

ВЕСТНИК

БУРЯТСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 2 (10)

2013

Научный журнал
ВЕСТНИК БНЦ СО РАН

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Бурятский научный центр СО РАН»

Главный редактор
чл.-кор. РАН Б. В. Базаров

Редакционный совет

чл.-кор. РАН Б. В. Базаров – председатель
к.и.н. А. В. Дамдинов
акад. РАН А. П. Деревянко
д.и.н., проф. Е. И. Зеленев
чл.-кор. РАН Н. Н. Крадин
чл.-кор. РАН В. А. Ламин
д.и.н., проф. Е. И. Лиштованный
акад. РАН В. И. Молодин

чл.-кор. РАН В. В. Наумкин
д.мед.н., проф. С. М. Николаев
д.и.н. И. Ф. Попова
д.т.н., проф. А. П. Семенов
д.г.-м.н. Г. И. Татъков
чл.-кор. РАН А. К. Тулохонов
д.б.н., проф. Л. Л. Убугунов
акад. АНМ Б. Энхтувшин

Редакционная коллегия

д.фарм.н., проф. Т. А. Асеева
к.ф.н., доц. Л. Д. Бадмаева
к.и.н. Г. Д. Базарова
д.и.н., проф. М. Н. Балдано
к.и.н. В. Ю. Башкуев – ученый секретарь
д.и.н., проф. Ц. П. Ванчикова
к.б.н. И. К. Дамбуева
д.ф.н. Л. С. Дампилова
д.и.н. С. В. Данилов
д.ф.н. Г. А. Дырхеева

д.и.н., проф. Ю. А. Зуляр
д.и.н., проф. С. И. Кузнецов
д.и.н., проф. Л. В. Курас – отв. ред.
д.филос.н., проф. С. Ю. Лепехов
д.э.н. А. С. Михеева
д.и.н. Э. А. Николаев – зам. отв. ред.
к.и.н. С. Чулуун
к.ф.н., доц. Б.-Х. Б. Цыбикова
д.филос.н., проф. Л. Е. Янгутов

Журнал включен в систему РИНЦ

ISSN 2222-9175

© Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки «Бурятский научный центр СО РАН», 2013
© Изд-во БНЦ СО РАН, 2013

УДК 528.854:574.4:551.577.38

Е. Ж. Гармаев, Б. З. Цыдыпов

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА
РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА АРИДНОЙ И СЕМИАРИДНОЙ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ
НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ СЕРИЙ NDVI
И НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения динамики растительности рассмотрены два модельных полигона в аридной и семиаридной климатических зонах Центральной Монголии. Построены графики временного хода NDVI и карты его разновременных значений по снимкам Landsat TM. Проведена натурная ландшафтная индикация выделенных ареалов NDVI. Почти по всей территории выделенных полигонов прослеживается дигрессия растительности.

Ключевые слова: опустынивание, деградация растительности, аридная, семиаридная, Landsat, NDVI, ландшафтная индикация.

E. Zh. Garmaev, B. Z. Tsydypov

SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF VEGETATION COVER
OF ARID AND SEMIARID CLIMATIC ZONES
IN CENTRAL MONGOLIA ON THE BASIS OF TIME SERIES NDVI
AND FIELD STUDIES

Two model polygons in the Central Mongolia are considered for investigation of vegetation dynamics. They are located in rainless climatic zones – arid and semiarid. For the emphasized polygons plots of the NDVI temporal variation and NDVI maps of its multi-temporal values on the basis of Landsat TM imagery are constructed. The full-scale landscape indication of the selected NDVI areas is conducted. Almost the entire territory of the emphasized polygons vegetation digression is traced.

Key words: desertification, vegetation degradation, arid, semiarid, Landsat, NDVI, landscape indication.

Введение

85 % территории Монголии находится в пределах засушливых климатических зон: экстрааридной, аридной, семиаридной, сухой субгумидной, а процессам опустынивания подвержено 41,3 % территории страны [11]. Процессы опустынивания в своем развитии затрагивают и последовательно нарушают следующие компоненты геосистем: растительность, почвы и подстилающие горные породы, формы

рельефа [2; 5]. Растительность первой среди компонентов ландшафта ощущает воздействие опустынивания. Целью представленной работы является выявление и анализ изменения растительного покрова засушливых климатических зон Монголии с помощью комплекса дистанционных и натуральных исследований.

Материалы и методы

Территория исследования. За годы выполнения проекта «Разработка систе-

ГАРМАЕВ Ендон Жамьянович – доктор географических наук, доцент, и.о. директора Байкальского института природопользования СО РАН. E-mail: Garend1@yandex.ru.

ЦЫДЫПОВ Баир Зугдырович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоэкологии Байкальского института природопользования СО РАН. E-mail: bz61@binm.bsnet.ru.

