – от луговых на северном полигоне «Улан-Удэ» до пустынных степей южного полигона «Мандалгови». В первую группу входят мезофитные луговые и кустарниковые сообщества, распространённые на высотах 650-730 м, на каменисто-щебнистом или мелкоземном субстрате, в зоне недостаточно и временно избыточного увлажнения. Во вторую группу входят сообщества настоящих сухих степей с преобладанием *Stipa krylovii*, распространённые на высотах 700-800 м. на средне- и относительно мощных супесчаных почвах – темно-каштановых. Сюда же входят сообщества настоящих степей интенсивного пастбищного использования, тяготеющие к супесчаным почвам. Они находятся в зоне периодически недостаточного увлажнения. В третью группу входят горностепные сообщества, характеризующиеся увлажнением настоящих степей, но расположенных выше – в диапазоне высот 1500-1600 м, на мелкоземных и каштановых маломощных щебнистых почвах, в зоне умеренно

малоувлажненной, холодной, длительно промерзающей. Четвертая группа объединяет сообщества пустынных степей. Сообщества группы распространены в аридной зоне на высотах от 1300 до 1400 м, на бурых щелочных и засоленных почвах с недостаточным увлажнением. Из этого можно сделать вывод, что экологическим фактором, обуславливающим выявленный порядок групп, является градиент гумидности-аридности (уменьшение увлажненности) климата. Ось ординат отражает распределение ценофлор по степени литоморфности (от мощных супесчаных до маломощных щелочных). В дальнейшем, для отражения экологического положения на градиентах увлажнения и богатства почв проведена прямая ординация внутри флороценофитов с помощью региональных экологических шкал (Королюк и др., 2005). Таким образом, результаты ординации подтвердили разделение степной растительности на выделенные синтаксоны, для каждого сообщества определена количественная мера его принадлежности к той или иной группе. Данный метод позволил уточнить экологические позиции, получить обобщенную экологическую характеристику исследованных фитоценозов.

Наряду с выявлением фитоценофитического разнообразия и оценкой их экологической принадлежности, проведен анализ пространственного распределения на основе трехуровневой системы мониторинга: спутник – БПЛА – наземные данные. Использование такой последовательности в нашем исследовании позволило на спутниковом уровне обеспечить охват территории, на беспилотном – получить аэрофотоснимки высокого пространственного разрешения, наземном – детализировать содержание карт. На основе прямых инструментальных измерений характеристик рельефа (экспозиции, крутизны склона, высоты над у.м.) построены «модели сопки», отражающие основные черты дифференциации растительности по отношению к фактору увлажнения, что в некоторой степени связано с основными климатическими особенностями полигонов (рис. 3). Для представления данных о высоте круг условно разбит на 3 части (подножье, склон, привершинная часть). При этом внутри каждое кольцо структуры содержит данные о крутизне.

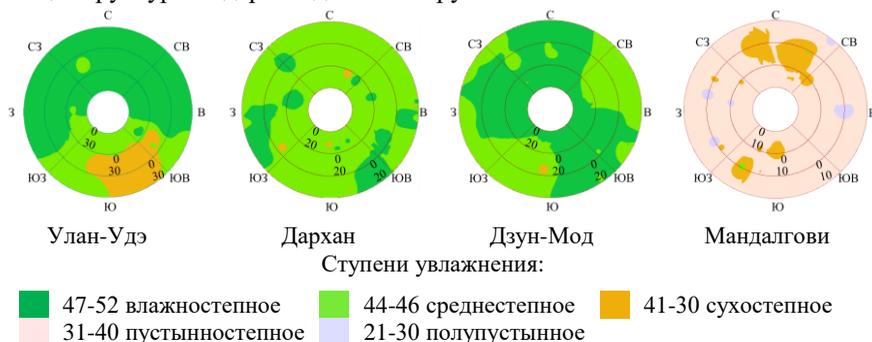


Рисунок 3 – Модели пространственного распределения сообществ в ряду увлажнения

На моделях также прослеживается закономерность изменения в пространственной структуре растительности вдоль градиента гумидности–аридности. Проявляются экспозиционные различия в степени увлажнения. При переходе из климата семиаридной зоны в аридный экспозиционные различия ослабевают за счет нивелирования микроклиматических условий склонов на фоне возрастания общей засушливости климата.

Бесспорно, что анализ пространственной организации растительности является сам по себе актуальной и фундаментальной задачей. Однако в рамках данной работы для нас наибольший интерес представляло то, каким образом последствия сукцессионной динамики растительного покрова отражаются в пространственной структуре растительности. Именно эти аспекты отражены в настоящем разделе. Результатом проведенного анализа пространственной структуры является разработка карт современной растительности модельных полигонов. В качестве примера представлена карта полигона «Дархан» (рис. 4).

