

Анализ сезонной динамики NDVI естественной растительности Заволжья Волгоградской области

А.С. Рулев¹, С.Н. Канищев², С.С. Шинкаренко¹

¹*Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт
г. Волгоград, 400062, Россия*

E-mail: vnialmi@bk.ru

²*Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, 400062, Россия*

E-mail: gik@volsu.ru

В статье изложены результаты исследований сезонной динамики нормализованного вегетационного индекса (NDVI) естественной травянистой растительности пастбищ Волгоградского Заволжья. Сезонные значения NDVI (март – ноябрь) получены на основе многозональных космических снимков Landsat 8 OLI. В 2013–2014 годах проведены полевые исследования, на основе которых определен ключевой участок, отражающий особенности растительного покрова района исследований с учетом сложившейся системы животноводства. Установлено два пика NDVI в течение вегетационного сезона: первый – в период развития эфемеров и эфемероидов (май), второй – в конце лета и начале осени, когда вегетирует галофитная растительность. При этом максимум NDVI не соответствует времени наибольшей накопленной фитомассы, а минимум не означает отсутствия растительности. В начале вегетационного сезона наибольший NDVI у растительности в отрицательных формах мезо- и микрорельефа, в конце сезона – наоборот, на ровных участках, в середине лета разница между значениями индекса в понижениях рельефа и ровных участках минимальна. Корреляционный анализ показал сильную отрицательную реакцию NDVI на температуру и положительную – на влажность воздуха. Статистический анализ рядов вегетационного индекса позволил получить регрессионные уравнения сезонных изменений NDVI, выведены функции первых производных этих уравнений, которые характеризуют скорость изменения NDVI в течение года. Показано, что после летних степных пожаров растительность восстанавливается только в следующем году даже при значительном количестве дождей в следующие за пожаром месяцы.

Ключевые слова: естественная растительность, фитоценозы, пастбищное природопользование, NDVI, Landsat OLI, сезонная динамика, Волгоградская область, полупустыня, Заволжье

Одобрена к печати: 11.08.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-113-123

Введение

Заволжье расположено на востоке Волгоградской области и является регионом с наиболее жесткими природными условиями на данной территории. Среднегодовое количество осадков составляет 280 мм при испаряемости до 1000 мм в год. Среднегодовая температура воздуха 6,9°C, амплитуда абсолютных максимальных температур около 80°C (Сажин, Кулик, Васильев, 2010). Засоление, ветровая эрозия только усугубляют и без того сложные условия для хозяйственной деятельности.

В регионе развито сельское хозяйство: значительные площади заняты пастбищными землями, богарной и орошаемой пашней. Однако агроэкосистемы в таких аридных условиях являются очень уязвимыми. В настоящее время свыше половины пастбищ сильноосбитые и очень сильноосбитые, большая часть земель, отведенных под богарную пашню, малопродуктивна (урожайность зерновых всего 5–6 ц/га), вследствие чего не возделывается (Рулев, 2007). Подобная картина характерна для всего Северо-Западного Прикаспия. Сезонной и многолетней динамике пашни, в том числе посевов многолетних трав, посвящено достаточно много работ (Терехин, 2015а, 2015б), динамика естественной растительности освещена гораздо хуже (Золотокрылин и др., 2013). Исследование динамических процессов изменения состояния естественных пастбищ является неотъемлемой частью оценки территории, а применение результатов на практике позволит более эффективно

управлять хозяйственной деятельностью, планировать научно-обоснованные мелиоративные мероприятия и оптимизировать животноводческое производство.

Материалы и методы

Для оценки динамики естественной травянистой растительности в районе исследования применялись методы автоматизированного дешифрирования космических снимков Landsat 8 OLI за 2013 год (19 апреля, 5, 12, 28 мая, 22 июня, 8, 24 июля, 16 августа, 10 сентября, 12 октября, 20 ноября) и 2014 год (28 марта, 6 апреля, 8, 24, 31 мая, 25 июня, 2, 18, 27 июля, 3, 12 августа, 4, 29 сентября, 15, 31 октября). Выбор источника данных обусловлен пестротой растительности и комплексностью почвенного покрова, в таких условиях целесообразно использование снимков с разрешением 30 метров на пиксель. Применение данных более низкого разрешения, например NDVI MODIS, не обеспечивает достоверного отражения состояния естественной растительности в аридных условиях (Золотокрылин и др., 2013), более высокое разрешение приведет к существенному разбросу данных, что затруднит статистический анализ. Расчет значений NDVI и их усреднение производились в программном комплексе ENVI 4.0, атмосферная коррекция выполнена по алгоритму FLAASH, калибровка снимков выполнена стандартными утилитами ENVI согласно файлам коррекции Landsat. Геоинформационная обработка спутниковых снимков и растровых композитов NDVI осуществлялась в программе MapInfo 11, статистический анализ произведен в Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 6.0, уравнения и производные получены с использованием пакета MathCad 15.