мы комплексной индикации процессов опустынивания для оценки современного состояния экосистем Сибири и Центральной Азии, создание на ее основе прогнозных моделей и системы мониторинга» Программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН (2008–2012 гг.) на территории России и Монголии заложен ряд модельных мониторинговых полигонов в различных широтных зонах (51–44° с.ш.) по меридиональному трансекту (105–107° в.д.) с широким охватом территорий с засушливыми климатическими условиями. Рассмотрены два модельных полигона в Центральной Монголии: 1) центральная часть аймака Дундговь (Среднее Гоби); 2) бассейн нижнего течения р. Хараагол, правого притока р. Орхон (территории аймаков Сэлэнгэ и Дархан-уул). Первый полигон расположен в пределах аридной климатической зоны, в ботанико-географическом отношении характеризуется доминированием опустыненных степей; второй полигон – в семиаридной климатической зоне (преобладание разнотравно-дерновинно-злаковых степей). Для исследования динамики растительности с использованием индекса вегетации NDVI выбрано 3 ключевых участка: два из них находятся на территории Хараагольского полигона, третий – в пределах Среднегобийского полигона.

Во время полевых измерений подготовлены GPS-треки границ участков, которые впоследствии были конвертированы в векторные шейп-файлы, послужившие маской для выделения границ участков. Карты NDVI получены в пределах выделенных замкнутых полигонов.

Период исследования. Оценка временной динамики растительности произведена за 2001–2011 гг. по архивным данным спутникового сервиса мониторинга состояния растительности «Вега» Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) [7]. Картирование ареалов NDVI выполнено по спутниковым данным Landsat за первую половину сен-

тября с 20-летним интервалом времени с 1990 по 2011 г.

Мультиспектральные данные Landsat. Регулярная космическая съемка предоставляет объективный, оперативно получаемый материал о состоянии земной поверхности и ее изменениях, а современные геоинформационные технологии обработки космоснимков обеспечивают точное по координатное совмещение разновременных материалов для изучения динамики изменений, происходящих на поверхности Земли. С портала Геологической службы США с помощью поисковой системы GloVis (<http://glovis.usgs.gov>) загружены необходимые разновременные мультиспектральные снимки спектрорадиометра ТМ спутника Landsat-5 на территории выбранных полигонов (для Хараагольского полигона path = 132, row = 26; для Среднегобийского полигона path = 131, row = 28). Пространственное разрешение снимков равно 30 м/пикс. Обязательным условием при загрузке снимков являлось полное отсутствие облачности (0 %), высокое качество (Qlty = 9) и достаточный уровень подготовки снимков (уровень L1T – ортотрансформирование, радиометрическая и атмосферная коррекция). Использование свободно доступных данных обуславливает достаточно легкое продолжение временной серии динамики растительности в последующие годы, а при необходимости также и расширение района исследования.

Обработка изображений проведена с помощью программного комплекса ENVI 4.8 (www.itervis.com/ENVI), который хорошо зарекомендовал себя как полнофункциональное решение для обработки и анализа аэрокосмических данных.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM. При изучении ландшафтной структуры геосистем одной из важнейших задач является анализ ключевых морфометрических показателей. Применение возможностей ГИС и ЦМР позволяет значительно углубить и детализировать

такой анализ [14]. В последнее время широкое распространение получила глобальная ЦМР SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), которая является основой для крупномасштабного морфометрического картографирования [13]. С ftp-сервера Геологической службы США были загружены высотные данные SRTM версии 4. Все морфометрические показатели тестовых участков получены при анализе данной ЦМР – построен и проанализирован (в совокупности с данными натурных наблюдений) ряд морфометрических карт: гипсометрии, уклонов и экспозиции склонов земной поверхности. Также проведены работы по топографическому моделированию трехмерного изображения, т. к. трехмерные модели рельефа, в отличие от двухмерной карты, позволяют оценить форму и «пластику» рельефа, границы геоморфологических единиц и природных объектов.

Вегетационный индекс NDVI. Бурное развитие в последние десятилетия дистанционных, в первую очередь спутниковых, методов наблюдения открыло новые возможности для организации оперативного мониторинга растительности. Особое значение при построении систем дистанционного мониторинга приобретает возможность организации полностью автоматизированной обработки спутниковых данных. Она позволяет получать максимально объективную информацию, не зависящую от субъективного мнения отдельных специалистов, а также минимизировать расходы на эксплуатацию систем мониторинга. Такие технологии в последние годы активно разрабатываются и развиваются в ИКИ РАН. Они позволили создать и постоянно актуализировать архив спутниковых наблюдений на территории России и сопредельных государств за период с 2000 г. по настоящее время [6]. Байкальский институт природопользования СО РАН и ИКИ РАН проводят совместные работы в области использования инфор-

мационных технологий и данных дистанционного зондирования для решения научных задач мониторинга состояния и динамики растительного покрова. В основе автоматизированных технологий, созданных в ИКИ РАН, лежит анализ временного хода нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI [7]. NDVI основывается на анализе различий в отражении хлорофиллом в красной и ближней инфракрасной (БИК) зонах электромагнитного спектра и дает численное значение для характеристики и оценки пространственной вариации биофизических параметров растительного покрова. Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных, не зависящих от прочих факторов, участках кривой отражения растений. В красной области (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиацией хлорофилла высших сосудистых растений, а в БИК области (0,7–1,3 мкм) находится область максимального отражения от клеточных структур листа. Таким образом, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и к большему отражению в БИК. Соотношение этих показателей друг с другом позволяет четко отделять растительные объекты от других природных объектов и проводить их анализ [8; 12].

