

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА АРИДНОЙ И СЕМИАРИДНОЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН МОНГОЛИИ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА ВЕГЕТАЦИИ NDVI<sup>1</sup>**

© 2014 г. А.К. Тулохонов\*, Б.З. Цыдыпов\*, А.Л. Волошин\*, Д.Ж. Батуева\*, Ц. Чимэддорж\*\*

\*Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН  
Россия, 670047 г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: atul@binm.bscnet.ru

\*\*Монгольский государственный сельскохозяйственный университет  
Монголия, 210153 г. Улаан-Баатар, Зайсан-53. E-mail: gantulaga@yahoo.com

Поступила 18.02.2013

Для модельных полигонов, расположенных в аридной и семиаридной климатических зонах Центральной Монголии, построены графики временного хода NDVI и карты его разновременных значений по снимкам Landsat. Проведена натурная ландшафтная индикация выделенных ареалов NDVI. Индикация подкреплена анализом растительности по экологическим группам по засухоустойчивости. Почти по всей территории выделенных полигонов прослеживается дигрессия растительности за данный период.

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

Более 85% территории Монголии находится в пределах засушливых климатических зон: экстрааридной, аридной, семиаридной, сухой субгумидной. Согласно определению Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (1994), деградация земель, протекающая в пределах этих климатических зон, называется опустыниванием. В своем развитии процессы опустынивания затрагивают и нарушают последовательно следующие компоненты геосистем: растительность, почвы и подстилающие горные породы, формы рельефа (Дамбиев, Тулохонов, 1993; Борликов, Харин и др., 2000). Растительность первой среди компонентов ландшафтов ощущает воздействие опустынивания (Гунин и др., 2003), поэтому исследованию ее изменений в результате этого дигрессионного явления нами уделено особое внимание.

Целью представленной работы является выявление и анализ изменений растительного покрова засушливых климатических зон Монголии с помощью комплекса натуральных и дистанционных исследований.

### Материалы и методы

*Территория исследования.* За годы выполнения проекта «Разработка системы 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 Монголии заложен ряд модельных мониторинговых полигонов в различных широтных зонах по меридиональному трансекту (105°-107° в.д., 51°-44° с.ш.) с широким охватом территорий с засушливыми климатическими условиями. Данная работа позволила выявить основные факторы, агенты и тренды развития процессов опустынивания в различных климатических зонах (Волошин, 2009). 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

<sup>1</sup> 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».

климатической зоны и в ботанико-географическом отношении характеризуется доминированием опустыненных степей, второй – в семиаридной климатической зоне с преобладанием разнотравно-дерновиннозлаковых степей. Для исследования биофизических параметров растительности с использованием нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI выбраны 3 ключевых участка: два находятся на территории Хараагольского мониторингового модельного полигона, третий – в пределах среднегобийского полигона.

*Период исследования.* Оценка временной динамики растительности по архивным данным геопортала Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) произведена за 2001-2011 гг. Картографирование ареалов NDVI выполнено по спутниковым данным за первую половину сентября с 20-летним интервалом времени с 1990 по 2011 гг. Выбор периода исследования обоснован доступностью за этот период данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

*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 координатам совмещение разновременных материалов для изучения динамики изменений, происходящих на поверхности Земли. С геопортала Геологической службы США с помощью поисковой системы GloVis (<http://glovis.usgs.gov>) загружены необходимые разновременные мультиспектральные снимки спектрорадиометра TM 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/пиксел. Обязательным условием при загрузке снимков являлось полное отсутствие облачности (0%), высокое качество (Qty=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.