В ходе натурных исследований в 2013–2014 гг. в опустыненных степях Волгоградского Заволжья произведено 180 геоботанических описаний с укусами на определение биологической продуктивности и профилирование рельефа с помощью нивелира. В результате для Волгоградского Заволжья определен наиболее репрезентативный полигон, отражающий типичные зональные растительные сообщества региона и характерное для района пастбищное природопользование – окрестности поселка Красная Деревня Палласовского района Волгоградской области (49°07'58,82" с.ш., 46°29'21,48" в.д.).

Результирующие значения NDVI растительности ключевого участка получены усреднением значений индекса для пробных площадей с различными пастбищными нагрузками (от 4,0 до 0,2 усл. гол. КРС/га). Площадь ключевого участка 32 км², NDVI рассчитан для 35636 точек в пределах участка.

Результаты и их обсуждение

Полевые геоботанические исследования показали, что в регионе (рис. 1) преобладают пастбища с доминированием полыней (*Artemisia lericheana* Weber ex Stechm, *A. pauciflora*

Weber), типчака (*Festuca valesiaca* Gaudin), ковылей Лессинга и сарептского (*Stipa lessingiana* Trin. & Rupr., *S. Sareptana* Becker), мятлика луковичного (*Poa bulbosa* L.), кохии простертой (*Kochia prostrata* (L.) Schrad). Проективное покрытие растительности составляет 20–60% в зависимости от почв, рельефа и пастбищных нагрузок. В западинах сформированы типчаково-ковыльные сообщества с участием пырея (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) и житняка (*Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) Schult.) с общим проективным покрытием до 80%. Всего на пастбищах обнаружено 148 видов растений из 33 семейств.

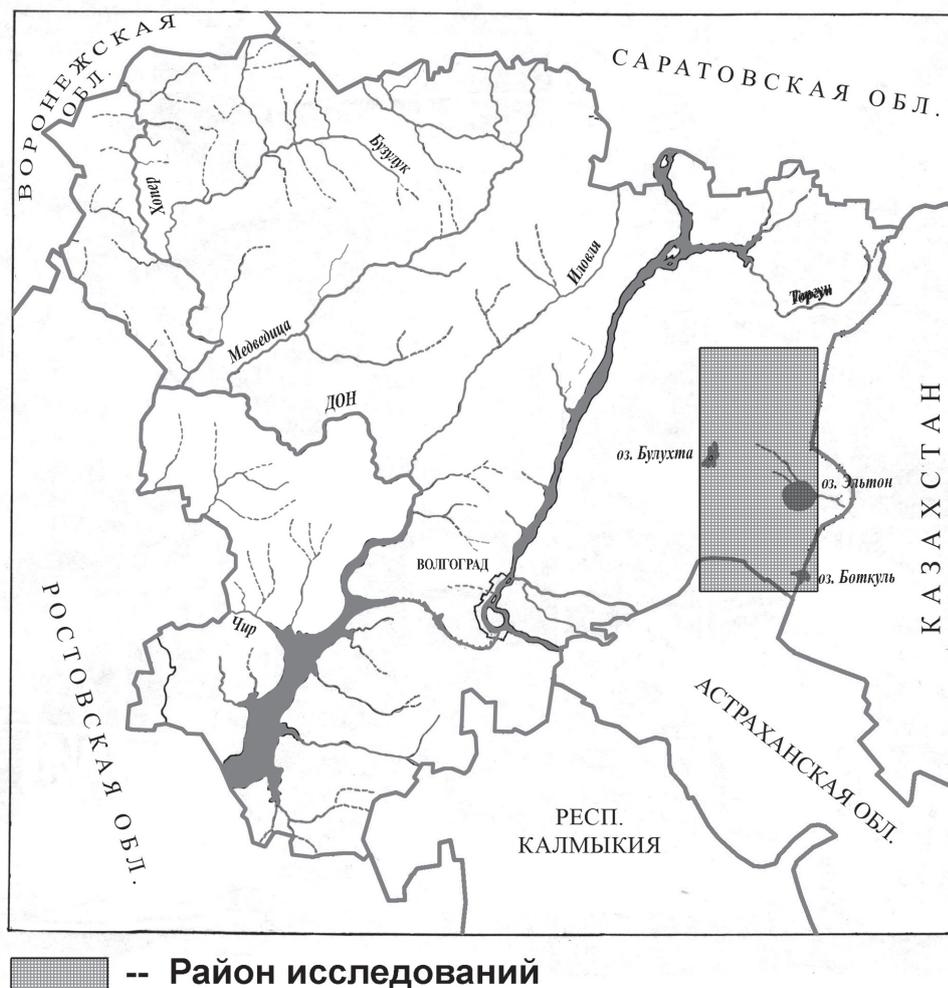


Рис. 1. Местоположение района исследований

Распределение NDVI ключевого участка показано на рис. 2. График сезонной динамики нормализованного вегетационного индекса показан на рис. 3. На графике представлена расчетная кривая NDVI модельного пастбища.