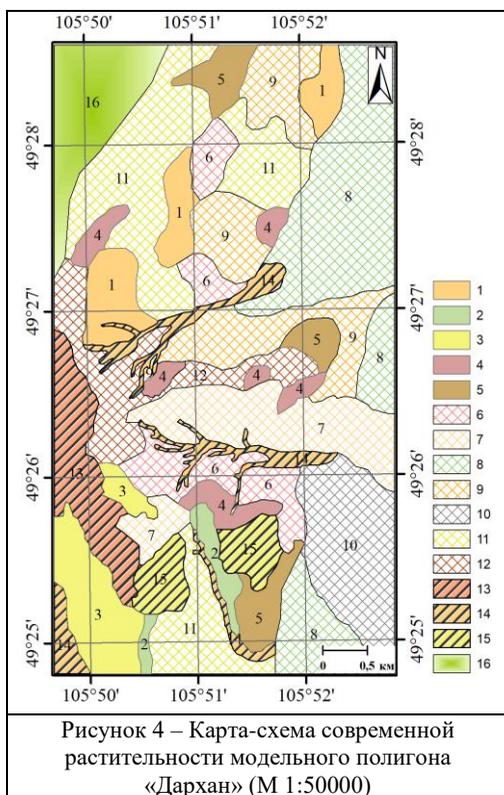


Рисунок 4 – Карта-схема современной растительности модельного полигона «Дархан» (М 1:50000)

мелкоземных понижениях и злаково-холоднополюнных сообществ (ЗПх) (*Artemisia frigida*, *Stipa krylovii*, *Cleistagenes squarrosa*) на мелкощепнистых возвышениях;

Легенда к карта-схеме современной растительности полигона «Дархан»:

1. Бесстебельнолапчатково-крыловоковыльные (ЛБКк) (*Stipa krylovii*, *Potentilla acaulis*) сообщества на пологих склонах северо-восточной экспозиции;
2. Крыловоковыльно-востреповые (КкВ) (*Leymus chinensis*, *Stipa krylovii*) сообщества в распадках макросклона юго-западной экспозиции;
3. Житняково-холоднополюнные сообщества (ЖПх) (*Artemisia frigida*, *Agropiron cristatum*) в верхней части умеренно крутых склонов юго-западной экспозиции;
4. Разнотравно-твердоватоосоковые сообщества (РОт) (*Carex duriuscula*, *Potentilla bifurca*, *Taraxacum officinale*, *Plantago media*) на пологих склонах западной экспозиции;
5. Разнотравно-твердоватоосоковые (РОт) (*Carex duriuscula*, *Scorzonera radiata*, *Alyssum obovatum*) с *Caragana microphylla* сообщества в нижней части склонов северо-западной и юго-западной экспозиции;

Микрокомбинации растительных сообществ:

6. Комплекс бесстебельнолапчатково-крыловоковыльных сообществ (ЛБКк) (*Stipa krylovii*, *Potentilla acaulis*) на

7. Комплекс бесстебельнолапчатково-крыловоковыльных сообществ (ЛБКк) (*Stipa krylovii*, *Potentilla acaulis*) на склонах северо-западной экспозиции и чиево-вострещовых (ЧОт) (*Leymus chinensis*, *Achnatherum splendens*) по микропонижениям рельефа;
 8. Комплекс чиево-вострещовых сообществ (ЧОт) (*Leymus chinensis*, *Achnatherum splendens*) по засоленным понижениям с пятнами *Caragana microphylla* на эоловых буграх;
 9. Комплекс житняково-холоднополянных (ЖПх) (*Artemisia frigida*, *Agropiron cristatum*) сообществ на возвышениях и разнотравно-твердоватоосоковых (ПОт) (*Carex duriuscula*, *Potentilla bifurca*, *Taraxacum officinale*, *Plantago media*) в блюдцеобразных понижениях в средних частях склонов северо-восточной экспозиции;
 10. Комплекс бесстебельнолапчатково-крыловоковыльных сообществ (ЛБКк) (*Stipa krylovii*, *Potentilla acaulis*) на супесчаных почвах и чиево-твердоватоосоковых сообществ (ЧОт) (*Carex duriuscula*, *Achnatherum splendens*) на солончаках в нижних частях склонов западной экспозиции;
 11. Комплекс злаково-холоднополянных сообществ (ЗПх) (*Artemisia frigida*, *Stipa krylovii*, *Cleistogenes squarrosa*) и бесстебельнолапчатково-крыловоковыльных сообществ (ЛБКк) (*Stipa krylovii*, *Potentilla acaulis*) в средних частях склонов северо-восточной экспозиции;
 12. Комплекс житняково-холоднополянных сообществ (ЖПх) (*Artemisia frigida*, *Agropiron cristatum*) и разнотравно-твердоватоосоковых (*Carex duriuscula*, *Scorzonera radiata*, *Alyssum obovatum*) с *Caragana microphylla* (ПОтКа) в верхних частях склонов;
- Мезокомбинации растительных сообществ:
13. Сочетание твердоватоосоково-крыловоковыльных сообществ (ОтКк) (*Stipa krylovii*, *Carex duriuscula*) на склонах юго-западных экспозиций с житняково-холоднополянными сообществами (ЖПх) (*Artemisia frigida*, *Agropiron cristatum*) на вершинах и крыловоковыльно-вострещовыми сообществами (*Leymus chinensis*, *Stipa krylovii*) на склонах северо-восточной экспозиции;
 14. Сочетание злаково-холоднополянных сообществ (ЗПх) (*Artemisia frigida*, *Stipa krylovii*, *Cleistogenes squarrosa*) на склонах юго-восточной экспозиции с крыловоковыльно-вострещовыми сообществами (КкВ) (*Leymus chinensis*, *Stipa krylovii*) на склонах северо-восточной экспозиции эрозийных ложбин и балок;
 15. Сочетание твердоватоосоково-крыловоковыльных сообществ (ОтКк) (*Stipa krylovii*, *Carex duriuscula*) на склоне с чиево-твердоватоосоковыми (ЧОт) (*Carex duriuscula*, *Achnatherum splendens*) в ложбинах водотоков;

Агроценозы:

16. Пашни.

