АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 2 (83), с. 34-42

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 528.852.8

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗАСУШЛИВЫХ ЭКОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ[1]

© 2020 г. Е.Ж. Гармаев*, **, А.А. Аюржанаев*, Б.З. Цыдыпов*, Ж.Б. Алымбаева*, Б.В. Содномов*, С.Г. Андреев*, М.А. Жарникова*, В.С. Батомункуев*, Н. Мандах*, Т.К. Салихов****, *****, А.К. Тулохонов***

**Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН*
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 8. E-mail: aaayurzhanaev@yandex.ru
***Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова*
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, д. 24а. E-mail: garend1@yandex.ru
****Институт географии и геоэкологии АН Монголии*
Монголия, 15170, г. Улаанбаатар, ул. Барун Сэлбэ, д. 15. E-mail: n.mandakh@gmail.com
*****Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева*
Казахстан, 010008, г. Нур-Султан, ул. К. Сатпаева, д. 2. E-mail: salikhov_tk@enu.kz
******Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина*
Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр. Победы, д. 62. E-mail: tuatai_76@mail.ru

Поступила в редакцию 20.05.2019. После доработки 15.06.2019. Принята к публикации 28.06.2019.

Изменение климата и антропогенная деятельность на территории Республики Бурятия усугубляют процессы опустынивания и деградации земель. Проведено зонирование территории Бурятии по индексу аридности с использованием климатических данных высокого пространственного разрешения ENVIREM. На основе сопряженного анализа временных серий вегетационного индекса NDVI AVHRR, метеорологических рядов реанализа NCEP/NCAR и натурных полевых исследований проведена количественная оценка долговременных изменений растительного покрова в засушливых и гумидных зонах. Получены карты пространственного распределения линейных трендов NDVI и осадков за 1982-2015 гг. с выделением влажного (1982-1999 гг.) и засушливого периодов (2000-2015 гг.). Во влажный период положительные тренды NDVI наблюдаются почти для всей территории республики, тогда как засушливый период характеризуется значительным ростом отрицательных трендов вегетационного индекса. Положительная корреляция гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова и NDVI наблюдается для межгорных остепненных котловин, отрицательная – для лесных ландшафтов. Динамика NDVI степной растительности в большей степени зависит от осадков, динамика NDVI лесов – от температуры. Лесовосстановление, постпирогенная сукцессия, закустаривание залежей и другие обуславливают рост NDVI. Отрицательные тренды NDVI характерны для остепненных экосистем в условиях снижения количества осадков и для лесной растительности, подверженной вырубкам и пожарам.

Ключевые слова: Бурятия, аридные территории, растительность, NDVI, ГТК, осадки, тренд, реанализ, дендрохронология.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10093

В России динамика климата последних десятилетий отражается в учащении экстремальных

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 17-05-01059 «Природно-климатические тренды Байкальского региона», № 17-29-05083 «Ретроспективная оценка водности бассейна озера Байкал по данным дендроклиматического анализа», № 18-55-91047 «Сравнительная оценка динамики и характера опустынивания на приграничной территории России и Монголии», № 19-55-53026 «Оценка экологических рисков и контрмеры по их преодолению для трансграничных районов России, Монголии и Китая») и Госзадания по теме НИР БИП СО РАН «Трансформация природной среды в зоне влияния Великого Шелкового и Чайного пути в условиях глобализации и изменения климата» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук IX.137.2.

явлений, таких как засухи, лесные и степные пожары, наводнения, селевые сходы и др. (Второй оценочный доклад …, 2014). Наряду с перечисленными природными явлениями на опустынивание оказывает влияние деятельность человека, проявляющаяся, к примеру, в вырубке лесов, перевыпасе скота, заражении почв в результате техногенных аварий и т.д. Растительный покров является индикатором происходящих климатических сдвигов, и исследование его изменений – актуальная задача не только для оценки, но и прогнозирования ресурсного потенциала регионов России. Картографическое отображение этих изменений является необходимым информационным базисом при планировании и реализации мер по смягчению негативного воздействия климатических изменений на растительность.

Несмотря на большое количество публикаций по проблемам опустынивания, недостаточно полно представлены работы по количественной оценке процессов деградации ландшафтов с использованием методов и данных дистанционного зондирования Земли. В ряде исследований для оценки долговременной динамики растительного покрова используются спутниковые данные высокого временного разрешения. Наиболее часто применяются вегетационные индексы, получаемые с сенсоров MODIS, SPOT Vegetation и AVHRR с частотой съемки не менее 1 раза в сутки. Хотя изображения, получаемые с данных систем, имеют низкое пространственное разрешение, они пригодны для построения непрерывных временных рядов в отличие, например, от спутников серии Landsat, которые имеют на порядок более высокое пространственное разрешение, но весьма редкую периодичность съемки (1 раз в 16 суток). Эти временные серии используются для расчета трендов NDVI, определения фенологических дат, детектирования пожаров, рубок леса и др. Глобальные оценки тенденций растительного покрова по NDVI и их взаимосвязи с климатическими факторами приведены во множестве работ (Золотокрылин, 2003; De Jong et al., 2011; Fensholt, Proud, 2012; Zhao et al., 2018; Pan et al., 2018). Обширен географический охват и региональных исследований (Tulokhonov et al., 2014; Мандах и др., 2016). В России также немало работ посвящено анализу временных серий NDVI. К примеру, выявлены разнонаправленные тренды для горной тайги и хвойных лесов в Красноярском крае, которые имеют существенную связь с температурой поверхности (Шевырногов и др., 2012). Динамика тундровой растительности также имеет заметную связь с температурой воздуха и обусловлена локальными физико-географическими условиями (Варламова, Соловьев, 2014; Елсаков, 2017). Состояние степных сообществ засушливых зон России обусловлено в первую очередь вариациями увлажнения и антропогенными факторами (Золотокрылин и др., 2015; Zharnikova et al., 2016; Тельнова, 2017).