Для начального периода вегетационного сезона (апрель) характерны высокие показатели NDVI при значительном разбросе его значений. Максимум приходится на понижения микрорельефа, а минимум отмечен на сбитых участках вблизи поселка. К концу мая разброс значений NDVI уменьшается, наблюдается снижение индекса и в понижениях, и на окружающей их территории из-за стравливания эфемерной растительности скотом.

В течение всего сезона выделяется сильно сбитаая скотом растительность в окрестностях поселка Красная Деревня (рис. 2). Минимум NDVI приходится на вторую половину лета, когда злаковые травы закончили развитие, а полукустарнички еще не вступили в фазу активного роста. Осенние дожди вызывают вторичную вегетацию эфемероидных злаков, однако дерновинные злаки в понижениях вторично не вегетируют, в связи с этим наблюдается «инвертированное» весеннему распределение NDVI в экотопах отрицательного и плосковолнистого рельефа.

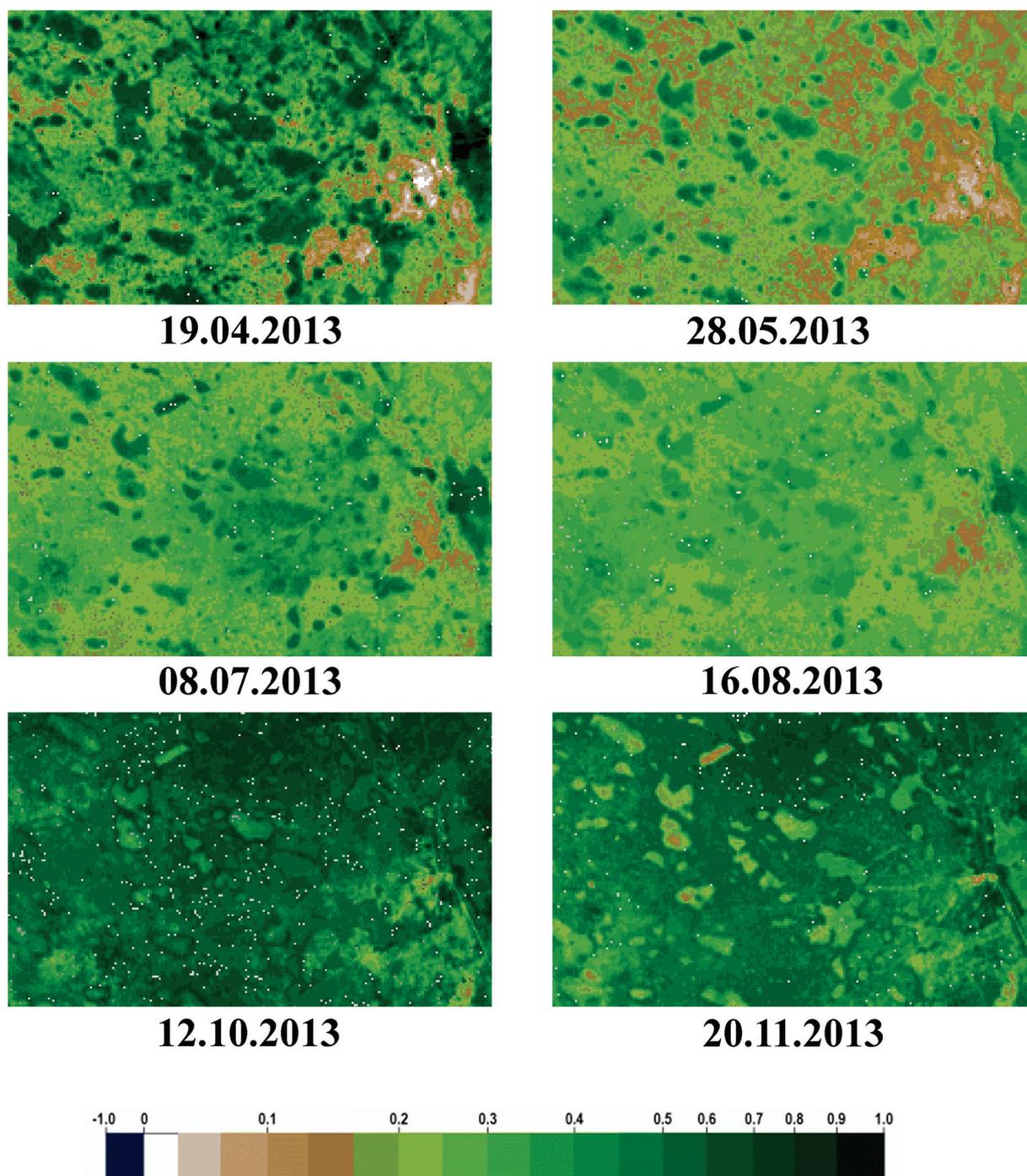


Рис. 2 Распределение значений NDVI на ключевом участке

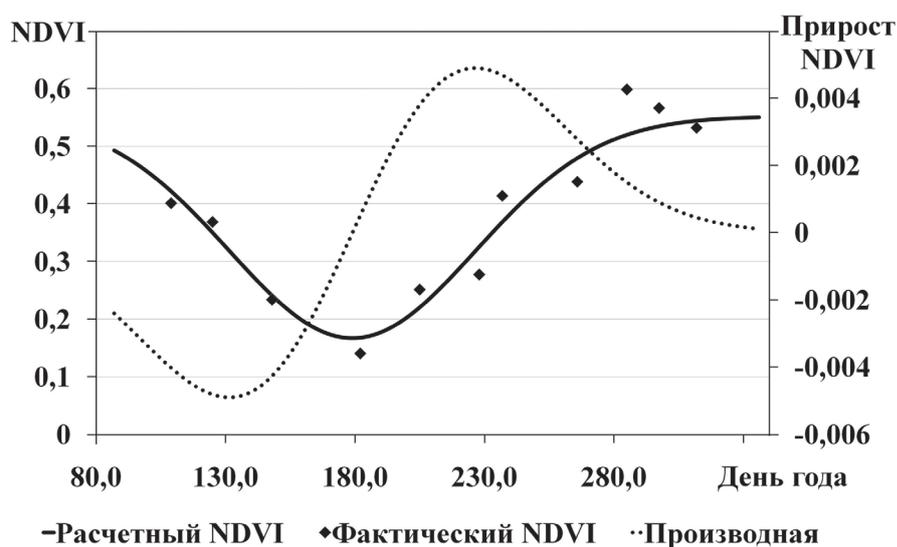


Рис. 3 Сезонная динамика NDVI в 2013 году (усредненные данные)

Поскольку NDVI связан с фотосинтетической активностью фитомассы, он позволяет оценивать только вегетирующую растительность. Тем не менее, несмотря на сильную корреляционную связь между NDVI, проективным покрытием и продуктивностью, низкие значения индекса не обязательно означают отсутствие или деградацию растительного покрова (Шинкаренко, Канищев, 2016). Весной нарастает до 70% растительной массы, к концу мая в период плодоношения злаков и в первой половине лета в период бутонизации полыней отмечается максимум продуктивности растительности, который сохраняется на протяжении летнего сезона (Джапова, 2007), соответственно максимум NDVI не совпадает с максимумом продуктивности.