Пространственная структура растительности исследуемой территории представлена как однородными фитоценозами, так и различными их комбинациями разного уровня сложности (комплексами, сочетаниями, экологическими рядами). Разработана схема пространственных комбинаций, отражающая закономерности в распределении растительности, выявленных на основе составленных карт и легенд модельных полигонов (рис. 5).

На структуру растительного покрова территории исследования оказывают влияние сочетание нескольких факторов. Это большая расчлененность рельефа, определяющая контрастность микроклиматических условий, разнообразие и мозаичность почвенно-грунтовых условий, высотная зональность ландшафтов. Помимо этого, на мозаичность распределения сообществ большое влияние оказывает антропогенная нагрузка, что отражается в формировании дигрессионных фитоценозов и их комплексов.

Существенное влияние на дифференциацию растительности оказывает орография. С севера на юг – от среднегорного рельефа Южной Сибири до равнин Центральной Азии пустынно-степного пояса происходит упрощение пространственной структуры. Расчлененный горный рельеф способствует

неоднородности распространения фитоценозов. Здесь структура растительного покрова определяется как гидротермическим режимом, изменяющимся с высотой и в зависимости от ориентации и формы склона, так и эдафическими факторами, обычно связанными с различиями в литологии. Особенно это прослеживается в подзоне лесостепи (модельные полигоны «Улан-Удэ», «Гусиноозерск», «Дархан»), где склоны северных экспозиций тенистые и более увлажнённые, а склоны западных экспозиций континентальные и сухие, так же, как и южные типично степные.

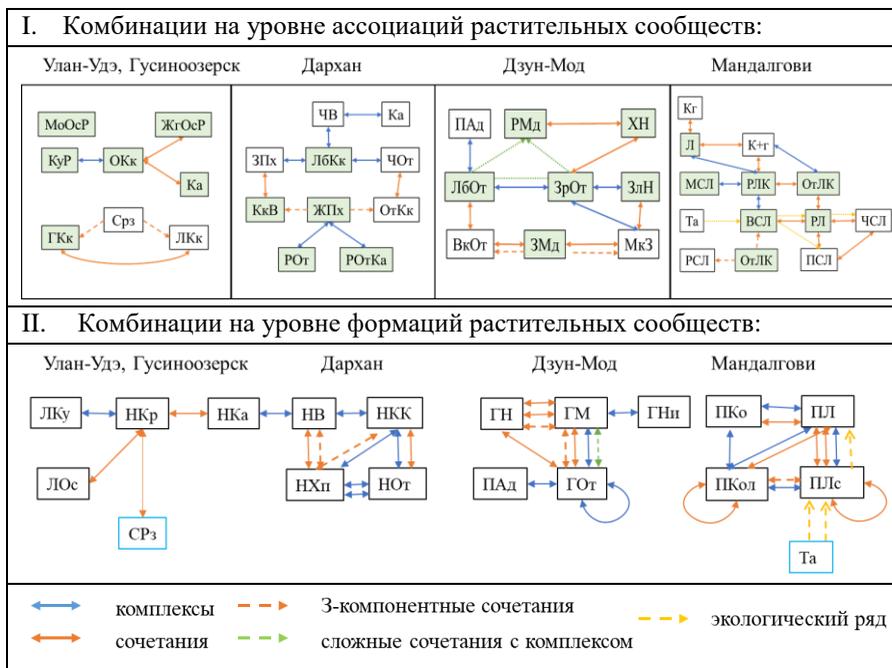


Рисунок 5 – Схемы пространственных комбинаций растительного покрова
 В схеме в прямоугольниках даны сокращенные названия сообществ. Цветным фоном выделены сообщества, которые кроме комбинаций образуют также гомогенные сообщества. Расшифровка сообществ для полигона «Дархан» дана в легенде картосхемы растительности (рис. 4), полная расшифровка сообществ всех модельных полигонов – в тексте диссертации.

Гомогенный растительный покров преимущественно приурочен к выположенным склонам незначительной крутизны до 5° и межсочным долинам. Наиболее сложная пространственная структура характерна для склонов южных экспозиций, где наряду с преобладанием гомогенных выделов, значительные позиции занимают гетерогенные единицы – 2-3 компонентные сочетания и комплексы. Кроме того, в различные по структуре

мезокомбинации, включаются микрокомбинации (комплексы), которые заметно усложняют структуру степных комбинаций. Пустынно-степной пояс (модельный полигон «Мандалгови») характеризуется плавными сменами сообществ. Это связано с выровненностью поверхности и постепенным повышением высоты, благодаря чему изменение природных характеристик происходит плавно, без резких изменений в видовом составе и структуре сообществ. Преобладают мезокомбинации, формирующиеся в условиях простых форм рельефа и занимающие протяженные территории. Для засоленных депрессий характерны микрокомбинации и экологические ряды, связанные с изменениями водного режима и мощностью накопления озерных отложений дна котловин и временных водотоков.