*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 (Pike, 1995). В последнее время широкое распространение получила глобальная ЦМР SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), которая является основой для крупномасштабного морфометрического картографирования (Farr et al., 2000). С ftp-сервера Геологической службы США были загружены высотные радарные данные SRTM v.4. Все морфометрические показатели тестовых участков получены при анализе данной ЦМР. С целью проведения морфометрического анализа рельефа был построен и проанализирован (в совокупности с данными натурных наблюдений) ряд соответствующих морфометрических карт: гипсометрии, уклонов и экспозиции склонов земной поверхности. Также проведены работы по топографическому моделированию трехмерного изображения. В отличие от двумерной карты, трехмерные модели рельефа, драпированные космоснимком, позволяют отчетливо увидеть и визуально 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 позволяет 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 территорию России и сопредельных государств за период с 2000 г. по настоящее время (Лупян и др., 2004). Байкальский институт природопользования СО РАН и ИКИ РАН проводят совместные работы в области использования информационных технологий и данных ДЗЗ 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 (Лупян и др., 2011). 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 (Kauth, Thomas, 1976). 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 к другу позволяет четко отделять растительные объекты от других природных объектов и проводить их анализ (Харин, Грингоф, 2002; Шовенгердт, 2010). Имеется опыт создания электронных карт осредненного показателя пороговой зеленой фитомассы за отдельные десятилетия (1982-1991 и 1992-2002 гг.) и разницы показателей между десятилетиями для территории южной Монголии (Гунин и др., 2004).

При идентификации видового состава растительности использовались определители растений Монголии (Грубов, 1982) и Бурятии (Аненхонов и др., 2001).

### Результаты и их обсуждение

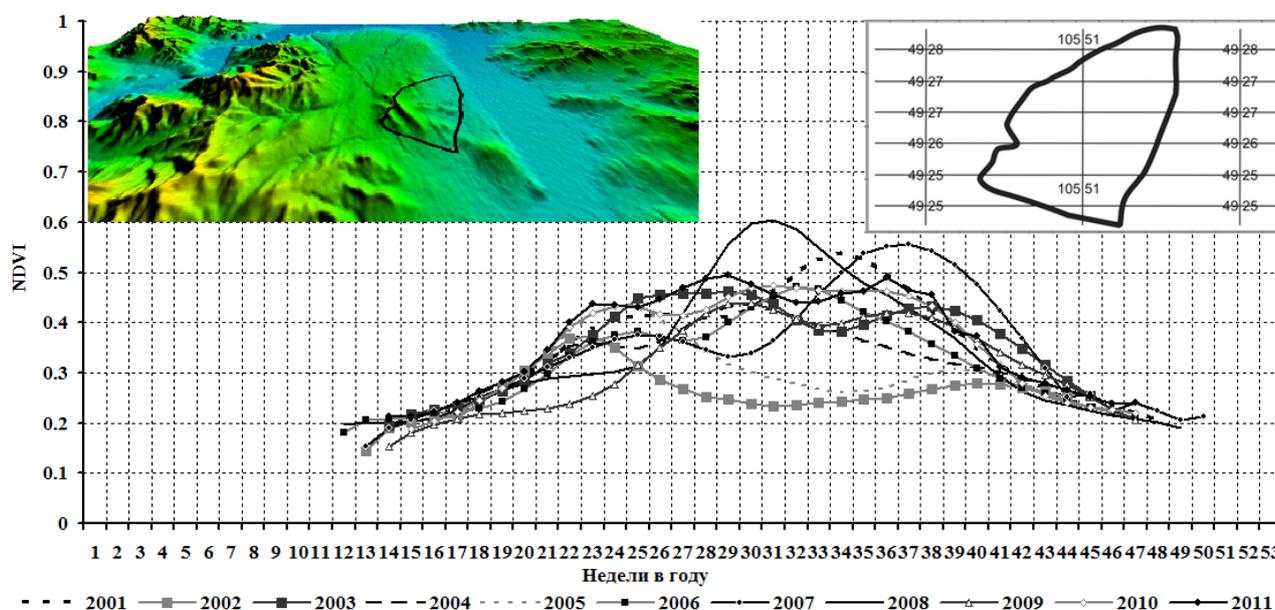
*Семиаридная климатическая зона.* Среди выделенных FAO-UNEP типов опустынивания (Provisional ..., 1981) на большей части бассейна р. Селенги, особенно в монгольской его части, наиболее широко распространена деградация растительного покрова. Она проявляется в изменении структуры растительности степных, лесостепных, луговых фитоценозов, сукцессии их видов синантропными, уменьшении проективного покрытия и высоты травостоя (Микляева и др., 2004). 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 результате этого в них происходит разрушение почвенного покрова под воздействием вытаптывания и последующего развевания, и перестройка существующих форм микрорельефа. Особенно сильное проявление таких процессов было нами отмечено 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 (Гунин, Востокова, 2000), расположенный в центральной части бассейна р. Селенга Хараагольский модельный полигон находится в зоне высокой экологической напряженности, обусловленной как природными, так и антропогенными факторами. Рассмотрим ключевой участок площадью 19.16 км<sup>2</sup>, расположенный в северной части Хараагольского полигона, в 3 км юго-западнее г. Дархан. Большая часть этого участка находится на расчлененных склонах низкогорий Орхон-Хараагольского междуречья (абсолютные отметки высот 810-870 м; рис. 1), характеризуется степной карагано-злаково-холоднопопынной (*Artemisia frigida*–*Leymus chinensis*–*Caragana microphylla*) 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 (Цыдыпов и др., 2012б).