Негативной трансформации наземных геосистем Республики Бурятия (РБ) способствуют аридность, суровость и континентальность климата с высокими годовыми и суточными амплитудами температур с неравномерным по сезонам года характером ветрового режима и выпадения атмосферных осадков, преобладающий во многих местах региона легкий гранулометрический состав почв и подстилающих пород, большая расчлененность рельефа, наличие больших площадей оголенных и слабозакрепленных растительностью земель и т.д. Засушливость климата на рассматриваемой территории в совокупности с нерациональным природопользованием приводит к существенной уязвимости наземных экосистем к негативным природно-антропогенными процессам, таким как деградация почвенно-растительного покрова, эрозия и дефляция почв, вторичное засоление и т.п. Негативные процессы усиливаются в связи с периодическими тенденциями к аридизации в климатической системе, следствием чего является не только неблагоприятное изменение условий увлажнения, но и снижение продуктивности пашен и пастбищ, что в свою очередь отражается на и так достаточно слабой экономике республики.

Изучение негативной реакции наземных экосистем, проявляющейся в ухудшении их состояния, определение причин засух, опустынивания и деградации земель, а также их картографическое отображение является важным источником в планировании, реализации и оценке мер по борьбе с опустыниванием.

Целью работы является оценка и анализ долговременных изменений растительного покрова Республики Бурятия на основе вегетационного индекса NDVI и натурных полевых исследований.

Материалы и методы

Территория исследования. Республика Бурятия расположена в глубине азиатского материка. Она значительно приподнята над уровнем моря, имеет неоднородный рельеф, длительное историческое

развитие современных геосистем. Континентальность и суровость климата в Бурятии выражены гораздо резче, чем в одноширотной полосе территории России и соседних областях (кроме Забайкальского края). Характерны суровая продолжительная зима и короткое, но теплое лето. Территория относится к регионам распространения многолетней мерзлоты. В связи со сложной орографией и резко дифференцированными режимами и типами местных климатов предельно сгущены и сконцентрированы рубежи многих провинций (рис. 1) и секторов ботанико-географического районирования, зональность природных систем снивелирована.