При идентификации видового состава растительности использованы определители растений Монголии [3] и Бурятии [1].

Результаты и их обсуждение

Семиаридная климатическая зона. Среди выделенных FAO-UNEP типов опустынивания [15] на большей части бассейна р. Селенги, особенно в монгольской ее части, наиболее значительно распространена деградация растительного покрова. Она проявляется в изменении структуры растительности степных, лесостепных, луговых фитоценозов, сукцессии их видов синантропными, умень-

шении проективного покрытия и высоты травостоя. В отдельных местах с наиболее интенсивным развитием процессов деградации и опустынивания земель, обусловленных большой плотностью выпасаемых животных на легкоразвеваемых песчаных и супесчаных почвах, дигрессионные процессы степных и лесостепных геосистем еще более усиливаются, в них происходит разрушение почвенного покрова под воздействием вытаптывания и последующего развевания и перестройка существующих форм микрорельефа. Особенно сильный характер проявления таких процессов был нами отмечен на слабозалесенном сосной *Pinus sylvestris* L. и засухоустойчивыми ильмами *Ulmus pumila* L. Хараагольском песчаном массиве (абсолютные отметки высот 735–815 м).

Согласно схеме ландшафтно-экологического районирования [4], расположенный в центральной части бассейна р. Селенги Хараагольский модельный полигон находится в зоне высокой экологической напряженности, обусловленной как природными, так и антропогенными факторами. Рассмотрим ключевой участок площадью 19,16 км², расположенный в северной части Хараагольского

полигона, в 3 км юго-западнее г. Дархан. Этот участок большей частью находится на расчлененных склонах низгорий Орхон-Хараагольского междуречья (810–870 м абс.), характеризуется степной карагано-злаково-холоднопопынной растительностью. Как показали проведенные геоботанические обследования, в проективном покрытии растительности участка доминирует карагана мелколистная *Caragana microphylla* (Pall.) Lam. (17–20 %), широкое распространение имеют полынь холодная *Artemisia frigida* Willd., колосняк китайский *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev и др. Большая часть данного земельного угодья используется как пастбище [10].

Доступ к спутниковому сервису мониторинга состояния растительности «Вега» позволил получить осредненные кривые NDVI для Хараагольского участка за первые 11 лет XXI в. [7]. Видна некоторая неравномерность распределения NDVI по годам, что обусловлено дифференциацией климатических условий. Среднее летнее значение NDVI для участка в 2011 г. равно 0,45, что говорит о разреженной растительности (рис. 1). Отметим, что в 2007 и 2008 гг. NDVI до-

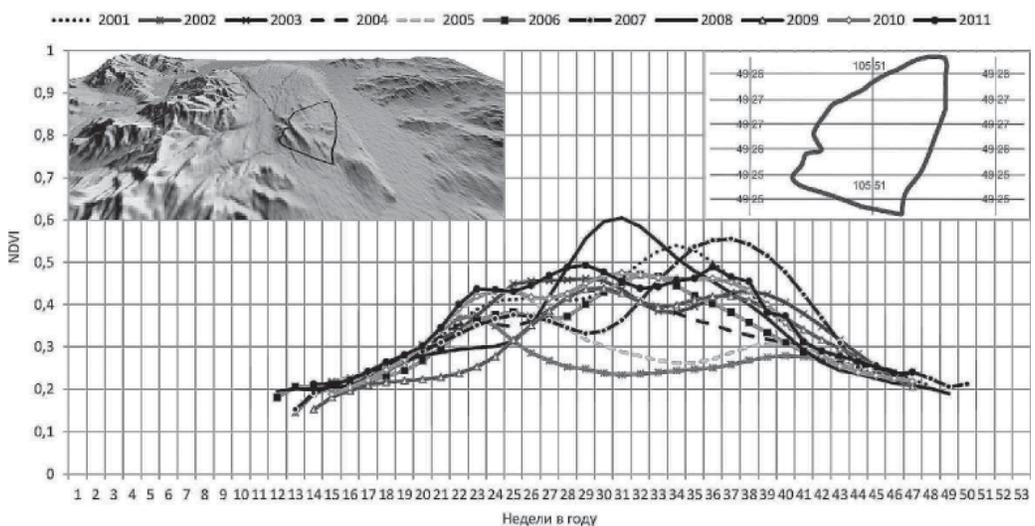


Рис. 1. Ход осредненного индекса NDVI за 2001–2011 гг. для территории северного участка Хараагольского полигона. Вверху: слева – трехмерный вид на основе ЦМР SRTM v. 4, справа – схема участка

стигал достаточно высокого значения, равного 0,6; это связано с повышенными значениями температуры и режимом увлажнения в летние месяцы в эти годы (сервис «Вега» позволяет проводить совместный анализ NDVI и метеопараметров [7]).