Используя доступ к спутниковому сервису мониторинга состояния растительности «Вега» построены осредненные кривые NDVI для Хараагольского участка за первые 11 лет XXI столетия (Лупян и др., 2011). Видна некоторая неравномерность распределения NDVI по годам, что обусловлено дифференциацией климатических условий. Среднее летнее значение NDVI в 2011 г. для участка равно 0.45, что говорит о разреженной растительности в этом году (рис. 1). Отметим, что в 2007 и 2008 гг. NDVI достигал достаточно высокого значения, равного 0.6, что связано с повышенными значениями температуры и режимом увлажнения в летние месяцы в эти годы.

Подсчитаны и визуализированы индексы NDVI территории участка по мультиспектральным

космическим снимкам Landsat TM сентябрьских залетов 20-летней разницы: 1990 и 2010 гг. (рис. 2). Обработка изображений проведена с помощью программного комплекса ENVI 4.7 ([www.itvvis.com/ENVI](http://www.itvvis.com/ENVI)), который хорошо зарекомендовал себя как полнофункциональное решение для визуализации, обработки и анализа данных ДЗЗ. Задействованы 2 канала спектрорадиометра TM: № 3 – красный, № 4 – БИК. Во время полевых измерений подготовлены GPS-треки границ участков, которые впоследствии были конвертированы в векторные шейп-файлы, послужившие маской для выделения границ участков. Картирование ареалов NDVI с шагом 0.1 проводилось только в пределах выделенных замкнутых полигонов.



**Рис. 1.** Ход осредненного индекса NDVI за 2001-2011 гг. для территории северного участка Хараагольского полигона. Условные обозначения: сверху справа – схема участка, сверху слева – трехмерный вид на основе ЦМР SRTM v. 4. **Fig. 1.** Variations of averaged NDVI on 2001-2011 for the north area of the Kharaagol polygon. Symbols: the upper right inserted image is the scheme of the site; the upper left inserted image is 3D-view on the base of DEM SRTM v. 4.