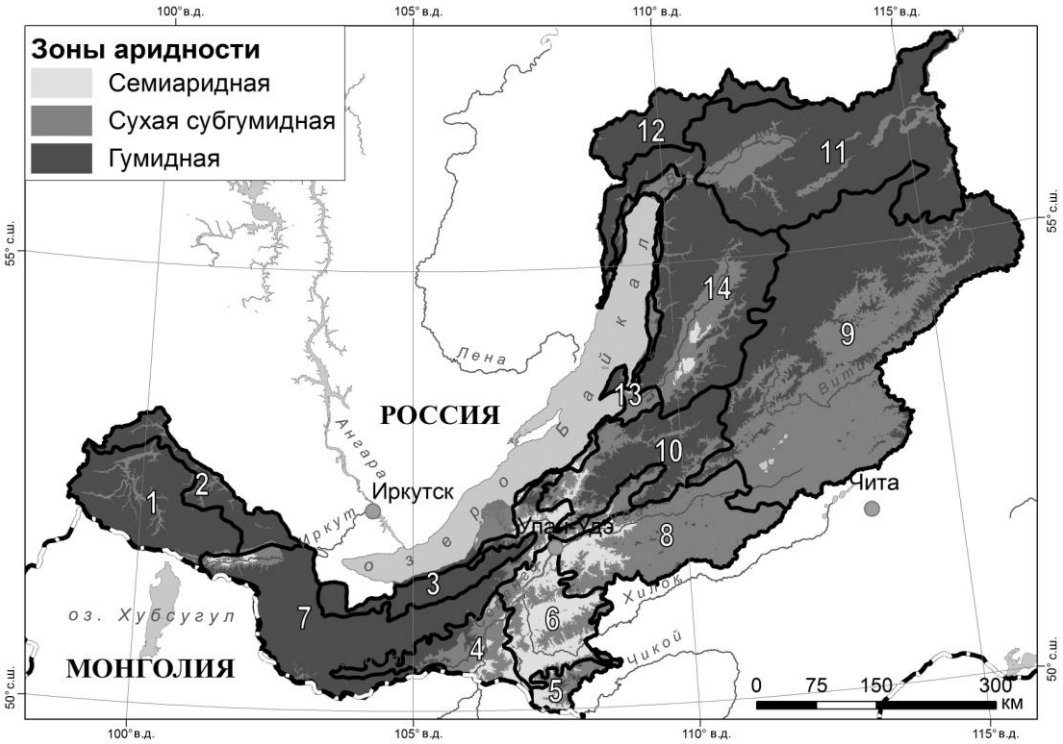


Рис. 1. Карта климатических зон РБ по индексу аридности и провинций физико-географических областей. *Условные обозначения:* пунктирная линия – государственная граница, сплошная линия – границы провинций. ПРОВИНЦИИ ЮЖНО-СИБИРСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ: 1 – Окинско-Тункинская горнотаежно-гольцовая, 2 – Окинско-Китойская гольцово-горнотаежная, 3 – Хамар-Дабанская гольцово-горнотаежная, 4 – Селенгинско-Орхонская остепненно-среднегорная, 5 – Чикойско-Ингодинская котловинно-горнотаежная, 6 – Селенгинско-Хилокская остепненно-среднегорная, 7 – Джидинско-Нижнеселенгинская котловинно-горнотаежная, 8 – Хилокско-Удинская остепненно-среднегорная. ПРОВИНЦИИ БАЙКАЛО-ДЖУГДЖУРСКОЙ ГОРНОТАЕЖНОЙ ОБЛАСТИ: 9 – Витимская таежно-плоскогорная, 10 – Улан-Бургасская горнотаежная, 11 – Западно-Забайкальская горнотаежно-гольцовая, 12 – Северо-Байкальская таежно-нагорная, 13 – Байкальская озерная котловина, 14 – Прибайкальская гольцово-горнотаежная (Михеев, Ряшин, 1977).

Растительность – ключевой элемент в ландшафтной организации Бурятии, она представляет собой сложноустроенную систему, сформировавшуюся на протяжении длительного исторического развития. Долговременные климатические колебания (в сторону то потепления, то похолодания) приводили к изменению соотношения леса и степи: возрастание экстремальности природных условий вызывало сокращение площадей лесов. В котловинах, на их днищах и инсолируемых склонах, преобладающее развитие получили безлесные степные природные комплексы, перемежающиеся с лесными участками в условиях расчлененного рельефа. Межгорные понижения, выполненные рыхлыми четвертичными отложениями, находятся под влиянием засушливых условий полупустынного характера. Представлены все основные экосистемы Северного полушария: сообщества степей, лесов, болот, лугов, высокогорных тундр и альпийских пустошей с уникальными флористическими комплексами. Основные площади в республике занимают преимущественно

светлохвойные леса; там, где климат отличается высокой влажностью, распространены темнохвойные пихтовые и кедровые леса. В котловинах, вдоль долин крупных рек, располагаются небольшие по площади, но интересные по составу и генезису сообщества степей. Наиболее выражены настоящие (разнотравно-дерновинно-злаковые и сухие дерновинно-злаковые), криоксерофитные высокогорные, луговые, опустыненные, сазовые и псаммофитные степи, разнообразные по составу, структуре и строению (Дамбиев, Валова, 2015).

Территория Забайкалья (Республика Бурятия и Забайкальский край) по сравнению с Северным полушарием имеет существенно более высокие темпы роста (в 2.5 раза) приземной температуры воздуха (Обязов, 2015). Длительные вариации количества осадков имеют выраженную цикличность (Андреев и др., 2016), при этом последняя засушливая фаза началась в 1999 г. (Обязов, Смахтин, 2012). Изменение климата усугубляет процессы деградации земель, которые широко распространены в степных ландшафтах Бурятии (Дамбиев, Валова, 2015), где антропогенная составляющая опустынивания проявляется сильнее в силу большей хозяйственной освоенности территорий. Лесные экосистемы также подвержены природно-антропогенному воздействию – в регионе наблюдается высокая повторяемость лесных пожаров, вкупе с коммерческой деятельностью ведется незаконная вырубка леса. Необходимо отметить, что перечисленные факторы (в частности, засуха последних лет) привели к проблеме с нарушением уровенного режима оз. Байкал, включенного в список Всемирного природного наследия ЮНЕСКО (Гармаев и др., 2017; Dabaeva et al., 2016).

Данные дистанционного зондирования. Работа основана на анализе известного вегетационного индекса NDVI, который характеризует количество зеленой фитомассы и рассчитывается как отношение разности отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра к их сумме. Исходными данными послужили временные ряды NDVI спектрорадиометра AVHRR серии спутников NOAA (Tucker et al., 2005). Низкое пространственное и высокое временное разрешение позволяют охватывать обширные площади и извлекать максимум информации для анализа динамики растительного покрова. Продукт сформирован из максимальных значений вегетационного индекса за 15-дневный период – таким образом минимизируется влияние атмосферы на качество снимка. Пространственное разрешение изображений – 8 км. В работе использованы снимки, полученные в период вегетации растительного покрова с 1985 по 2015 гг.

Климатические и метеорологические данные. Для пространственного сопоставления трендов NDVI и метеопараметров использованы данные реанализа NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996*). У*становление границ засушливых земель проведено по широко признанному индексу аридности, известному также как индекс влажности – отношение годового количества осадков к потенциальной эвапотранспирации (Золотокрылин, 2002). Для расчетов использован набор метеорологических данных ENVIREM с пространственным разрешением 1 км^2, усредненных за период с 1961 по 1990 гг. (Title, Bemmels, 2018).

Рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК) по Г.Т. Селянинову – интегральный показатель влагообеспеченности территории, отношение десятикратной суммы осадков в миллиметрах за период с температурами выше 10°С к сумме температур в градусах за то же время. Данные о температуре и осадках представлены NOAA/Climate Prediction Center (Physical Sciences Division, 2019). Данные являются частью Глобальной телекоммуникационной системы и привязаны к регулярной сетке с размером ячейки 0.5 углового градуса. Рассчитаны годовые значения ГТК для периода с 1982 по 2015 гг., проведен корреляционный анализ временных рядов годовых ГТК и максимальных значений годовых NDVI (рис. 2).

Обработка данных. Проведена предварительная обработка данных, заключающаяся в восстановлении отсутствующих значений и сглаживании временного ряда NDVI (Sodnomov et al., 2018). Некорректные значения NDVI заменены его средним значением за весь период. Для сглаживания временных рядов использован фильтр Савицкого-Голея. Удаление сезонной компоненты временных рядов проведено с помощью скользящего среднего. Полученные после предварительной обработки данные использованы для построения линейной регрессионной модели и расчета тренда. Расчет трендов осадков и NDVI проведен для двух периодов: влажного – с 1982 по 1999 гг., засушливого – с 2000 по 2015 гг. Данное разделение проведено именно так, поскольку в Забайкалье смена с влажной на засушливую фазу увлажненности приходится на рубеж тысячелетия (Обязов, Смахтин, 2012).

Валидация спутниковых данных. При оценке изменений растительного покрова использованы данные полевых геоботанических и дендрохронологических исследований, снимки сверхвысокого разрешения сервиса Google Earth и данные аэрофотосъемки.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена полученная нами карта климатических зон РБ за действующий базовый климатический период. Выявлено, что общая площадь засушливых зон составляет 128358 км^2 или 38.6% площади РБ (без оз. Байкал). Площадь семиаридной зоны составляет 19823 км^2 (6%), сухой субгумидной – 108535 км^2 (32.6%). Семиаридная зона распространена в Селенгинско-Хилокской, Хилокско-Удинской, Селенгинско-Орхонской остепненно-среднегорных провинциях, с небольшими проявлениями в Джидинско-Нижнеселенгинской котловинно-горнотаежной, Улан-Бургасской горнотаежной, Прибайкальской гольцово-горнотаежной, в пределах межгорных котловин в долинах рек. В них же и в Витимской таежно-плоскогорной, Западно-Забайкальской горнотаежно-гольцовой провинциях, а также в Байкальской озерной котловине, окаймляющей восточное и северное побережья оз. Байкал, распространена сухая субгумидная зона. При этом даже наличие крупного водоема не оказывает большого влияния на климат региона – будучи орографически изолированным, побережье оз. Байкал теряет черты морского климата в удалении уже на несколько километров от уреза воды (рис. 1).