Подсчитаны и визуализированы индексы NDVI территории участка по снимкам Landsat TM сентябрьских залетов 20-летней разницы: 1990 и 2010 гг. (рис. 2). Формула для расчетов: $NDVI = (b3 - b4) / (b3 + b4)$, где $b3$ – данные красного канала спектрорадиометра TM, $b4$ – БИК.

Сопоставление изображений NDVI наглядно указывает на дигрессию растительности, обусловленную, главным образом, большой пастбищной нагрузкой. Если в сентябре 1990 г. большая часть участка (53 %) характеризовалась значениями NDVI 0,3–0,4, то в сентябре 2010 г. 86 % его площади занимают ареалы NDVI 0,2–0,3 (табл. 1, рис. 2).

В ходе экспедиционных исследований 2010–2012 гг. выполнена натурная ландшафтная индикация ареалов NDVI с различными значениями, изучены природные и антропогенные факторы динамики их изменений. Значениям NDVI 0,1–0,2 от 8 сентября 2010 г., занимающим 8 % территории (табл. 1), на местности соответствуют территории убранных от посевов пашен, а также участки степных склоновых пастбищ, находящихся в стадии сильной дигрессии из-за перевыпаса на них скота.

Наиболее распространенное для участка значение NDVI 0,2–0,3 характерно в настоящее время для преобладающих здесь расчлененных склоновых эрозионно-денудационных степных караганово-разнотравно-дерновинно-злаковых ландшафтов. Из-за перевыпаса скота растительность этих ландшафтов находится в стадии средней дигрессии. Из общего проективного покрытия растительности около 17–20 % занимают кустарники караганы мелколистной *Saragana microphylla* (Pall.) Lam., 15–16 % – колосняк китайский *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev, 12–13 % – полынь холодная *Artemisia frigida* Willd., 9–10 % – лапчатка бесстебельная *Potentilla acaulis* L.

Значения NDVI 0,3–0,4, характерные всего для 6 % площади участка (табл. 1), приурочены к фитоценозам ложбин и к наиболее западным и возвышенным (810–870 м абс.) верхним частям склонов. По видовому составу здесь преобладают осока твердовая *Carex duriuscula* C. A. Mey., занимающая 27м33 % проективного покрытия растительности, карагана мелколистная *Saragana microphylla* (Pall.) Lam. – 30–33 %, колосняк китайский *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev – 10 %, зопник клубненосный *Phlomis tuberosa* L. – 10 %.

В сентябре 1990 г. некоторые из этих расположенных в западной части участка фитоценозов характеризовались значениями NDVI 0,4–0,55. По всей видимости, эти фитоценозы имели большее

Таблица 1

Градации NDVI территории северного участка Хараагольского полигона

NDVI	17 сентября 1990 г.		8 сентября 2010 г.	
	Площадь, км ²	Площадь, %	Площадь, км ²	Площадь, %
0,0–0,1	0	0	0,0067	0
0,1–0,2	0,117	1	1,581	8
0,2–0,3	5,44	28	16,454	86
0,3–0,4	10,194	53	1,116	6
0,4–0,5	3,296	17	0,0072	0
0,5–0,6	0,1179	1	0	0
Всего:	19,1649	100	19,1649	100