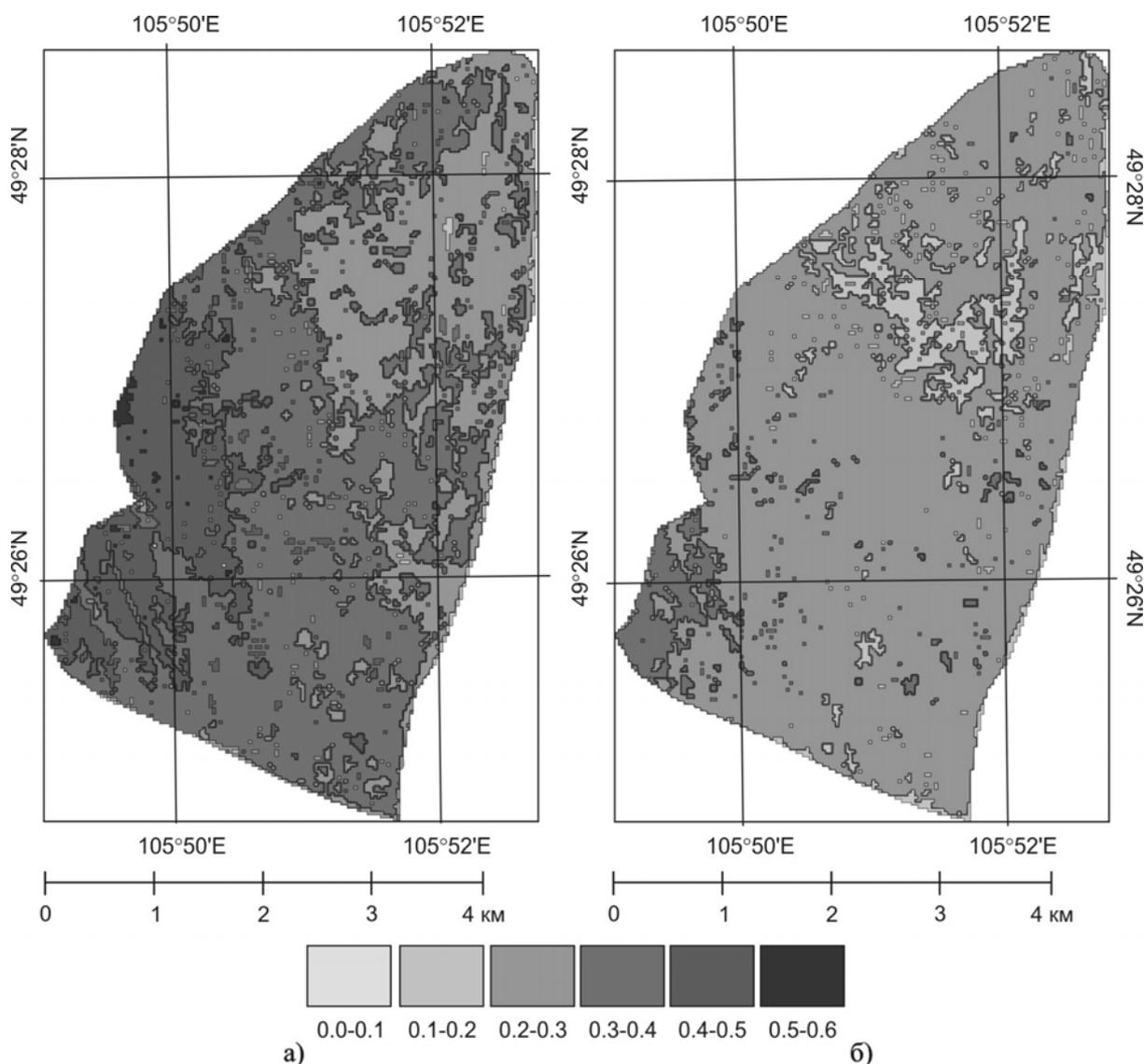
Сопоставление изображений NDVI наглядно указывает на дигрессию растительности, обусловленную главным образом большой пастбищной нагрузкой. Если в сентябре 1990 г. большая часть участка (53%) характеризовалась значениями NDVI 0.3-0.4, то в сентябре 2010 г. 86% его площади – значениями 0.2-0.3 (табл. 1, 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 и характеризуемых проективным покрытием растительности менее 50%.

Наиболее распространенное для участка сентябрьское значение NDVI 0.2-0.3 характерно в настоящее время для преобладающих здесь расчлененных склоновых эрозионно-денудационных степных ландшафтов с караганово-разнотравно-дерновиннозлаковой растительностью (*Leymus chinensis*–*Artemisiafrigida*+*Potentilla acaulis*–*Caragana microphylla*). Из-за перевыпаса скота растительность этих ландшафтов находится в стадии средней дигрессии, величина ее проективного покрытия составляет большей частью 65-70%. Из общего проективного покрытия растительности около 17-20% занимают кустарники караганы мелколистной *Caragana 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 только для 6% площади участка (табл. 1), приурочены к

ложбинам и к наиболее западным и возвышенным (абсолютные отметки высот 810-870 м) верхним частям склонов. Проективное покрытие растительности фитоценозов достигает 80-85%. По видовому составу здесь преобладают осока твердоватая *Carex duriuscula* С.А. Мей., занимающая 27-33% проективного покрытия растительности, карагана мелколистная *Caragana microphylla* (Pall.) Lam. – 30-33%, колосняк китайский *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev – 10%, зопник клубненосный *Phlomis tuberosa* L. – 10%.