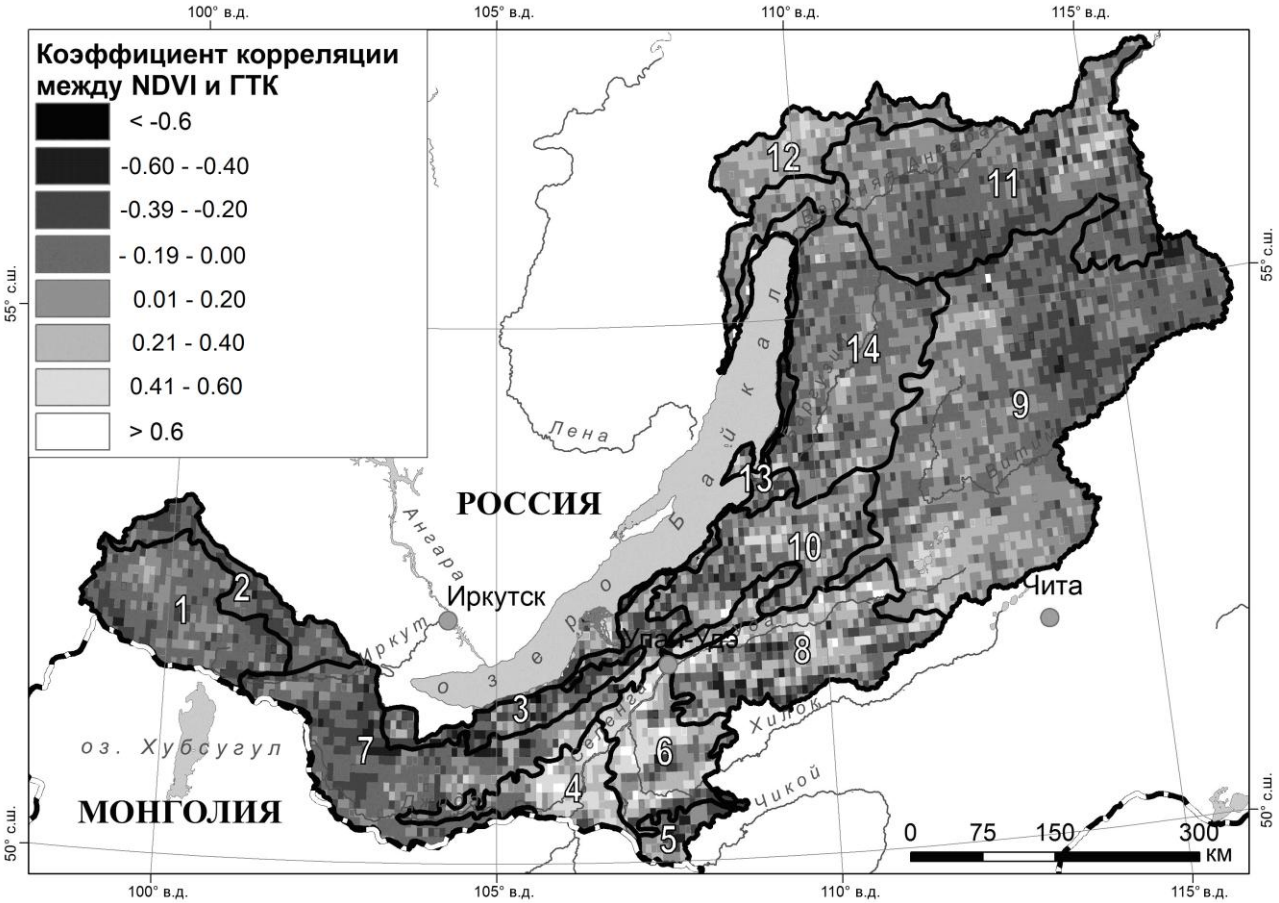
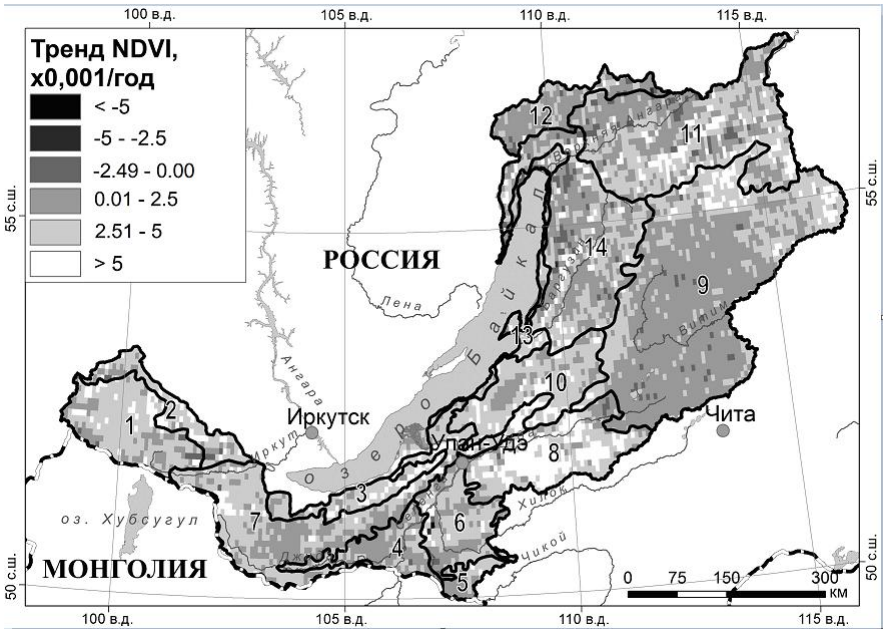


Рис. 2. Корреляция среднегодовых ГТК и NDVI.

В результате анализа пространственного распределения трендов NDVI в РБ выявлено, что во влажный период как для гумидной, так и для засушливых зон преобладают положительные значения трендов – до 98% (рис. 3а). В засушливый период высокие темпы роста отрицательных трендов NDVI выявлены в семиаридной и сухой субгумидной зонах (до 35 раз), что показывает их наибольшую чувствительность к режиму увлажнения. За весь период (с 1982 по 2015 гг.) наибольшие негативные трансформации растительного покрова характерны для семиаридной зоны (40.6%), для гумидной зоны этот показатель равен 26.3%. Нулевые тренды приурочены к земной поверхности без растительности – водным объектам и гольцовому поясу (табл. 1).

Тренды осадков в РБ распределены неравномерно: влажный период характеризуется

увеличением количества осадков в аридных районах РБ, кроме большей части Витимской таежно-плоскогорной провинции, а также в Западно-Забайкальской, Прибайкальской, Окино-Тункинской и Окино-Китойской гольцово-таежных провинциях (рис. 4а); в засушливый период картина меняется на противоположную (рис. 4б). Снижение осадков происходит в Улан-Бургасской горнотаежной и Северо-Байкальской таежно-нагорной провинциях с минимумом на стыке Селенгинско-Хилокской и Хилокско-Удинской остепненно-среднегорных провинций. Хребет Хамар-Дабан – область, в которой наблюдаются наибольшие и наименьшие значения трендов осадков при среднегодовых уровнях 800-1000 мм. Режим увлажнения данной горной системы, находящейся вблизи основных засушливых зон РБ, является своеобразным индикатором изменения уровня осадков в регионе.