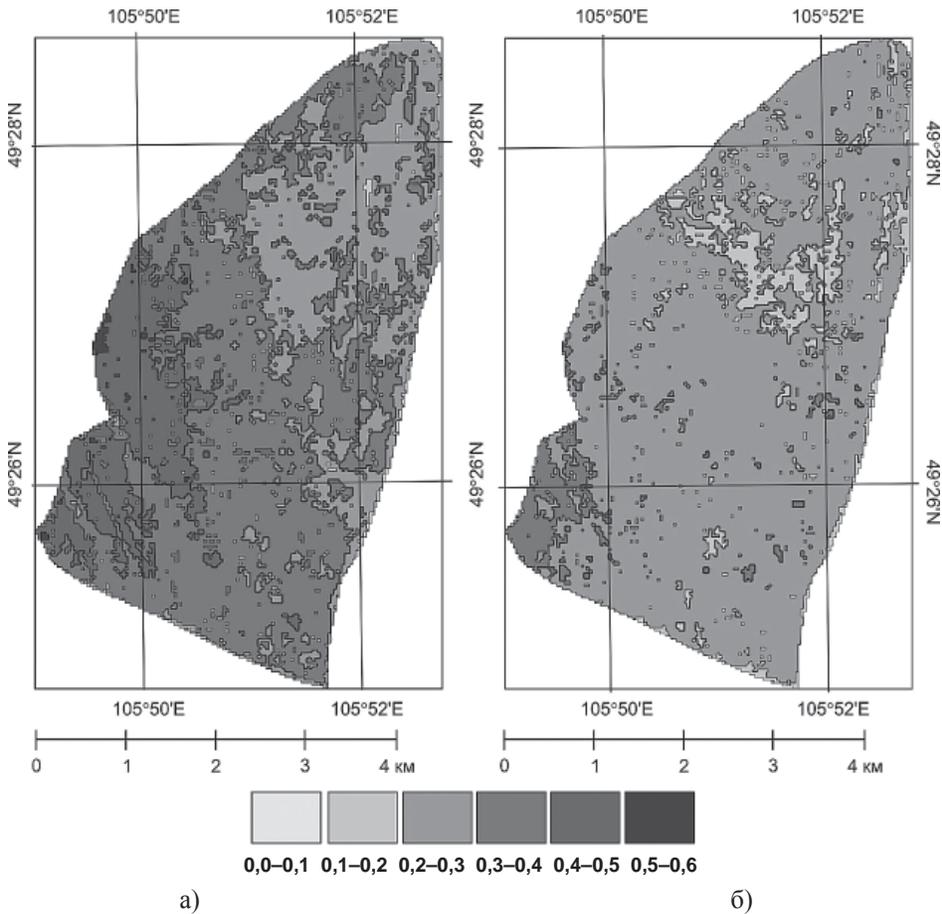


Рис. 2. Карты NDVI северного участка Хараагольского полигона: а) обработанный снимок Landsat TM от 17 сентября 1990 г.; б) от 08 сентября 2010 г.

проективное покрытие, более высока в них была доля осок, ковылей и разнотравья, в частности *Phlomis tuberosa* L. Об этом свидетельствуют проведенные нами обследования смежных с ключевым участком территорий. Причина дигрессии фитоценозов – опять же перевыпас скота.

Следует заметить, что синтезированные изображения NDVI характеризуют одномоментное состояние территории, но в целом они показывают динамику состояния геосистем. В идеале, конечно, необходимо брать усредненные изображения NDVI, например за декаду или месяц, как это практикуется при обработке гиперспектральных снимков низкого

разрешения MODIS Terra (усредненные значения позволяют избежать влияния случайных и некоторых систематических погрешностей). Но в связи с особенностями прохождения спутника Landsat (повторяемость съемки одной и той же территории – 16 суток) и условиями облачности не удастся получить комбинированные изображения NDVI за определенный промежуток времени.

Несколько иная картина наблюдается на южном участке Хараагольского модельного полигона, расположенном на песчаном массиве левобережья р. Хараагол, в 18 км южнее степного ключевого участка. Площади территорий со значениями NDVI, равными 0,2–0,3 и

0,3–0,4, в 2010 г., по сравнению с 1990 г., незначительно уменьшились, но зато существенно (в 2 раза) увеличились площади ареалов со значениями NDVI 0,1–0,2, характерными для открытой почвы с редкой растительностью, что так же, как и на северном участке полигона, свидетельствует о выраженном тренде деградации растительного покрова (табл. 2).

Проведенные натурные ландшафтные обследования 2008–2012 гг. на Хараагольском песчаном массиве и в его окрестностях свидетельствуют, что основным фактором деградации покрывающей его растительности является выпас и прогон сельскохозяйственных животных, преимущественно овец и коз, в меньшей степени – лошадей и крупного рогатого скота. Сравнительный анализ изменения значений NDVI с климатическими показателями (количеством атмосферных осадков, показателями температуры и относительной влажности) корреляционной зависимости за 20-летний период не выявил.

Натурная ландшафтная индикация ареалов NDVI с различными значениями на этом массиве показала, что значения NDVI 0,1–0,2 характерны для поверхностей барханов, дюн и песчаных межбарханых и междюнных понижений со следами интенсивного прогона скота с проективным покрытием растительности 3–15 %. Значениям NDVI 0–0,1 соответствуют участки голых песков с проективным покрытием растительности

до 3 %. Преобладающим для большей части массива значениям NDVI 0,2–0,3 соответствуют поверхности сосновых (*Pinus sylvestris* L.) боров и небольших ильмовых (*Ulmus pumila* L.) рощ. Уменьшение их площадей в настоящее время, по сравнению с 1990 г., помимо выпаса и прогона сельскохозяйственных животных обусловлено также несанкционированными вырубками древостоя на отдельных участках и слабым развитием подроста. Характерным для 14–15 % от площади песчаного массива значениям NDVI 0,3–0,4 (табл. 2), приуроченным в основном к южной, наиболее его возвышенной части (780–815 м абс.), соответствуют более густые сосновые боры с хорошо выраженным подлеском из кустарника.