**Рис. 2.** Карты NDVI северного участка Хараагольского полигона. Условные обозначения: обработанный снимок Landsat TM от 17.09.1990 (а) и от 08.09.2010 (б). **Fig. 2.** NDVI maps for the north area of the Kharaagol polygon. Symbols: processed image Landsat TM for September 17, 1990 (a) and for September 8, 2010 (b).

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 проективное покрытие (около 90-97%), 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. Причиной дигрессии фитоценозов здесь также явился 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 за декаду или месяц, например, 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 (он возвращается на то же место через 16 суток) и условиями облачности не удастся получить композитные изображения NDVI за определенный промежуток времени.

**Таблица 1.** Классификация по градациям NDVI территории северного ключевого участка Хараагольского полигона. **Table 1.** Classification on NDVI graduation for the north area of the Kharaagol polygon.

NDVI	17 сентября 1990 г.		8 сентября 2010 г.	
	Площадь, км <sup>2</sup>	Площадь, %	Площадь, км <sup>2</sup>	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

Несколько иная картина наблюдается на южном участке Хараагольского модельного полигона, расположенном на песчаном массиве на левобережье 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 также, как и на северном участке полигона, свидетельствует о выраженном тренде деградации растительного покрова (табл. 2).

**Таблица 2.** Классификация по градациям NDVI территории южного Хараагольского участка. **Table 2.** Classification on NDVI graduation for the south area of the Kharaagol polygon.

NDVI	17 сентября 1990 г.		8 сентября 2010 г.	
	Площадь, км <sup>2</sup>	Площадь, %	Площадь, км <sup>2</sup>	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

Проведенные натурные ландшафтные обследования 2008-2012 гг. на Хараагольском песчаном массиве и 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 межбарханных 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.) рош. Уменьшение их площадей в настоящее время по сравнению с 1990 г., помимо выпаса и прогона сельскохозяйственных животных, обусловлено также несанкционированными вырубками их древостоя на отдельных участках и слабым развитием подроста. Характерным для 14-15% площади песчаного массива значениям NDVI 0.3-0.4 (табл. 2), приуроченным, в основном, к южной, наиболее его возвышенной части (абсолютные отметки высот 780-815 м), соответствуют более густые сосновые боры с хорошо выраженным подлеском из кустарников.

По данным Монгольского государственного национального статистического комитета (Монгол улсын..., 2009) на территориях аймаков Сэлэнгэ и Дархан-Уул в 2000-х годах наблюдалась устойчивая тенденция увеличения поголовья сельскохозяйственных животных. Проведенные нами экспресс-опросы аратов, ведущих свое 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 годах из других периферийных аймаков Монголии: западных (большой частью) и гобийских.