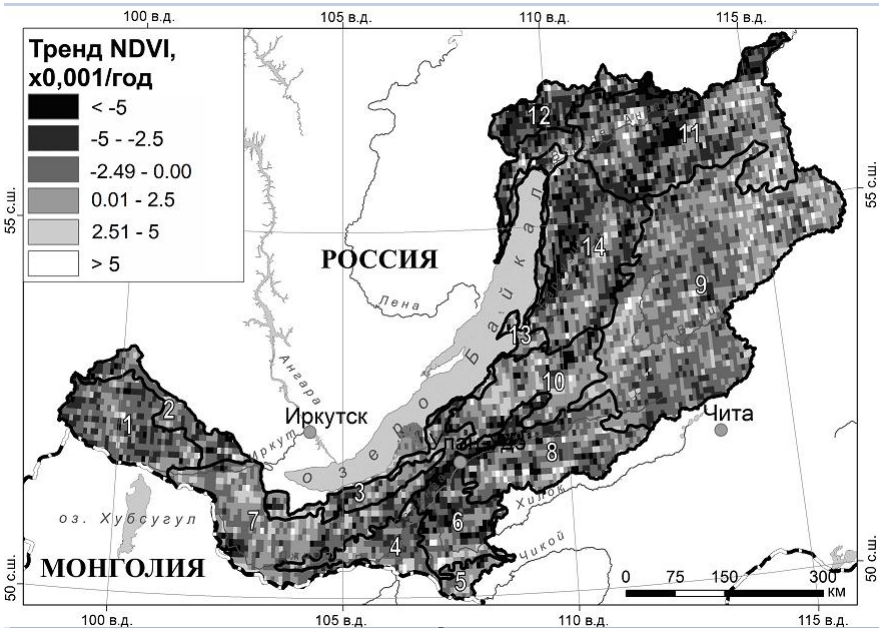


Рис. 3. Тренды NDVI в Республике Бурятия: а) влажный период (1982-1999 гг.), б) засушливый период (2000-2015 гг.).

Следует осторожно относиться к интерполированным данным реанализа, поскольку метеостанций в РБ мало и расположены они преимущественно в речных долинах, а осадки в горах остаются незафиксированными. Это подтверждается тем, что устойчивой связи между атмосферными осадками и речным стоком, формируемым в горных областях, не обнаружено (Гармаев, 2010).

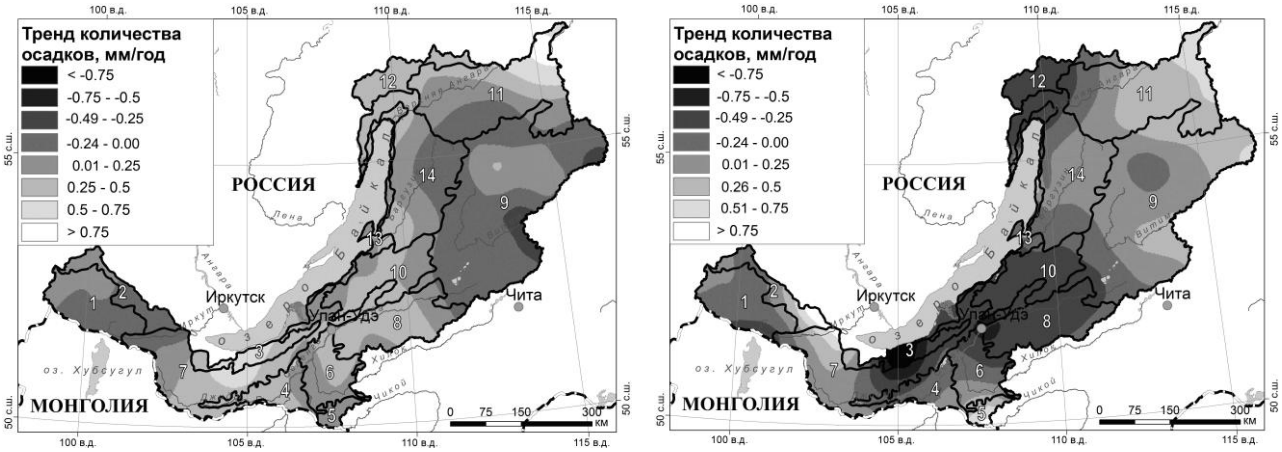
Влажный период отмечен почти повсеместным ростом NDVI. Менее интенсивный рост вегетационного индекса наблюдается в сухой субгумидной зоне Витимской таежно-плоскогорной провинции, где тренд осадков имеет слабый отрицательный наклон. В засушливый период сплошные зоны с отрицательным трендом NDVI характерны для семиаридных и сухих субгумидных степных ландшафтов в межгорных котловинах – это долины рр. Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, Уда и Джида. В Витимской таежно-плоскогорной провинции негативные тренды NDVI наблюдаются помимо лесной растительности в травяно-моховых болотах

и вейниковых лугах (рис. 3б).

Таблица 1. Доля положительных и отрицательных трендов NDVI засушливых и гумидных земель Республики Бурятия, %.