В четвертой главе представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости степных растительных сообществ, проанализированы климатические и антропогенные факторы и степень их влияния на состояние растительного покрова. Даны рекомендации по использованию степных пастбищ.

При оценке современного состояния и трансформации степных экосистем в качестве приоритетных геоэкологических факторов были приняты природно-климатические и антропогенные. Антропогенные факторы связаны с результатами воздействия на почвенно-растительный покров пастбищной нагрузки, землепользования и дорожной сети. Природно-климатические факторы представлены растительными ресурсами, а также включают климатические данные, определяющие мезо- и микроклиматические условия.

С целью оценки влияния метеорологических условий на состояние растительных сообществ проведен анализ многолетней динамики климатических параметров: температура воздуха, атмосферные осадки, индекс суровости засухи Палмера (PDSI) и стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (SPEI). Для расчета использован сеточный архив CRU TS, климатическая база данных GPCC и данные метеостанций. В таблице 2 представлены среднегодовая температура (T) и ее изменения (ΔT), сумма осадков (P), средние значения индексов засухи PDSI и SPEI за вегетационный период (апрель–октябрь), их коэффициенты линейного тренда (α), а также количество месяцев с засушливыми и экстремально засушливыми условиями (PDSId, SPEId) за период с 1980 по 2016 гг.

Значения среднееголетней годовой температуры приземного слоя воздуха закономерно увеличиваются с севера на юг, за исключением полигона «Дзун-Мод», где низкая температура воздуха обусловлена средней высотой местности над уровнем моря, наибольшей среди рассматриваемых полигонов. Отмечается увеличение средних многолетних температур воздуха по всем полигонам от 0,94 до 1,66 °C с севера на юг. Темпы роста температуры за почти 40 лет составили около 0,03 °C/год.

Таблица 2 – Климатические характеристики модельных полигонов по данным CRU, GPCC и метеостанциям

Модельный полигон	T, °C	ΔT, °C	αT, °C/год	P, мм	αP, мм/год	PDSI _d	PDSI	αPDSI	SPEI _d	SPEI	αSPEI
Улан-Удэ	-1,0	0,94	0,03	259	-1,45	34	-0,96	0,00	24	-0,19	-0,01
Гусиноозерск	-0,1	0,91	0,02	230	-0,38	34	-0,99	0,03	23	-0,17	-0,01
Дархан	0,4	1,06	0,03	309	0,57	53	-0,87	0,02	23	-0,27	-0,01
Дзун-Мод	-1,7	1,29	0,03	262	-0,51	46	-0,76	-0,01	42	-0,30	-0,02
Мандалгови	3,3	1,66	0,04	137	-0,75	31	-0,43	-0,07	49	-0,38	-0,03

* жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты тренда ($p < 0,05$)

Уровни осадков на четырех полигонах сопоставимы и изменяются от 230 до 309 мм/год. Полигон «Мандалгови», находящийся в аридной климатической зоне, выделяется наименьшим количеством осадков – 137 мм/год. Тренды осадков показывают отрицательные значения для всех полигонов, кроме полигона «Дархан», где наблюдается положительный тренд – 0,57 мм/год. Все тренды осадков статистически не значимы.

В результате анализа частоты засух по индексам SPEI и PDSI установлено, что количество месяцев с сильными и экстремальными засухами с 1980 по 2016 гг. увеличиваются с севера на юг. Статистически значимые отрицательные тренды SPEI полигонов «Дзун-Мод» и «Мандалгови» указывают на устойчивую аридизацию климата данных территорий. Для оценки долговременных изменений растительного покрова использован известный вегетационный индекс NDVI. В работе использованы 16-ти и 15-дневные композиты NDVI спектро радиометров MODIS с 2000 по 2018 гг. и AVHRR за период 1982-2015 гг., которые имеют пространственное разрешение 250 м и 8 км, соответственно. Линейные тренды NDVI с 1982 по 2015 гг. имеют отрицательный наклон, кроме полигона «Дархан», что согласуется с трендами осадков. Тренды же с 2000 по 2018 гг. показывают снижение значений индекса на модельных полигонах России, и увеличение на полигонах Монголии (рис. б), что также связано с динамикой осадков.

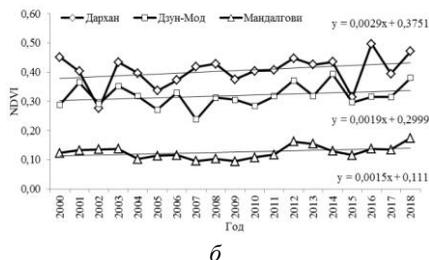
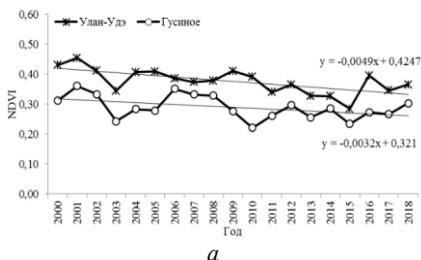


Рисунок 6 – Динамика среднего NDVI за вегетационный период года в 2000-2018 гг. для полигонов российской (а) и монгольской (б) частей трансекта

Для оценки отклика растительности на глобальное изменение климата просчитана корреляционная связь между временными сериями NDVI и климатическими факторами, как для анализа межгодовых значений (многолетней динамики), так и в отдельности внутри года. При рассмотрении рядов месячных сумм осадков и композитов NDVI выявлены особенности их корреляционных связей на модельных полигонах. В большинстве случаев на NDVI влияют осадки предыдущих месяцев, при этом суммы осадков за 2-4 предшествующих месяца увеличивают коэффициент корреляции.