Помимо растительности, на NDVI оказывает влияние почвенный покров (Конюшкова, 2010). На отражение почвами световой энергии влияет их увлажнение, структура, пористость. Влажность почв – переменная величина, зависящая от количества осадков, температуры воздуха и почвы и ряда других факторов. Разная степень увлажнения влияет на спектральную отражательную способность почв, в том числе в красном и ближнем инфракрасном диапазонах, которые являются определяющими для NDVI. При увеличении влажности почвы отражающая способность снижается, увеличивается доля поглощенной световой энергии (Орлов, Суханова, Розанова 2001), безусловно, это сказывается и на NDVI. Отсюда разница между ранневесенними значениями индекса в понижениях, имеющих дополнительное водное питание за счет перераспределения атмосферных осадков и таяния снега, и значениями NDVI окружающего понижения пространства. Из-за большей влажности почвы в понижениях в начале вегетационного сезона условия для развития растительности более благоприятны, чем на окружающей ровной поверхности, вследствие чего формируются более продуктивные типчаково-ковыльные сообщества, которым соответствуют большие значения NDVI. По мере усыхания растительности разница NDVI в отрицательных формах микро- и мезорельефа и на ровных участках уменьшается и к середине лета практически сходится на нет.

Сезонный ряд значений вегетационного индекса аппроксимируется функцией:

$$NDVI(t) = 0,385e^{\frac{(179-t)^2}{4515,84}} + 0,552 ,$$

где t – день года, $80 < t < 300$ (21 марта – 27 октября), $R^2 = 0,88$.

Первая производная полученной функции позволяет оценить суточные изменения значений NDVI:

$$\frac{dNDVI(t)}{dt} = 1,7(t - 179)e^{\frac{(179-t)^2}{4515,84}} \times 10^{-4} .$$

Подставив вместо t порядковый номер дня в году, получим суточное изменение NDVI. Максимальная скорость изменения индекса характерна для середины мая, когда вегетацию заканчивают эфемеры, в это время индекс убывает, и для второй половины августа, когда активно вегетирует разнообразная галофитная растительность, что вызывает рост значений NDVI.

На *рис. 4* показан сезонный ход климатических показателей – суточной суммы осадков, среднесуточной температуры и влажности воздуха. Эти показатели определяют динамику продуктивности растительности (Джапова, 2007). По левой оси ординат отложены значения среднесуточной температуры и суточные суммы осадков, по правой – значения среднесуточной относительной влажности воздуха.