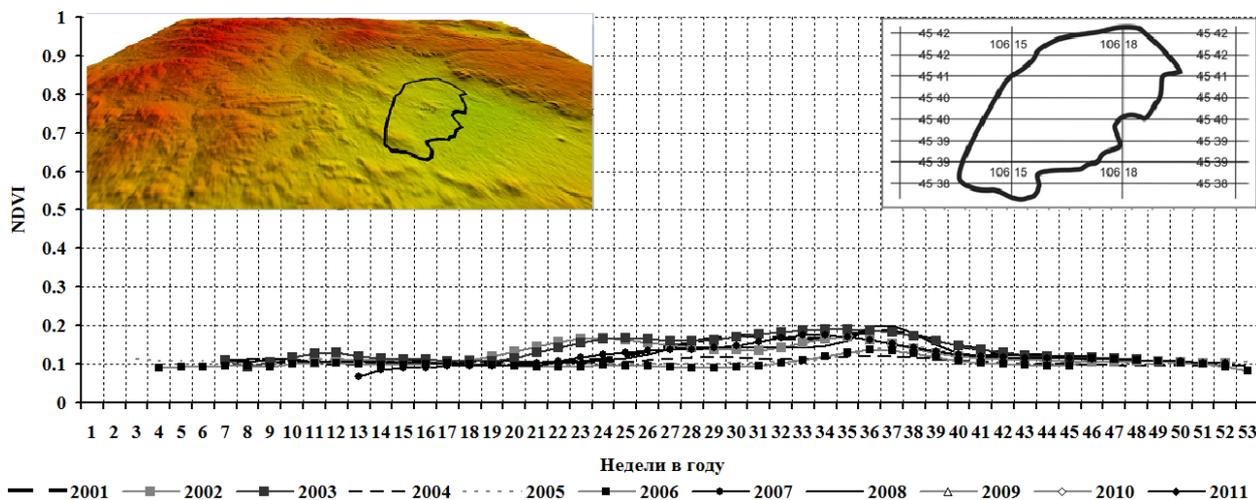
*Аридная климатическая зона.* На территории аймака Дундговь (Среднее Гоби) с продвижением с севера на юг происходит постепенная смена ландшафтов опустыненных степей полупустынь пустынями с саксаулом (*Haloxylon* sp.). Обследования показали, что в условиях крайне недостаточного увлажнения (годовая сумма атмосферных осадков менее 100 мм на территории сомона Улзийт южной части аймака Дундговь, максимальная величиной в 150 мм в северной, полное отсутствие пресных поверхностных вод) гобийские ландшафты сильно уязвимы к деградационным процессам, в особенности к физическому выветриванию, 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.

Среднее значение NDVI за последнее десятилетие, агрегированное по модельному среднегобийскому полигону (Лупян и др., 2011), 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. (Цыдыпов и др., 2012а). 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 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, равным 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 годах XX века 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 (*Achnaterum splendens*–*Carex duriuscula*) сообществ солончаково-мелкоземистых равнин.



**Рис. 3.** Ход осредненного вегетационного индекса NDVI за 2001-2011 гг. для территории Среднегобийского полигона. Условные обозначения: вверху слева – трехмерный вид территории участка на основе ЦМР SRTM v. 4, вверху справа – схема участка. Fig. 3. Variations of averaged NDVI on 2001-2011 for the territory of the Middle Gobi polygon. Symbols: the upper left inserted image is 3D-view of the site on the base of DEM SRTM v. 4; the upper right inserted image is the scheme of the site.

**Таблица 3.** Классификация по грациям NDVI территории модельного полигона южнее Мандалговь.

**Table 3.** Classification on NDVI graduation for the model polygon, located near Mandalgov.

NDVI	10 сентября 1990 г.		4 сентября 2011 г.	
	Площадь, км <sup>2</sup>	Площадь, %	Площадь, км <sup>2</sup>	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

Доминантные виды растительных сообществ на ключевых участках Среднегобийского модельного полигона представлены в табл. 4. При ее составлении нами были применены следующие принципы: 1) при определении экологических групп растений учтено указание А.А. Горшковой (1982) о необходимости выделения их по одному фактору; 2) в основу выделения экологических групп растений положено их отношение к водному режиму по А.П. Шенникову (1950); 3) эколого-фитоценотический тип растений выделен согласно работе Т.И. Казанцевой (2009).

Анализ метеорологических данных свидетельствует о проявлении в XXI веке в Гоби более сильных засух в летний период, чем в минувшем столетии, что на наш взгляд, является основным фактором дигрессионного тренда гобийской растительности.

### Выводы

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. Методы ДЗЗ, основанные на анализе пространственно-временной вариации биофизических параметров растительности,

позволяют оперативно выявлять участки экологической напряженности, обусловленные деградацией растительного покрова и опустыниванием.

**Таблица 4.** Доминантные виды растительных сообществ на ключевых участках Среднеговийского модельного полигона по данным натурных экспедиционных исследований 2010-2012 гг. **Table 4.** Dominant species of plant communities on the key sites of the Middle Govi model polygon on the base field expedition data 2010-2012.