Важнейшую роль в динамике растительности на всех полигонах играют осадки июля. Более высокие значения коэффициентов корреляции характерны для засушливых полигонов «Дзун-Мод» и «Мандалгови», где связь NDVI с осадками наблюдается не только для летне-осеннего периода, но и весенних месяцев, что указывает на особую значимость атмосферной влаги в развитии степных сообществ южной части трансекта. На полигоне «Улан-Удэ» статистически значимая связь отмечена лишь для осадков июля и NDVI 16-го композита (16-31 августа). Это объясняется тем, что полигон находится в окружении лесных, пойменных и селитебных ландшафтов, которые создают смешанную комбинацию индекса NDVI на сенсоре спутника. Отметим, что при использовании для этого полигона спутниковой информации более высокого разрешения (MODIS, 250 м) выявлены корреляции между осадками и NDVI летне-осеннего периода.

Влияние температуры на вариации вегетационного индекса NDVI проявляется в прямой зависимости весной и осенью, и обратной – во второй половине лета. Отрицательные корреляционные связи летом объясняются тем, что увеличение температуры приводит к угнетению растительности, соответственно – к уменьшению NDVI. Это выражено в самых засушливых полигонах «Дзун-Мод» и «Мандалгови», тогда как на остальных полигонах данные отрицательные связи не наблюдаются. За последние годы в весенние месяцы отмечена значимая положительная корреляция (до 0,56), которая связана с динамикой снежного покрова и началом вегетации. В осенние месяцы наблюдаемая положительная связь обусловлена снижением температуры и завершением вегетационного периода.

Для оценки взаимосвязи состояния растительного покрова с показателями засухи проведен корреляционный анализ между временными рядами NDVI и индексами PDSI и SPEI. Выявлено, что NDVI лучше коррелирует с PDSI, чем с SPEI. Положительная корреляция вегетационного индекса наблюдается с индексом суровости засухи Палмера за предыдущие месяцы; например, корреляция между 14-м композитом NDVI (28 июля – 13 августа) и PDSI апреля, мая, июля равна 0,55; 0,45; 0,63; 0,76, соответственно (все коэффициенты статистически значимы, $p < 0,05$).

Внутригодовые связи характеризуются следующими закономерностями: среднемноголетний сезонный ход NDVI имеет положительную связь с осадками за вегетационный период. Так, на полигоне «Улан-Удэ»

коэффициент корреляции составляет 0,50, а на полигоне «Мандалгови» – 0,46, при этом корректировку вносят отдельные годы со скудными и неравномерными осадками. Аналогичным образом прослеживается достаточно высокая корреляционная связь NDVI с температурой, как одним из важнейших биоклиматических параметров (r до 0,79).

Для рационального природопользования и устойчивого экономического развития показатели продуктивности являются одним из приоритетных в изучении степных экосистем. Для оценки связи характеристик растительных сообществ в рамках трехуровневого мониторинга (спутник – БПЛА – наземные описания) проведен эксперимент по оценке сезонной динамики наземной фитомассы с использованием хроматических индексов по данным аэрофотосъемки и вегетационного индекса MODIS NDVI. Исследования проведены на модельном полигоне «Улан-Удэ» в вегетационный период 2018 г. – всего выполнено 10 наблюдений, включающих учет фитомассы и съемку территории исследования. По ортофотопланам, полученным в результате обработки аэрофотоснимков выполнен расчет цветных вегетационных индексов: $NDI=(g-r)/(g+r)$, $ExG=2g-r-b$, $ExGR=3g-2,4r-b$, $VARI=(g-r)/(g+r-b)$, $GLI=(2g-b-r)/(2g+b+r)$, где r – спектральная яркость в красном, g – в зеленом, b – в синем каналах. Корреляционный анализ выявил, что наилучшими индексами для оценки количества наземной фитомассы являются ExR и $ExGR$. Высокую зависимость с продуктивностью проявил MODIS NDVI – коэффициент корреляции достигал значения 0,98. Наблюдается тесная связь фитомассы с гидротермическим коэффициентом – до 0,95. Таким образом, показана возможность применения цветных вегетационных индексов с наземными данными для оценки наземной фитомассы степных экосистем.

Антропогенная нагрузка на исследуемых полигонах, связанная с выпасом домашнего скота, оценена на основе информации о годовой численности поголовья скота. С начала 1990-х гг. в Российской Федерации в связи с системным кризисом сельскохозяйственного производства началось резкое и устойчивое сокращение поголовья всех видов сельскохозяйственных животных, снижение производства и потребления животноводческой продукции. Так, в 1990 г. поголовье скота составляло 165170,58 тыс. голов, а к 2019 г. поголовье скота сократилось почти в 3 раза и составило 67223,17 тыс. голов (по данным Федеральной службы государственной статистики, 2019). В Забайкалье наряду с сокращением поголовья продолжается уменьшение посевных площадей, за счет чего увеличиваются площади стихийно законсервированных залежных земель, используемых в качестве пастбищ.