По данным Монгольского государственного национального статистического комитета [16], на территориях аймаков Сэлэнгэ и Дархан-Уул в 2000-х гг. наблюдается устойчивая тенденция увеличения поголовья сельскохозяйственных животных. Проведенные нами экспресс-опросы аратов, ведущих хозяйство в пределах территории Хараагольского модельного участка, показали, что около половины из них мигрировали сюда (ближе к основным рынкам сбыта животноводческой продукции) со своими стадами в 2000-х гг. из других периферийных аймаков Монголии – западных (большой частью) и гобийских.

Таблица 2

Градации NDVI территории южного Хараагольского участка

NDVI	17 сентября 1990 г.		8 сентября 2010 г.	
	Площадь, км ²	Площадь, %	Площадь, км ²	Площадь, %
0,0–0,1	0,063	0	0,1719	1
0,1–0,2	5,286	16	11,147	34
0,2–0,3	21,934	67	16,808	51
0,3–0,4	5,035	16	4,507	14
0,4–0,5	0,3339	1	0,0324	0
0,5–0,6	0,0144	0	0	0
Всего:	32,6663	100	32,6663	100

Аридная климатическая зона. На территории аймака Дундговь (Среднее Гоби) с продвижением с севера на юг происходит постепенная смена от ландшафтов опустыненных степей до полупустынь и саксауловых пустынь. Обследования показали, что в условиях крайне недостаточного увлажнения (годовая сумма атмосферных осадков менее 100 мм на территории сомона Улзийт южной части аймака Дундговь, максимальная величина в 150 мм в северной, полное отсутствие пресных поверхностных вод) гобийские ландшафты сильно уязвимы для деградационных процессов, в особенности физического выветривания, дефляции, деградации растительности. И хотя в целом по территории аймака Дундговь пастбищная нагрузка небольшая из-за очень малой плотности животноводческих стоянок, вокруг стоянок в радиусе до 0,5–0,7 км земная поверхность отличается сильной выбитостью с почти полным отсутствием растительного покрова (проективное покрытие от 0 до 1 %).

Севернее аймачного центра Мандалговь доминируют южносухостепные

ландшафты, располагающиеся на 70–80 % территории, опустыненно-степные занимают 10–20 %, солончаковые и солонцово-солончаковые – менее 8 %. К югу от Мандалговь в пределах Среднегобийского модельного полигона преобладают опустыненно-степные ландшафты (65–75 %), южносухостепные занимают 20–30 %, солончаковые – менее 9 % территории.

Осредненное значение NDVI за последнее десятилетие, агрегированное по модельному среднегобийскому полигону [7], равно 0,12, что говорит о крайне скудной растительности (рис. 3).

Проведенный анализ временного хода NDVI показывает уменьшение его значений в 2011 г. в августе (с 0,17 до 0,135) и в июне (с 0,15 до 0,125), по сравнению с 2010 г. [9]. Сравнение результатов проведенных нами натурных геоботанических обследований 2011–2012 гг. с результатами обследований 2010 г. гобийских участков по экологическим группам подтверждает этот вывод, свидетельствуя об увеличении доли растений-эуксерофитов в проективном покрытии разных участков на 12–15 %, указывая на

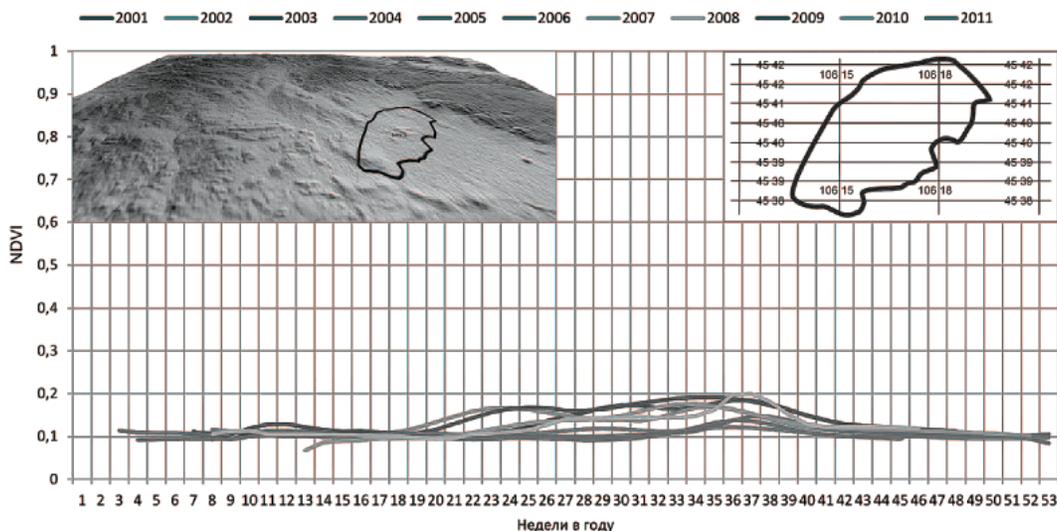


Рис. 3. Ход осредненного вегетационного индекса NDVI за 2001–2011 гг. для территории Среднегобийского полигона. Вверху: слева – трехмерный вид территории участка на основе ЦМР SRTM v. 4, справа – схема участка