Периоды	Тренд NDVI	Семиаридная	Сухая субгумидная	Гумидная
Влажный период (1982-1999 гг.)	Положительный	98.1	97.8	96.8
	Отрицательный	1.9	1.6	2.4
	Нулевой	0	0.6	0.8
Засушливый период (2000-2015 гг.)	Положительный	42.2	43.9	40.6
	Отрицательный	57.8	55.5	58.9
	Нулевой	0	0.6	0.5
Весь период (1982-2015 гг.)	Положительный	59.4	67.0	72.9
	Отрицательный	40.6	32.4	26.3
	Нулевой	0	0.6	0.8

Интересно, что Байкальское нагорье (Северо-Байкальская таежно-нагорная провинция) с гумидным климатом также характеризуется негативными трендами NDVI. Уменьшение осадков, масштабные пожары (1998, 2006 гг.) вкупе со старательской деятельностью стабилизируют тренд в негативном значении. Несмотря на слабые положительные тренды осадков в Прибайкальской гольцово-горнотаежной провинции, тренды NDVI на большей части горного массива имеют отрицательные значения. Также в большей степени разнонаправленность трендов NDVI и осадков характерна для лесной растительности. Здесь влияние на динамику NDVI оказывает температура. В результате анализа пространственной корреляции рядов среднегодовых значений ГТК и NDVI выявлено, что положительная связь наблюдается для межгорных котловин, где распространены степные сообщества, а отрицательная корреляция – для лесных ландшафтов (рис. 2). Таким образом, осадки в большей степени влияют на NDVI степной растительности, а температура – на NDVI лесной. Проведенные дендрохронологические исследования на хр. Хамар-Дабан выявили, что корреляция NDVI и индекса радиального прироста хвойных пород на «сухом» южном макросклоне выше (до 0.78), чем на влагообеспеченном северном. На южном макросклоне хребта корреляционная связь уменьшается с высотой, обратная картина прослеживается на северном склоне. На южном склоне с высотой увеличивается доля представителей темнохвойной тайги, северный же макросклон закономерно представлен темнохвойной тайгой. В дальнейшем необходимо учитывать спектральную отражательную способность светлохвойной и темнохвойной тайги.



а) б)

Рис. 4. Тренды количества осадков в Республике Бурятия: а) влажный период (1982-1999 гг.), б) засушливый период (2000-2015 гг.).

По данным полевых исследований выявлено, что причинами развития положительных значений NDVI является смена коренных сосновых лесов на производные мелколиственные, лесовосстановление, интенсивное закустаривание степных участков и зарастание сельскохозяйственных пашен. Сельскохозяйственные земли, представляющие собой разновременные залежи, на которых доминируют лапчатковые популяции, дают положительные значения; такие же значения наблюдаются у залежей на стадии закустаривания и зарастания ильмовниками. Реже фиксируется сукцессионная смена сообществ вторичными рудеральными видами. Залежи на последних стадиях сукцессий, близкие к восстановлению первичных сообществ, имеют слабоотрицательные тренды.

Отрицательные значения трендов распространены главным образом на каменистых, холоднополынно-лапчатковых, змеевковых и пырейно-твердоватоосоковых сообществах на среднепологих склонах, испытывающих недостаток увлажнения (многолетняя засуха, понижение уровня грунтовых вод, прекращение мелиоративных мероприятий и т.д.), а также подверженных антропогенному воздействию (весенне-осенние палы, перевыпас скота). На некоторых участках отмечается кратковременное увеличение надземной фитомассы после пирогенных воздействий, но не вносящее изменение в направление тренда. При анализе постпирогенных процессов следует учитывать характер и продолжительность пожаров, которые определяют скорость сукцессионных процессов.

Воздействие же лесных пожаров на ландшафт более значительно и часто сопровождается каскадным эффектом. Лесные массивы, подвергшиеся пожарам до 2000-х гг., характеризуются положительными значениями трендов, обусловленных постпирогенными восстановительными сукцессиями на поздних стадиях. Пожары, прошедшие с 2000-х гг. по настоящее время, как правило, дают отрицательные значения трендов, поскольку на данных территориях распространены ранние стадии вторичных сукцессий (бурьяны, закустаривание). Характерной особенностью пространственного распределения трендов NDVI являются их максимальные и минимальные значения на участках с восстановлением и вырубкой леса, соответственно.

Выводы

Засушливые зоны распространены почти во всех физико-географических провинциях в пределах РБ. Их общая площадь составляет 128358 км^2 или 38.6% площади РБ (без оз. Байкал), из них семиаридная зона занимает 6% территории РБ, сухая субгумидная – 32.6%.

Рассчитаны тренды количества осадков и NDVI для влажного (1982-1999 гг.) и засушливого периодов (2000-2015 гг.). Примечателен установленный факт смены знака трендов осадков на противоположный почти на всей территории РБ в выбранные временные интервалы. Так, если во влажный период наблюдалось увеличение количества осадков в аридных зонах, то в засушливый период – снижение.

Установлено, что во влажный период (1982-1999 гг.) для всей территории республики наблюдаются положительные значения трендов NDVI, достигающие 98%. Сухой период по сравнению с влажным характеризуется более чем 30-кратным ростом отрицательных трендов NDVI в засушливых зонах, что показывает высокую чувствительность этих зон к режиму увлажнения. Весь период отмечен преобладанием положительных трендов NDVI в гумидной зоне (72.9% территории), для территорий семиаридной и сухой субгумидной зон этот показатель составляет 59.4 и 67.0% соответственно.

Положительные тренды NDVI приурочены к заброшенным пашням, залежам, используемым как сенокосные угодья и пастбища, а также к постпирогенным лесным массивам, участкам лесовосстановления. Отрицательные тренды NDVI характерны для остепненных экосистем и лесной растительности, подверженной вырубкам и пожарам. Климатически обусловленная динамика NDVI степной растительности в большей степени зависит от осадков, динамика NDVI лесов – от температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев С.Г., Гармаев Е.Ж., Аюржанаев А.А., Батоцыренов Э.А., Гуржапов Б.О. 2016. Реконструкция водности рек и исторические хроники экстремальных природных явлений Байкальской Азии // Научное обозрение. № 5. С. 35-38.