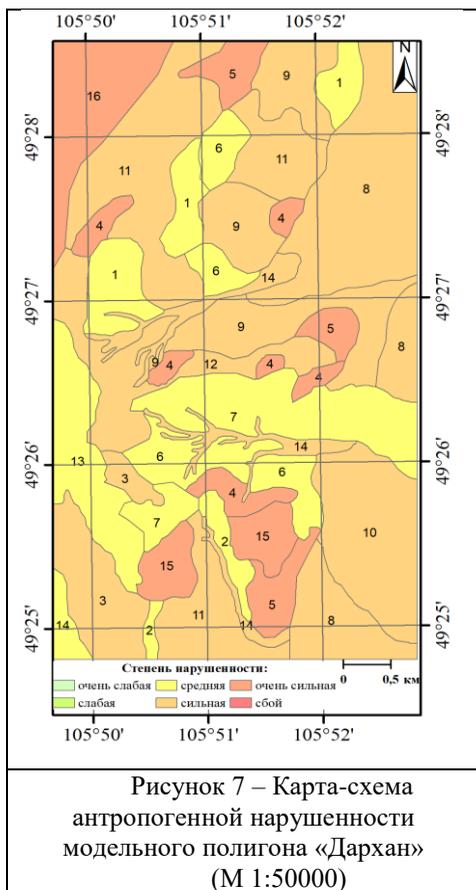
В результате резкого сокращения интенсивности сельскохозяйственной нагрузки, произошедшей в начале 90-х гг. XX столетия и продолжающейся до сих пор, наиболее характерным процессом, протекающим в настоящее время на территории модельных полигонов российской части, является демуляция растительности на участках, подвергшихся воздействию распашки – залежных землях. Сокращение площадей пашни и увеличение площадей залежей ведет

к постепенному восстановлению участков степи. Восстановление растительного покрова на залежах проходит по двум типам: зарастание травянистой и возобновление древесной растительности, в частности, зарастание ильмом (*Ulmus pumila*).

В Монголии складывается иная картина: несмотря на дзуды 2000-2001 и 2009-2010 гг., поголовье скота неуклонно растет. В 1990 г. поголовье скота составляло 25856,9 тыс. голов и к 2019 г., напротив, увеличилось почти в 3 раза и составило 70969,3 тыс. голов (по данным Монгольского статистического управления, 2019). При этом в структуре стада возросла доля участия овец и коз – самых нежелательных для пастбищ видов домашних животных, наносящих максимальный вред, поскольку они выедают траву с корнем, что требует большего времени для восстановления пастбищ.

Стадии пастбищной дигрессии степных сообществ на исследуемой территории определены на основе схемы рядов антропогенной нарушенности, разработанной Е.В. Данжаловой (2008). Степень деградации установлена по доминирующим видам флористического состава. Практически все выделенные степные сообщества территории исследования трансформированы. Антропогенная преобразованность варьирует по направлению север-юг. Для степей полигонов российской части («Улан-Удэ», «Гусиноозерск») наблюдаются стадии очень слабой, слабой и средней нарушенности. Степные сообщества полигонов монгольской части трансекта («Дархан», «Дзун-Мод», «Мандалгови») характеризуются стадиями от средней до очень сильной нарушенности: уменьшается число видов растений, проективное покрытие травостоя и его общая фитомасса, уменьшается роль злаков, увеличивается доля кустарников и полукустарничков, формируются монодоминантные осоковые и с участием непоедаемого, алкалоидосодержащего полукустарничка полынь Адамса (*Artemisia adamsii*) сообщества.

Для отображения пространственного распределения участков, находящихся на разной сукцессионной стадии построены карты антропогенной нарушенности модельных полигонов. Так, на модельном полигоне «Дархан» (рис. 7) большая часть территории (59,7 %) занята сообществами сильной степени нарушенности. Средней степени – 25,1 %, и очень сильной подвержено 15,2 % территории. При интенсивном выпасе происходит снижение фитоценологических показателей, ухудшение кормовой ценности сообществ, снижение продуктивности и сокращение периода использования. При изменении от средней до сильной и очень сильной ступени дигрессии в составе сообществ почти полностью исчезают кормовые злаки, пастбищная трансформация идет по пути образования холоднополюнных и твердоватоосочковых степей.



К стадии сильной нарушенности на полигоне «Дархан» относятся холоднополюнные сообщества, где коренные эдификаторы уступают доминирующую роль полны холодной *Artemisia frigida*. Соответственно, ее участие в травостое и проективное покрытие значительно возрастают по мере увеличения степени пастбищной дигрессии. Высокослые растения выпадают из состава степных фитоценозов в результате стравливания и полынью, не встречая конкуренции, разрастается и начинает доминировать в травостое.