продолжающуюся инвазию эуксерофитных пустынных видов растений на север. Так, на ключевом участке, расположенном в равнинных каменистых опустыненных степях в 20 км южнее Мандалговь, доля эуксерофитов в проективном покрытии увеличилась с 77 % в августе 2010 г. до 96 % в августе 2012 г.

Более наглядно тренд ксерофитизации гобийской растительности демонстрирует анализ индексов NDVI территории Среднегобийского полигона по разновременным сентябрьским снимкам Landsat TM 1990 и 2011 гг. Так, если в сентябре 1990 г. 75 % площади полигона характеризовалось значением NDVI 0–0,1, то в сентябре 2011 г. площади со значениями NDVI, равными 0–0,1, составили уже 92 % (табл. 3).

Проведенная натурная ландшафтная индикация ареалов с разновеликими значениями NDVI показала, что преобладающие (92 % площади) значения 0,0–0,1 характерны для каменистых опустыненных степей с доминированием лука многокорневого *Allium polyrrhizum* Turcz. ex Regel, характерного в 90-х гг. XX в. для более южных, гобийских районов. Ареалы со значениями NDVI 0,1–0,2, занимающие в настоящее время всего 8 % площади среднегобийского полигона, свойственны для осоково-чиевых сообществ солончаково-мелкоземистых равнин.

Анализ метеорологических данных свидетельствует о проявлении в XXI в. в Гоби более сильных засух в летний

период, чем в минувшем столетии, что, на наш взгляд, является основным фактором дигрессионного тренда гобийской растительности.

Выводы

1. Проведенные исследования с использованием методов, основанных на учете различий в спектральном отражении для разных каналов оптического диапазона, в совокупности с полевыми натурными измерениями свидетельствуют о том, что деградация растительного покрова на исследуемых полигонах за последние два десятилетия усиливается.

2. Методы дистанционного зондирования, основанные на анализе пространственно-временной вариации биофизических параметров растительности, позволяют оперативно выявлять участки экологической напряженности, обусловленные деградацией растительного покрова и опустыниванием.

3. Значения NDVI для различных ландшафтных зон характеризуются своими особенностями, поэтому выявленные по дистанционным материалам ареалы NDVI с целью их ландшафтной индикации должны быть обязательно идентифицированы материалами непосредственных натурных наблюдений.

4. Для предотвращения развития процессов деградации и опустынивания земель на выявленных участках с наибольшей экологической напряженностью необходимо принятие срочных организа-

Таблица 3

Градации NDVI территории модельного полигона южнее Мандалговь

NDVI	10 сентября 1990 г.		4 сентября 2011 г.	
	Площадь, км ²	Площадь, %	Площадь, км ²	Площадь, %
0,0–0,1	28,2315	75	34,8506	92
0,1–0,2	8,941	24	2,888	8
0,2–0,3	0,5481	1	0,0054	0
0,3–0,4	0,0234	0		
Всего:	37,744	100	37,744	100

ционно-хозяйственных мероприятий по сохранению естественной растительности (мелиорация, регулирование выпаса скота и т. д.). Так, на рассматриваемых участках наблюдается перевыпас скота, обуславливающий чрезмерную нагрузку на пастбища и ведущий, в свою очередь,

к дигрессии их растительного покрова. В этой связи местным животноводам и другим землепользователям необходимо рационально использовать пастбищные угодья, периодически меняя их для выпаса и регулируя тем самым пастбищеоборот земель.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ 12-05-98066-р_сибирь_а «Комплексные исследования процессов деградации и опустынивания земель Байкальского региона с использованием геоинформационных технологий».