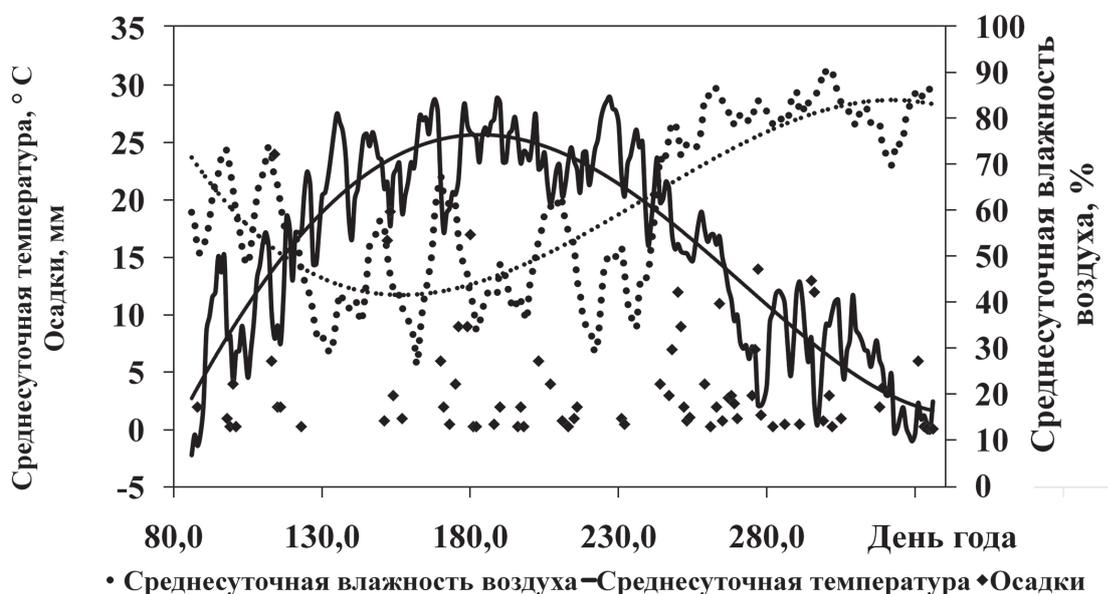


Рис. 4. Сезонная динамика суточной суммы осадков, среднесуточной температуры и влажности воздуха в 2013 году (по данным метеостанции п. Эльтон)

Отмечены значимая и высокая отрицательная реакция растительности на увеличение температуры и положительная – на влажность воздуха (*табл. 1*). Рост температуры ухуд-

шает вегетационные условия, что характерно для всего юга Европейской части России (Золотокрылин, Виноградова, Титкова, 2005). Оценить корреляционную связь рядов NDVI и суточных сумм осадков не представляется возможным из-за дискретности последних. Косвенно с величиной осадков и температурой в районе исследований связана относительная влажность воздуха – это непрерывная во времени величина, для которой характерна устойчивая положительная связь с NDVI, что свидетельствует о ее благоприятном влиянии на вегетационные условия.

Таблица 1. Корреляционная матрица NDVI и среднесуточных показателей температуры и влажности воздуха

Показатель	NDVI	Среднесуточная температура	Среднесуточная влажность воздуха
NDVI	1	-0,86	0,79
Среднесуточная температура	-0,86	1	-0,71
Среднесуточная влажность воздуха	0,79	-0,71	1

Помимо гидротермических условий на фитомассу влияет и состояние растительности в предшествующий год. Так, значительная фитомасса осенью 2013 года сказалась на состоянии исследуемого пастбища весной 2014 года. Максимум значений NDVI в этот год пришелся на конец апреля – начало мая (рис. 5). Это было вызвано бурным развитием эфемероидов и однолетников после зимовки, начавших вегетацию еще осенью предыдущего года. Максимальная скорость изменения индекса отмечена в середине мая, когда период вегетации эфемероидов и эфемеров подошел к концу, и их стремительное усыхание сказалось на снижении значений NDVI.

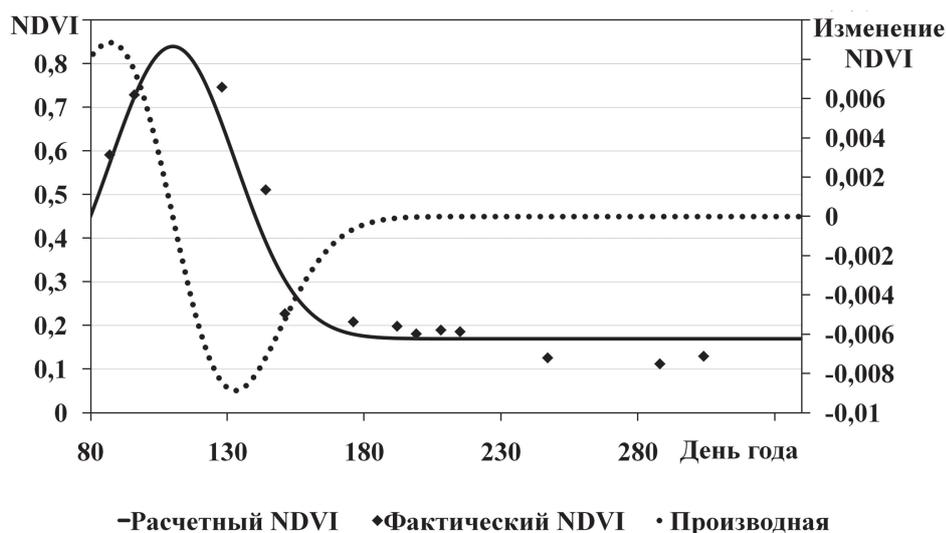


Рис. 5. Сезонная динамика NDVI в 2014 году (усредненные данные)