При переходе от стадии средней к стадии сильной дигрессии увеличивается состав травостоя за счет появления однолетников, но на стадии очень сильной дигрессии снова снижается. При чрезмерном выпасе из травостоя выпадает и полынью холодная, несмотря на ее значительную устойчивость к выпасу и доминирующие позиции

занимает осока твердоватая (*Carex duriuscula*), характеризующаяся широкой экологической амплитудой. При усилении пастбищной нагрузки уплотнение верхних слоев почвы влечет за собой изменение водного и теплового режима, происходит угнетение большей части компонентов естественной степной растительности и разрастание сорного разнотравья. При рассмотрении разнотравно-твердоватоосоковой ассоциации, соответствующей стадии сильной дигрессии, увеличение видового состава за счет сорного разнотравья обусловлено режимом улучшением влагообеспеченности верхнего слоя почвы из-за его унавоживания. В конечной стадии сбоя пастбыа приводит к исчезновению дерновинных злаков, угнетению осоки твердоватой и полыни холодной, и в травостое начинают преобладать однолетние растения.

Для сохранения растительного покрова в состоянии динамического равновесия предложены рекомендации по снижению негативного воздействия и оптимизации природопользования.

В заключении приведены основные результаты и выводы.

1. Проведена инвентаризация разнообразия степных сообществ, разработана классификационная схема на основе эколого-фитоценологического доминантно-детерминантного принципа, учитывающего экотопологические свойства и видовой состав растительности. В результате выделено 5 флороцено типов (луговые, настоящие, горные, пустынные степи и залежная растительность), включающих 23 формации и 49 ассоциаций. Синтаксоны отражают не только текущее состояние сообществ, но и индицируют определенные динамические состояния, возникающие под воздействием антропогенных и природных факторов. Характер сукцессионных смен различен для зональных типов степей.

2. Установлено отношение растительных сообществ к градиентам условий среды. Важными экологическими факторами, обуславливающими дифференциацию степной растительности, является градиент гумидности-аридности (уменьшение увлажненности) климата, степень литофильности, увлажнение и богатство-засоление почв. Выделенный порядок групп при ординационном анализе позволил подтвердить экологическую целостность и своеобразие синтаксонов, построить эколого-динамические ряды растительности по градиентам факторов и оценить экологическую вариабельность степных сообществ.

3. Проведена оценка изменения климата на модельных полигонах. Установлено увеличение средних многолетних температур воздуха по всем полигонам от 0,94 до 1,66 °C с севера на юг. Отмечено, что выявленные темпы роста превышают рост средней глобальной температуры, особенно в южных полигонах, где также наблюдаются достоверные тренды к аридизации. Для всех полигонов, кроме полигона «Дархан», выявлены слабые отрицательные тренды осадков.

4. Дана оценка современного состояния и пространственной структуры степных сообществ с использованием трехуровневого мониторинга (спутник – БПЛА – наземная верификация). Составлены карты, отражающие актуальное состояние и пространственную структуру растительного покрова на разных уровнях организации. Разработаны схемы пространственных комбинаций (склоновые комплексы, экспозиционные сочетания, экологические ряды) растительного покрова степей. Выявленные комбинации определяются рельефом и степенью антропогенной нагрузки: в равнинных местообитаниях преобладают комплексы и экологические ряды, а в горной местности – сочетания.

5. Дана оценка влияния климатических факторов и антропогенного воздействия на трансформацию растительного покрова. Сезонная динамика вегетационного индекса NDVI имеет положительную связь с температурой (до 0,79) и осадками (0,45-0,5), при этом в аридной зоне отмечается нерегулярный режим выпадения осадков, что снижает значение корреляции. Цветные вегетационные индексы хорошо коррелируют с наземными данными и могут

успешно применяться для оценки надземной фитомассы степей. Многолетние тренды NDVI за последние 20 лет согласуются с трендами количества осадков: на российской части трансекта они имеют отрицательный наклон, тогда как на монгольской – положительный.

6. Выявлена интенсивность трансформации степных экосистем на основе количественных и качественных показателей растительных сообществ, определены стадии их нарушенности. Дана комплексная оценка современного геоэкологического состояния и показано, что практически все выделенные степные сообщества территории исследования антропогенно-трансформированы. Так, на модельных полигонах российской территории сообщества находятся на стадиях слабой и средней пастбищной дигрессии, наблюдаются локальные улучшения состояния экосистем, вышедших из интенсивного сельскохозяйственного использования. На монгольских модельных полигонах в результате усиления пастбищной нагрузки преобладают участки с сильной и очень сильной дигрессией – последовательно уменьшается число видов растений, проективное покрытие, общая фитомасса увеличивается доля кустарников и полукустарничков (*Caragana microphylla*, *Artemisia frigida*). В пустынных степях южной части трансекта при усилении пастбищной нагрузки в условиях дефицита влаги особенности трансформации экосистем, связаны с процессами опустынивания: изменение экологических условий степной зоны позволяет поселяться видам, свойственным полупустынной или пустынной зонам.

7. Предложен комплекс рекомендаций, направленных на оптимизацию использования степных пастбищных территорий и сохранения их ресурсного потенциала. Основными являются: разукрупнение стада, оптимизация структуры поголовья, установление оптимальных сроков использования пастбищ и перегонный по сезонам года способ стравливания пастбищ.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Монографии, главы и разделы в коллективных монографиях

1. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» (под редакцией Р.С.-Х. Эдельгериева). Том 2. М.: ООО «Издательство МБА», 2019. С. 233-240.