Варламова Е.В., Соловьев В.С. 2014. Исследование вариаций индекса NDVI тундровой и таежной зон Восточной Сибири на примере территории Якутии // Оптика атмосферы и океана. Т. 27. № 10. С. 891-894.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014. М.: Росгидромет. 1009 с.

Гармаев Е.Ж. 2010. Сток рек бассейна озера Байкал. Улан-Удэ: Издательство БГУ. 272 с.

Гармаев Е.Ж., Цыдыпов Б.З. Дабаева Д.Б., Андреев С.Г., Аюржанаев А.А., Куликов А.И. 2017. Уровенный режим озера Байкал: ретроспектива и современное состояние // Водное хозяйство России. № 2. С. 4-18.

Дамбиев Э.Ц., Валова Е.Э. 2015. Степные ландшафты Бурятии. Улан-Удэ: Издательство БГУ. 200 с.

Елсаков В.В. 2017. Пространственная и межгодовая неоднородность изменений растительного покрова тундровой зоны Евразии по материалам съемки MODIS 2000-2016 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14. № 6. С. 56-72.

Золотокрылин А.Н. 2002. Индикатор аридности климата // Аридные экосистемы. Т. 8. № 16. С. 47-69.

Золотокрылин А.Н. 2003. Климатическое опустынивание. М.: Наука. 246 с.

Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Виноградова В.В. 2015. Тренды увлажнения и биофизических параметров засушливых земель Европейской части России за период 2000-2014 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 12. № 2. С. 155-161.

Мандах Н., Цогтбаатар Ж., Даш Д., Хөдөлмөр С. 2016. Система индикаторов и оценка опустынивания в Монголии // Аридные экосистемы. Т. 22. № 1 (66). С. 99-111. [*Mandakh N., Tsogtbaatar J., Dash D., Khudulmur S.* 2016. The system of indicators and assessment of desertification in Mongolia // Arid Ecosystems. Vol. 22. No. 1 (66). P. 80-102]

Михеев В.С., Ряшин В.А. 1977. Ландшафты юга Восточной Сибири (карта, М 1:1 500 000). М.: ГУГК. 4 л.

Обязов В.А. 2015. Региональный отклик приземной температуры воздуха на глобальные изменения (на примере Забайкалья) // Доклады Академии наук. № 4. С. 459.

Обязов В.А., Смахтин В.К. 2012. Многолетний режим стока рек Забайкалья: анализ и фоновый прогноз // Водное хозяйство России. № 1. С. 63-72.

Тельнова Н.О. 2017. Выявление и картографирование многолетних трендов NDVI для оценки вклада изменений климата в динамику биологической продуктивности агроэкосистем лесостепной и степной зон Северной Евразии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14. № 6. С. 97-107.

Шевырногов А.П., Чернецкий М.Ю., Высоцкая Г.С. 2012. Многолетние тренды NDVI и температуры на юге Красноярского края // Исследование Земли из космоса. № 6. С. 77-87.

Dabaeva D.B., Tsydypov B.Z., Ayurzhanaev A.A., Andreev S.G., Garmaev Y.Zh. 2016. Peculiarities of Lake Baikal water level regime // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 48. No. 012014. 10 p.

De Jong R., de Bruin S., de Wit A., Schaepman M.E., Dent D.L. 2011. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series // Remote Sensing of Environment. Vol. 115. P. 692-702.

Fensholt R., Proud R.P. 2012. Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends – Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series // Remote Sensing of Environment. Vol. 119. P. 131-147.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Roy J., Dennis J. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bulletin of American Meteorological Society. Vol. 77. P. 437-470.

Pan N., Feng X., Fu B., Wang S., Jie F., Pan S. 2018. Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends // Remote Sensing of Environment. Vol. 214. P. 59-72.

Physical Sciences Division. 2019 [Электронный ресурс https://www.esrl.noaa.gov/psd (дата обращения 14.02.2019)].

Sodnomov B.V., Ayurzhanaev A.A., Tsydypov B.Z., Garmaev E.Zh. 2018. Algorithm of assessment of the MODIS NDVI long-term variations // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. Vol. 11 (1). P. 61-68.

Title P.O., Bemmels J.B. 2018. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling // Ecography. Vol. 41. P. 291-307.

Tucker C.J., Pinzon J.E., Brown M.E., Slayback D.A., Pak E.W., Mahoney R., Vermote E.F., El Saleous N. 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data // International Journal of Remote Sensing. Vol. 26. P. 4485-4498.

Tulokhonov A.K., Tsydypov B.Z., Voloshin A.L., Batueva D.Zh., Chimeddorj Ts. 2014. Spatio-Temporal Characteristics of Vegetation Cover of Arid and Semiarid Climatic Zones in Mongolia on the Basis of Vegetation Index NDVI // Arid Ecosystems. Vol. 4. No, 2. P. 61-68.

Zhao L., Dai A., Dong B. 2018. Changes in global vegetation activity and its driving factors during 1982-2013 // Agricultural and Forest Meteorology. Vol. 249. P. 198-209.

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