Исследуемая территория практически ежегодно подвергается воздействию степных пожаров. За последние полтора десятилетия растительность горела на площади свыше

четыре тысяч квадратных километров, причем 15% территории пройдены огнем не менее шести раз за этот период. В конце июня 2014 года случился один из самых масштабных пожаров, огнем было охвачено свыше двух тысяч квадратных километров (Шинкаренко, 2015а). На графике (рис. 5) расчетная кривая NDVI в этой точке выходит на плато, несмотря на значительное количество летних осадков (рис. 6). При этом вегетационный индекс больше нуля, что не соответствует нулевым значениям индекса для оголенной почвы. Это может быть связано с тем, что после степных пожаров остаются дерновины злаков, пепел и сажа, которые влияют на значения NDVI.

Функция изменения NDVI и ее производная в этом случае имеют следующий вид ($R^2=0,95$):

$$NDVI(t) = 0,67e^{\frac{(t-110)^2}{1043,29}} + 0,17;$$

$$\frac{dNDVI(t)}{dt} = 6,4(110 - t)e^{\frac{(t-110)^2}{1043,29}} \times 10^{-4}.$$

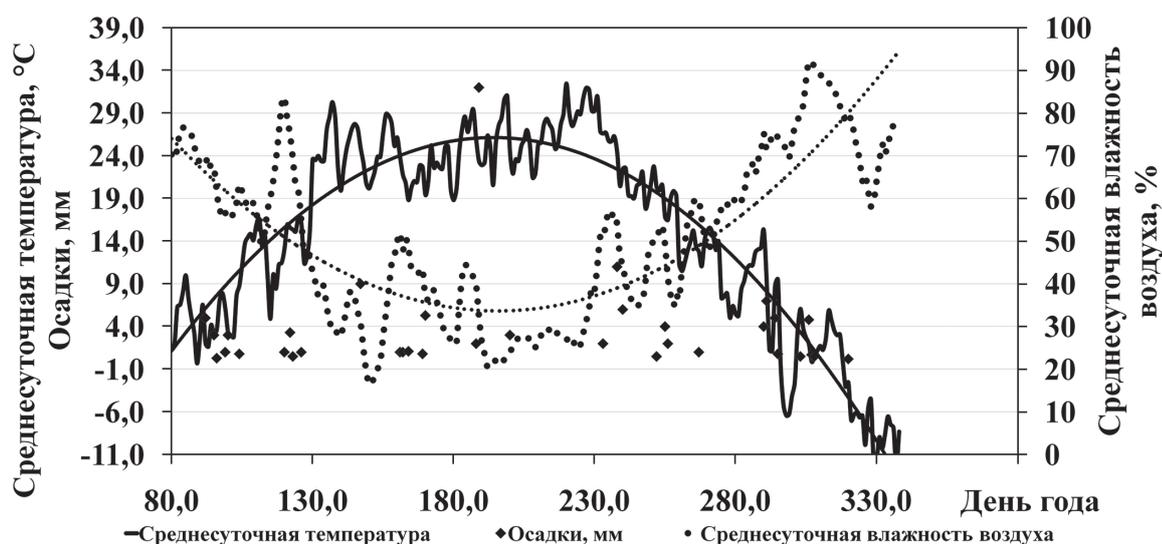


Рис. 6. Сезонная динамика суточной суммы осадков, среднесуточной температуры и влажности воздуха в 2014 году (по данным метеостанции п. Эльтон)

Выводы

В результате исследований определены закономерности сезонной динамики нормализованного вегетационного индекса на пастбищах изучаемого района. Продуктивность, проективное покрытие, видовой состав и аспект растительности меняются в течение сезона, поэтому необходимо учитывать фенофазу и особенно тщательно подбирать материалы ДЗЗ для анализа и оценки многолетних изменений состояния фитоценозов, а камеральной обработке космических снимков обязательно должен предшествовать этап полевого эталонирования (Кулик, 2004).

Максимальный NDVI не соответствует по срокам максимальной продуктивности естественной полупустынной растительности, так же как и минимум не является индикатором отсутствия растительного покрова. Этот факт необходимо учитывать при анализе и обработке готовых наборов данных нормализованного вегетационного индекса. То же самое касается и сумм NDVI за вегетационный сезон или какие-либо его отрезки, поскольку масштабный пожар способен сделать эти данные малопригодными. По этим же причинам при оценке территорий на основе вегетационных индексов стоит разделять сельскохозяйственные угодья на трансформированные (пашня и мелиорированные пастбища) и естественные пастбища и сенокосы.