Наименование растений	Проективное покрытие вида в растительном сообществе, %			Эколого-фитоценотический тип	Экологическая группа
	август 2010 г.	август 2011 г.	август 2012 г.		
Луково-полынно-ковыльковое сообщество с участием караганы Бунге щебнисто-каменистых равнин – гамад (45°40'25"N; 106°17'48"E; h <sub>абс.</sub> =1335 м)					
<i>Allium polyrrhizum</i> Turcz. ex Regel Лук многокорневой	45	54	60	пустынностепной	эуксерофит
<i>Stipa gobica</i> Roshev. Ковыль гобийский	11	0	19	пустынностепной	эуксерофит
<i>Artemisia frigida</i> Willd. Полынь холодная	1	27	15	степной	эуксерофит
<i>Caragana bungei</i> Ledeb. Карагана Бунге	3	9	3	горностепной	эуксерофит
<i>Salsola collina</i> Pall. Солянка холмовая	8	0	0	пустынностепной	эуксерофит
Общее проективное покрытие сообщества, %	18	11	32		
Луково-баглугово-ковыльковое сообщество щебнисто-каменистых равнин – гамад (45°40'32"N, 106°19'06"E, h <sub>абс.</sub> =1328 м)					
<i>Anabasis brevifolia</i> C.A. Mey Ежовник коротколистный	29	11	3	степнопустынный	эуксерофит
<i>Stipa gobica</i> Roshev. Ковыль гобийский	16	22	5	пустынностепной	эуксерофит
<i>Artemisia xerophytica</i> Krasch. Полынь сухорос	2	10	2	пустынностепной	эуксерофит
<i>Artemisia Adamsii</i> Besser Полынь Адамса	0	0	5	степной	эуксерофит
<i>Allium polyrrhizum</i> Лук многокорневой	9	9	60	пустынностепной	эуксерофит
Общее проективное покрытие сообщества, %	28	62	60		
Луково-ковыльно-осоковое сообщество с участием караганы Бунге солончаково-мелкоземистых равнин (45°39'49"N; 106°16'08"E, h <sub>абс.</sub> =1324 м)					
<i>Stipa gobica</i> Roshev. Ковыль гобийский	28	8	9	пустынностепной	эуксерофит
<i>Caragana bungei</i> Ledeb. Карагана Бунге	19	11	11	горностепной	эуксерофит
<i>Achnatherum splendens</i> (Trin.) Nevski Чий блестящий	13	9	9	пустынностепной	ксеромезофит
<i>Allium polyrrhizum</i> Лук многокорневой	13	47	44	пустынностепной	эуксерофит
<i>Carex duriuscula</i> A. Mey. Осока твердовая	0	15	19	степной	эуксерофит
Общее проективное покрытие сообщества, %	23	52	63		

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 натуральных наблюдений.