Статьи в научных изданиях из перечня ВАК и индексируемые WoS / Scopus

2. Garmaev E.Zh., Ayurzhanayev A.A., Tsydyypov B.Z., Alymbaeva Zh.B., Sodnomov B.V., Andreev S.G., **Zharnikova M.A.**, Batomunkuev V.S., Mandakh N., Salikhov T.K., Tulokhonov A.K. Assessment of the Spatial and Temporal Variability of Arid Ecosystems in the Republic of Buryatia. *Arid Ecosystems*. 2020. Vol. 10. No. 2. pp. 114-122.

3. Garmaev E.Zh., Alymbaeva Zh.B., Tsydyypov B.Z., **Zharnikova M.A.**, Sayapina D.O. Spatio-temporal Analysis of Landscape Dynamics of the Selenga Middle Mountains (A Case Study of the Ubur-Dzokoi Hollow) // *Geography and Natural Resources*. 2019. Vol. 40. No. 1. – pp. 30-36.

4. **Жарникова М.А.** Характеристика степной растительности засушливых территорий Центральной Азии // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 8. С. 43-49.

5. Tsydypov B.Z., Sodnomov B.V., Chernykh V.N., Ilyin Y.M., Gurzhapov B.O., Ayurzhanayev A.A., Semenova M.V., **Zharnikova M.A.**, Alymbaeva Zh.B., Batotsyrenov E.A., Li F., Cheng H., Bazarzhapov T., Boldanov T., Dong S., Garmaev E.Zh. Intensity Assessment of Erosion-Accumulative Processes in the Selenga Middle Mountains (Case Study of the Gully Network of the Nizhnyaya Bulanka Depression, Western Transbaikalia) // Geosciences. 2020. Vol. 10. P. 387

Материалы конференций, индексируемые WoS / Scopus

6. **Zharnikova M.A.**, Alymbaeva Zh.B., Ayurzhanayev A.A., Garmaev E.Zh. Vegetation cover dynamics of the Mongolian semiarid zone according to multi-temporal LANDSAT imagery (the case of Darkhan test range). // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 48. № 1. 012015.

7. Sayapina D.O., **Zharnikova M.A.**, Tsydypov B.Z., Sodnomov B.V., Garmaev E.Zh. Landscape dynamics assessment of dry climatic zones on the Baikal Gobi transect from NDVI time series and field investigations data // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 48. № 1. 012016.

8. Garmaev E.Z., Tsydypov B.Z., Andreev S.G., Ayurzhanayev A.A., Alymbaeva Z.B., Batotsyrenov E.A., Sodnomov B.V., **Zharnikova M.A.** Features of the natural environment of the Tea Road corridor in the context of the climate change // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 190. 012029.

9. **Zharnikova M.A.**, Alymbaeva Zh.B., Tsydypov B.Z., Ayurzhanayev A.A., Garmaev E.Zh., Tulokhonov A.K. The current state of steppe ecosystems in the arid zone of Mongolia (a case study of the model site of Mandalgovi) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 211. N 1. 012047

10. **Zharnikova M.A.**, Alymbaeva Zh.B., Sodnomov B.V., Ayurzhanayev A.A. The experience of developing large-scale geobotanical maps based on field and remote sensing data // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 320. N. 1. 012027.

11. Sodnomov B.V., Ayurzhanayev A.A., Tsydypov B.Z., **Zharnikova M.A.**, Batomunkuev V.S., Garmaev E.Zh. Vegetation cover dynamics of Russia and Mongolia border territories // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 320. N. 1. 012028.

Статьи в зарубежных, отечественных рецензируемых журналах и сборниках

12. Цыдыпов Б.З., Гармаев Е.Ж., Алымбаева Ж.Б., Батоцыренов Э.А., Аюржанаев А.А., Саяпина Д.О., **Жарникова М.А.**, Содномов Б.В., Тулохонов А.К. Пространственно-временная оценка изменения растительного покрова засушливых климатических зон по Байкало-Гобийскому трансекту // Научное обозрение. 2016. №5. С. 8-16.

13. Цыдыпов Б.З., Алымбаева Ж.Б., Содномов Б.В., **Жарникова М.А.**, Саяпина Д.О., Батоцыренов Э.А., Аюржанаев А.А., Гуржапов Б.О., Тогмидон В.В., Гармаев Е.Ж. Комплексные методы изучения динамики эоловых форм рельефа // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. № 2. С. 102-110.

14. Алымбаева Ж.Б., **Жарникова М.А.**, Гармаев Е.Ж. Анализ растительного покрова Монголии по разновременным снимкам Landsat (на примере Дарханского модельного полигона) // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2016. № 67. С. 59-62.

15. **Жарникова М.А.**, Алымбаева Ж.Б. Фитогеографические особенности и состояние степных сообществ Монголии (на примере модельного полигона «Мандалгоби») // Вестник БГУ. Биология, география. 2018. №. 2. С. 46-56.

Также по теме диссертации опубликовано 30 работ в материалах научных конференций.

Подписано в печать ____ г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Объем ____ печ.л. Тираж ____ Заказ №

Отпечатано в типографии Изд-ва Федерального государственного

бюджетного учреждения науки БНЦ СО РАН

670047 г Улан-Удэ ул. Сахьяновой, 6