Многолетняя динамика NDVI в большей степени определяется метеоусловиями года и в меньшей – величиной антропогенных нагрузок (Шинкаренко, 2015б), это же можно сказать и о сезонной динамике вегетационного индекса. Установлена устойчивая положительная реакция NDVI растительности на влажность воздуха и сильная отрицательная на температуру воздуха. В годы с малоснежной зимой (например, 2014 год) максимум NDVI отмечается в первой половине мая, для середины мая характерны максимальные темпы изменения индекса. Степные пожары – наиболее деструктивный фактор динамики состояния растительности. После летних палов даже при наличии осадков растительность практически не восстанавливается до следующего вегетационного сезона. В годы с достаточным увлажнением наблюдается два пика NDVI – в мае и в сентябре–октябре. На эти же периоды приходится максимальный темп изменения вегетационного индекса.

Разработанные математические модели сезонной динамики NDVI могут быть использованы для анализа особенностей развития растительных сообществ, что позволит оптимально планировать пастбищные нагрузки в регионе для предотвращения деградации и опустынивания ландшафтов.

Литература

1. *Джапова Р.Р.* Динамика растительного покрова Ергенинской возвышенности и Прикаспийской низменности в пределах республики Калмыкия: дис. докт. биол. наук. М., 2007. 288 с.
2. *Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Титкова Т.Б.* Экстремальные ситуации в зональных растительных формациях России: оценка и сценарии // Проблемы региональной экологии. 2005. № 5. С. 81–91.
3. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Уланова С.С., Федорова Н.Л.* Наземные и спутниковые исследования продуктивности пастбищ республики Калмыкии с различной степенью деградации растительных сообществ // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19. № 4 (57). С. 31–39.
4. *Конюшкова М.В.* Картографирование почвенного покрова и засоленности почв солонцового комплекса на основе цифрового анализа космической съемки (на примере Джаныбекского стационара): дис. канд. с.-х. наук. М., 2010. 250 с.
5. *Кулик К.Н.* Агроресомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
6. *Орлов Д.С., Суханова Н.И., Розанова М.С.* Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. М.: Издательство МГУ, 2001. 176 с.
7. *Рулев А.С.* Ландшафтно-географический подход в агроресомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. 160 с.
8. *Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И.* Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 306 с.
9. *Терехин Э.А.* Анализ многолетней динамики вегетационного индекса для посевных площадей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015а. Т. 12. № 6. С. 48–58.
10. *Терехин Э.А.* Сезонная динамика NDVI посевов многолетних трав и ее использование для типизации их посевов на территории Белгородской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015б. Т. 12. № 1. С. 9–17.

11. Шинкаренко С.С. Пространственно-временной анализ степных пожаров Приэльтонья на основе данных ДЗЗ // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2015а. № 1. С. 87–94.
12. Шинкаренко С.С. Анализ динамики пастбищных ландшафтов в аридных условиях на основе нормализованного вегетационного индекса (NDVI) // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015б. № 1. С. 110–114.
13. Шинкаренко С.С., Канищев С.Н. Фитомелиоративное картографирование пастбищ Волгоградского Заволжья на основе спектрально-аналитической съемки // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы I Международной научно-практической Интернет-конференции. Соленое Займище, 2016. ФГБНУ «ПНИИАЗ» С. 420–426.

Analysis of NDVI seasonal dynamics of natural vegetation of Low Trans-Volga in Volgograd Region

A.S. Rulev¹, S.N. Kanishev², S.S. Shinkarenko¹

¹All-Russia Agroforest Reclamation Institute, Volgograd 400062, Russia

E-mail: vnialmi@bk.ru

²Volgograd State University, Volgograd 400062, Russia

E-mail: gik@volsu.ru

The article presents the results of normalized difference vegetation index (NDVI) of seasonal dynamics of Volgograd Trans-Volga region natural grassland vegetation pasture. Seasonal NDVI value (March – November) is based on multizone satellite images Landsat 8 OLI. Field studies in 2013–2014 enabled to determine an index plot representing special aspects of the vegetation cover of the area, in which characteristic of the established animal husbandry system are studied. There are two NDVI peaks during the growing season: the first peak is during the period of ephemeral and ephemeroïd growth (May), the second peak is in the end of summer – beginning of autumn during the growth of halophytic vegetation. The NDVI maximum doesn't correspond to the time of the most accumulated biomass, and its minimum doesn't mean absence of vegetation. At the beginning of the growing season, the vegetation in negative mesoreliefs and negative microreliefs has the biggest NDVI, and at the end of the season it is on the flat regions, in the middle of summer the difference between NDVI value in topographic lows and flat regions is minimal. The correlation analysis has indicated a negative NDVI reaction to temperature and positive reaction to air humidity. As a result of the statistic analysis of vegetation index series, we received the regression equations of seasonal NDVI changes, which revealed the functions of first order derivatives of this equations that characterize the rate of NDVI change during the year. It is indicated that after range fires, the vegetation renews only the next year even with considerable amount of rains during the next months after the fire.