Литература

1. Аненхонов О. А., Пыхалова Т. Д., Осипов К. И., Сэкулич И. Р., Бадмаева Н. К. и др. Определитель растений Бурятии. – Улан-Удэ, 2001. – 672 с.
2. Борликов Г. М., Харин Н. Г., Бананова В. А., Татеиши Р. Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона. – Ростов н/Д, 2000. – 89 с.
3. Грубов В. И. Определитель сосудистых растений Монголии. – Л.: Наука, 1982. – 443 с.
4. Гунин П. Д., Востокова Е. А. Ландшафтная экология. – М.: Биоинформсервис, 2000. – 232 с.
5. Дамбиев Э. Ц., Тулохонов А. К. Антропогенное опустынивание в Бурятии // География и природные ресурсы. – 1993. – № 3. – С. 60–63.
6. Лупян Е. А., Мазуров А. А., Назиров Р. Р., Прошин А. А., Флитман Е. В. Технология построения автоматизированных систем сбора, обработки и хранения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 1. – 2004. – С. 81–88.
7. Лупян Е. А., Савин И. Ю., Барталев С. А., Толтин В. А., Балашиов И. В., Плотников Д. Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 8. – 2011. – № 1. – С. 190–198.
8. Харин Н. Г., Грингоф И. Г. Концептуальный подход к использованию вегетационного индекса для оценки деградации засушливых земель // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 7. – С. 83–93.
9. Цыдыпов Б. З., Волошин А. Л., Батуева Д. Ж., Гармаев Е. Ж., Аюржанаев А. А., Чимэддорж Ц. Динамика растительного покрова аридной климатической зоны Монголии с помощью индекса вегетации NDVI // Научный журнал Института ботаники АН Монголии. – 2012. – № 24. – С. 129–135.
10. Цыдыпов Б. З., Волошин А. Л., Батуева Д. Ж., Чимэддорж Ц. Исследования деградации и опустынивания растительного покрова аридных и семиаридных геосистем Монголии с использованием современных методов обработки данных дистанционного зондирования // Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии: мат-лы междунар. науч. конф. (г. Иркутск, 17–21 сентября 2012 г.). Т. 2. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2012. – С. 262–264.
11. Цэрэндаш С., Томоржав М., Гомбосурэн Ч. Земля, пастбище, скот. – Улан-Батор, 2003.
12. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
13. Farr T. G., Rosen P. A., Caro E., Crippen R., Duren R. et al. The Shuttle Radar Topography Mission // Review of Geophysics. 2007. 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.

14. Pike R. J. Geomorphometry – progress, practice, and prospect // J. Geomorph. Suppl. – 1995. Vol. 101. – P. 221–238.

15. Provisional methodology for desertification assessment and mapping. – Rome: FAO/UNEP, 1981. – 83 p.

16. Монгол улсын статистикийн эмхтгэл (Монгольский государственный статистический сборник). – Улаанбаатар: Монгол улсын удэсний статистикийн газар, 2009.

УДК 502.3(517)

Г. С. Жамсуева, А. С. Заяханов, В. В. Цыдыпов,
Т. С. Бальжанов, Д. Азаяа, Д. Оюнчимэг

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ПУСТЫНИ ГОБИ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЗВИТИЯ МОНГОЛИИ

Приведены результаты экспериментальных исследований суточной изменчивости приземного озона, оксидов азота в атмосфере аридных и полуаридных территорий Монголии, полученные в ходе научных экспедиций 2005–2012 гг. Анализируются факторы, приводящие к повышенному содержанию малых газовых примесей, их связь с метеорологическими и турбулентными характеристиками атмосферы. Даются результаты мониторинговых измерений массовой концентрации мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} (частицы размером менее 10 мкм) и $PM_{2,5}$ (частицы размером менее 2,5 мкм) на ст. Сайншанд и ст. Замын-Ууд, расположенных в пустыне Гоби Монголии.

Представлены результаты исследований компонентного состава атмосферных аэрозолей в Монголии за период 2005–2010 гг. Показано, что в индустриальных городах (Улан-Батор, Сухэ-Батор) на состав аэрозолей основное влияние оказывают локальные выбросы, в то время как в небольших городах со слаборазвитой промышленностью (Баруун-Урт и Сайншанд) на формирование компонентного состава взвешенных частиц влияет дальний перенос загрязняющих веществ и ветровой режим местности, в частности пыльные бури. Выявлена зависимость состава и концентрации взвешенных частиц от метеорологической обстановки в районе исследования. Высокие концентрации аэрозолей отмечались в дни с сильным ветром и при переносе воздушных масс из пустынь и индустриальных районов Китая.

Ключевые слова: приземный озон, окислы азота, аэрозоль, взвешенные частицы, пыльная буря, пустыня Гоби.

ЖАМСУЕВА Галина Санжиевна – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая лабораторией дистанционного зондирования атмосферы Института физического материаловедения СО РАН. E-mail: Lrf@ipms.bscnet.ru.

ЗАЯХАНОВ Александр Савельевич – кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института физического материаловедения СО РАН. E-mail: Lrf@ipms.bscnet.ru.

ЦЫДЫПОВ Вадим Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института физического материаловедения СО РАН. E-mail: Lrf@ipms.bscnet.ru.

БАЛЬЖАНОВ Тумэн Станиславович – инженер Института физического материаловедения СО РАН. E-mail: Lrf@ipms.bscnet.ru.

ДОЛГОРСУРЭН Азаяа – кандидат сельскохозяйственных наук Института метеорологии и гидрологии Монголии. E-mail: azzaya23@yahoo.com.

ДУГЭРЖАВ Оюнчимэг – научный сотрудник Института метеорологии и гидрологии Монголии. E-mail: dugerjavoyunchimeg@yahoo.com.