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аненхонов О.А., Пыхалова Т.Д., Осипов К.И., Бадмаева Н.К., Мункуева М.С., Кривобоков Л.В., Намзалов Б.Б., Сэкулич И.Р., Суткин А.В., Тубанова Д.Я., Тубшинова Д.Б.* 2001. Определитель растений Бурятии. Улан-Удэ: Издательство БНЦ. 670 с.
- Борликов Г.М., Харин Н.Г., Бананова В.А., Татеевич Р.* 2000. Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ. 89 с.
- Волошин А.Л.* 2009. Тренды современных процессов опустынивания земель трансграничного бассейна р. Селенга // Материалы международной научной конференции «Трансграничные территории азиатской части России и сопредельных государств: геоэкологические и геополитические проблемы и предпосылки устойчивого развития». Улан-Удэ: Изд-во БГУ. С. 89-91.
- Горшкова А.А.* 1982. Значение эколого-физиологических методов в исследованиях растительного покрова // Нетрадиционные методы в исследованиях растительности Сибири. Новосибирск: Наука. С. 3-9.
- Грубов В.И.* 1982. Определитель сосудистых растений Монголии. Л.: Наука. 443 с.
- Гунин П.Д., Золотокрылин А.И., Виноградова В.В., Бажа С.Н.* 2004. Динамика состояния растительного покрова Южной Монголии по данным NDVI // Аридные экосистемы. Т. 10. № 24-25. С. 29-34.
- Гунин П.Д., Востокова Е.А.* 2000. Ландшафтная экология. М.: Биоинформсервис. 232 с.
- Гунин П.Д., Микляева И.М., Бажа С.Н., Слемнёв Н.Н., Чердонова В.А.* 2003. Особенности деградации и опустынивания растительных сообществ лесостепных и степных экосистем южного Забайкалья // Аридные экосистемы. Т. 9. № 19-20. С. 7-21.
- Дамбиев Э.Ц., Тулохонов А.К.* 1993. Антропогенное опустынивание в Бурятии // География и природные ресурсы. № 3. С. 60-63.
- Казанцева Т.И.* 2009. Продуктивность зональных растительных сообществ степей и пустынь Гобийской части Монголии. М.: Наука. 336 с.
- Лузян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* 2004. 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. С. 81-88.
- Лузян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е.* 2011. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 8. № 1. С. 190-198.
- Микляева И.М., Гунин П.Д., Слемнёв Н.Н., Бажа С.Н., Факхире А.* 2004. Нарушенность растительности степных экосистем // Аридные экосистемы. Т. 10. № 24-25. С. 35-46.
- Харин Н.Г., Грингоф И.Г.* 2002. Концептуальный подход к использованию вегетационного индекса для оценки деградации засушливых земель // Метеорология и гидрология. № 7. С. 83-93.
- Цыдыпов Б.З., Волошин А.Л., Батуева Д.Ж., Гармаев Е.Ж., Ауржанаев А.А., Чимэддорж Ц.* 2012. Динамика растительного покрова аридной климатической зоны Монголии с помощью индекса вегетации NDVI // Научный журнал Института ботаники АН Монголии. Улан-Батор. № 24. С. 129-135.
- Цыдыпов Б.З., Волошин А.Л., Батуева Д.Ж., Чимэддорж Ц.* 2012. 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. Материалы Международной научной конференции (г. Иркутск, 17-21 сентября 2012 г.). Иркутск: Изд-во института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Т. 2. С. 262-264.
- Шенников А.П.* 1950. Экология растений. М.: Советская наука. 376 с.
- Шовенгердт Р.А.* 2010. Дистанционное зондирование. Модели и методы изображений. М.: Техносфера. 560 с.

- Farr T.G., Kobrick M.* 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data // EOS Trans. AGU. Vol. 81. P. 583-585.
- Kauth R.J., Thomas G.S.* 1976. The tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University of West Lafayette, Indiana. P. 4B 41-51.
- Mongolian statistical yearbook 2009. 2010. Ulaanbaatar: National Statistical Office of Mongolia. 448 p.
- Pike R.J.* 1995. Geomorphometry – progress, practice, and prospect // Zeitschrift fuer Geomorphologie. Suppl. 101. P. 221-238.
- Provisional methodology for desertification assessment and mapping. 1981. Rome: FAO/UNEP. 83 p.

### **SPATIO-TEMPORAL CHARACTERISTICS OF VEGETATION COVER OF ARID AND SEMIARID CLIMATIC ZONES IN MONGOLIA ON THE BASE OF VEGETATION INDEX NDVI**

© 2014 **A.K. Tulokhonov\***, **B.Z. Tsydypov\***, **A.L. Voloshin\***, **D.Zh. Batueva\***, **Ts. Chimeddorj\*\***

*\*Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences  
Russia, 670047 Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6. E-mail: atul@binm.bscnet.ru*

*\*\*Mongolian State University of Agriculture  
Mongolia, 210153 Ulaanbaatar, Zaisan-53. E-mail: gantulaga@yahoo.com*

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 base of Landsat TM imagery are constructed. The full-scale landscape indication of the selected NDVI areas with different values with the step through 0.1 is conducted. This indication is supported by the analysis of vegetation to environmental groups for drought resistance. Almost the entire territory of the emphasized polygons vegetation digression during this period is traced.

The analysis of the time variation of NDVI shows a decrease of its values. This indicates a trend xerophytization already sparse vegetation of Gobi. In the semiarid climatic zone a digression vegetation trend is directly related to heavy load on the pastures.

**Keywords:** desertification, vegetation degradation, arid, semiarid, Landsat, NDVI, landscape indication, euxerophytes.