Keywords: natural vegetation, phytocoenoses, pastoral environmental management, NDVI, Landsat OLI, seasonal dynamics, Volgograd Region, semi-desert, Trans-Volga

Accepted: 11.08.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-113-123

References

1. Dzhapova R.R. *Dinamika rastitel'nogo pokrova Ergeninskoï vozvysheñnosti i Prikaspijskoï nizmenñnosti v predelakh respubliki Kalmykiya: dis. dokt. biol. nauk* (Dynamics of vegetation in Ergeny and the Caspian depression within the Republic of Kalmykia: syn. doct. biol. sci. thesis), Moscow, 2007, 288 p.
2. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Titkova T.B. Ekstremal'nye situatsii v zonal'nykh rastitel'nykh format-siyakh Rossii: otsenka i stsenarii (Extreme situations in zonal vegetation formations of Russia: assessment and scenario), *Problemy regional'noi ekologii*, 2005, No. 5, pp. 81–91.
3. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Ulanova S.S., Fedorova N.L. Nazemnyye i sputnikovyye issledovaniya produktivnosti pashchich respubliki Kalmykii s razlichnoi stepen'yu degradatsii rastitel'nykh soobshchestv (Terrestrial and satellite investigation of pasture productivity of Kalmykia with different degree of vegetation degradation), *Aridnye ekosistemy*, 2013, Vol. 19, No. 4 (57), pp. 31–39.
4. Konjushkova M.V. *Kartografirovaniye pochvennogo pokrova i zasolenñosti pochv solonchovogo kompleksa na osnove tsifrovogo analiza kosmicheskoi s'emki (na primere Dzhanybeksogo statsionara): dis. kand. s.-h. nauk* (Mapping of soil and salinity solonetz complex based on the digital analysis of satellite imagery (by an example of Dzhanybek): syn. cand. agrical. sci. thesis), Moscow, 2010, 250 p.

5. Kulik K.N. *Agrolesomeliorativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya otsenka aridnykh landshaftov* (Agroforestry mapping and phytoecological evaluation of arid landscapes), Volgograd: VNIALMI, 2004, 248 p.
6. Orlov D.S., Suhanova N.I., Rozanova M.S., *Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' pochv i ikh komponentov* (The spectral reflectance of the soils and their components), Moscow, Izdatel'stvo MGU, 2001, 176 p.
7. Rulev A.S. *Landshaftno-geograficheskii podkhod v agrolesomelioratsii* (Landscape and geographical approach in agroforestry), Volgograd: VNIALMI, 2007, 160 p.
8. Sazhin A.N., Kulik K.N., Vasil'ev Ju.I. *Pogoda i klimat Volgogradskoi oblasti* (Weather and climate in Volgograd Region), Volgograd: VNIALMI, 2010, 306 p.
9. Terehin Je.A. Analiz mnogoletnei dinamiki vegetatsionnogo indeksa dlya posevnykh ploshchadei (Analysis of vegetation index long-term dynamics for crop areas) *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 48–58.
10. Terehin Je.A. Sezonnaya dinamika NDVI posevov mnogoletnikh trav i ee ispol'zovanie dlya tipizatsii ikh posevov na territorii Belgorodskoi oblasti (NDVI seasonal dynamics of perennial grasses and its use for classification of their crops in the Belgorod region), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 9–17.
11. Shinkarenko S.S. Analiz dinamiki pastbishchnykh landshaftov v aridnykh usloviyakh na osnove normalizovannogo vegetatsionnogo indeksa (NDVI) (Analysis of arid pasture landscape dynamics based on normalized difference vegetation index (NDVI)), *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2015, No. 1. pp. 110–114.
12. Shinkarenko S.S. Prostranstvenno-vremennoi analiz stepnykh pozharov Priel'ton'ya na osnove dannykh DZZ (The spatial and temporal analysis of steppe fires in Lake Elton area based on RSD), *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11: Estestvennyye nauki*, 2015, No. 1, pp. 87–94.
13. Shinkarenko S.S., Kanishhev S.N. Fitomeliorativnoe kartografirovaniye pastbishch Volgogradskogo Zavolzh'ya na osnove spektrozonal'noi kosmicheskoi s'emki (Phytomeliorative mapping of pastures of Low Trans-Volga region based on multispectral satellite imagery), *Sovremennoe ekologicheskoe sostoyaniye prirodnoi sredy i nauchno-prakticheskie aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya*, (Contemporary state of the environment and scientific-practical aspects of rational nature management), Proc. 1st All-Russia Internet Conference, Solenoe Zaimishche, 2016, FGBNU «PNIAZ», pp. 420–426.