

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-182-185

ВНУТРИСЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗЕЛЕННОЙ ФИТОМАССЫ ГОРНО-ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАПОВЕДНИКА «ШАЙТАН-ТАУ» (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**INTRASEASONAL DYNAMICS OF PHYTOMASS IN MOUNTAIN FOREST-STEPPE LANDSCAPES OF THE "SHAITAN-TAU" RESERVE (THE SOUTHERN URALS)****Шлюпикова М.М.**

Shlyupikova M.M.

e-mail: masha.97sh@gmail.com

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Аннотация. Статья описывает результаты классификации типов внутрисезонной динамики зеленой фитомассы горно-лесостепных ландшафтов заповедника «Шайтан-Тау» (Южный Урал). Объект исследования – степное плато в пределах заповедника «Шайтан-Тау». Средствами программ Statistica 7., ArcGIS 10.3.1. рассчитаны показатели фитопродукционного функционирования ландшафта: отклонения внутрисезонных приращений от фоновых значений, мера нестабильности градаций отклонений, разновидности внутрисезонного хода зеленой фитомассы. Проверены гипотезы о причинах внутренних различий в приращениях вегетационного индекса NDVI между сроками космосъемки в пределах теплого периода. Установлено 4 класса внутрисезонной динамики зеленой фитомассы, распределение которых в пределах плато определяется позиционными факторами.

Abstract. The article describes the results of classifying the types of intra-seasonal dynamics of green phytomass in the mountain forest-steppe landscapes of the "Shaitan-Tau" Reserve (Southern Urals). The object of study is the steppe plateau within the "Shaitan-Tau" reserve. By means of programs Statistica 7., ArcGIS 10.3.1. indicators of phytoproductive functioning of the landscape were calculated: deviations of intraseasonal increments from background values, measure of instability of gradations of deviations, varieties of intraseasonal variation of green phytomass. Hypotheses about the causes of internal differences in the increments of the vegetation index NDVI between the periods of satellite imagery within the warm period were tested. Four classes of intraseasonal dynamics of green phytomass have been established, the distribution of which within the plateau is determined by positional factors.

Ключевые слова: NDVI, индекс Шеннона, классы динамики, горно-лесостепной ландшафт, степное плато, заповедник «Шайтан-Тау», Южный Урал

Keywords: NDVI, Shannon index, dynamics classes, mountain forest-steppe landscape, steppe plateau, "Shaitan-Tau" reserve, Southern Urals

Введение. Цель исследования – выявить пространственные различия внутрисезонной динамики зеленой фитомассы степного плато в пределах горно-лесостепных ландшафтов заповедника «Шайтан-Тау» (Южный Урал). Задачи исследования: оценить повторяемость градаций приращений NDVI между сроками относительно средних фоновых значений, пространственное разнообразие приращений фитомассы, выявить классы внутрисезонной динамики, оценить вклад позиционных факторов в пространственное варьирование внутрисезонной динамики. Территория исследования включает в себя горно-лесостепные ландшафты заповедника «Шайтан-Тау».

Материалы и методы. Объектом исследования выступает степное плато в пределах заповедника «Шайтан-Тау». Данный заповедный участок располагается на южной окраине лесных и лесостепных южно-уральских низкогорий [4]. «Шайтан-Тау» – весьма большой массив почти неизменных ландшафтов широколиственных лесов и горных степей Европейской части России [2].

Для решения поставленных задач использованы программы Statistica 7, ArcGIS 10.3.1. Материалы исследования включают в себя 51 космоснимок Landsat 5 и 8. Разрешение данных снимков составляет 30 м. Период исследования охватывает сезоны с апреля по октябрь, с 1999 по 2020 – е гг. Количество пикселей в пределах степного плато, для которых определялись характеристики динамики фитомассы составляет 1708.

Рассмотрим пошаговый ход работы в программе Statistica, где произведены расчеты различных показателей динамики зеленой фитомассы. В качестве косвенного индикатора зеленой фитомассы выступает индекс NDVI, рассчитываемый по формуле:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, Red – отражение в красной области спектра [3].

Рассчитаны приращения NDVI между всеми возможными парами сроков в пределах вегетационного периода каждого года, затем проведена стандартизация приращений NDVI. Стандартные отклонения приращений NDVI перекодированы в 5 градаций относительно среднего значения: 1) более, чем на 1,5 STD (среднеквадратического отклонения), ниже среднего; 2) отклонение на 0,5 – 1,5 STD ниже среднего; 3) флуктуация в рамках фонового поведения фитомассы (0,5 STD в обе стороны от среднего); 4) смещение на 0,5 – 1,5 STD выше среднего; 5) отклонение более чем на 1,5 STD выше среднего приращения [1].

Мера нестабильности типов динамики для каждого пикселя рассчитана по формуле Шеннона:

$$H = - \sum p_i \cdot \log_2 p_i,$$

где H – мера нестабильности градаций приращений NDVI; p_i – вероятность (повторяемость) i -ого события (в нашем случае – каждой градации приращения NDVI [5]).

По совокупности стандартизованных приращений за все пары сроков методом главных компонент были рассчитаны значения взаимонезависимых факторов динамики, отражающие сезонные явления фитопродукционного процесса (интенсивность весеннего нарастания фитомассы, интенсивность летнего уменьшения, фторичный осенний пик вегетации и др.). Факторные значения использованы для выделения четырех классов внутрисезонной динамики приращений NDVI (кластерный анализ, метод к-средних).

Метод линейного мультирегрессионного анализа применен для исследования влияния позиционных факторов на распространение каждого типа динамики (градации приращений) NDVI и каждого класса внутрисезонного хода фитомассы. К позиционным факторам относятся: расстояния до бровки склона, до ближайшего лесного и кустарникового массивов, лесистость и закустаренность в окрестности, радиусом от 90 до 330 м.

Результаты. Построена карта преобладающих градаций приращений NDVI (далее по тексту – типы динамики) (рис. 1). Первый тип динамики не является преобладающим, наблюдается локально. Второй тип динамики преобладает на землях, где после прекращения распашки в 2002 года – доминирует кострец безостый. Третий тип динамики характерен для степной части плато, не распаханной в течение более длительного периода. Данная градация приращения NDVI обусловлена доминированием ковыля перистого, ковыля красивейшего. Четвертый тип динамики приурочен к окраинам степного плато. Пятый тип динамики тяготеет к северному узкому участку степного плато. Что может быть обусловлено соседством лесных массивов, отсутствием распашки.

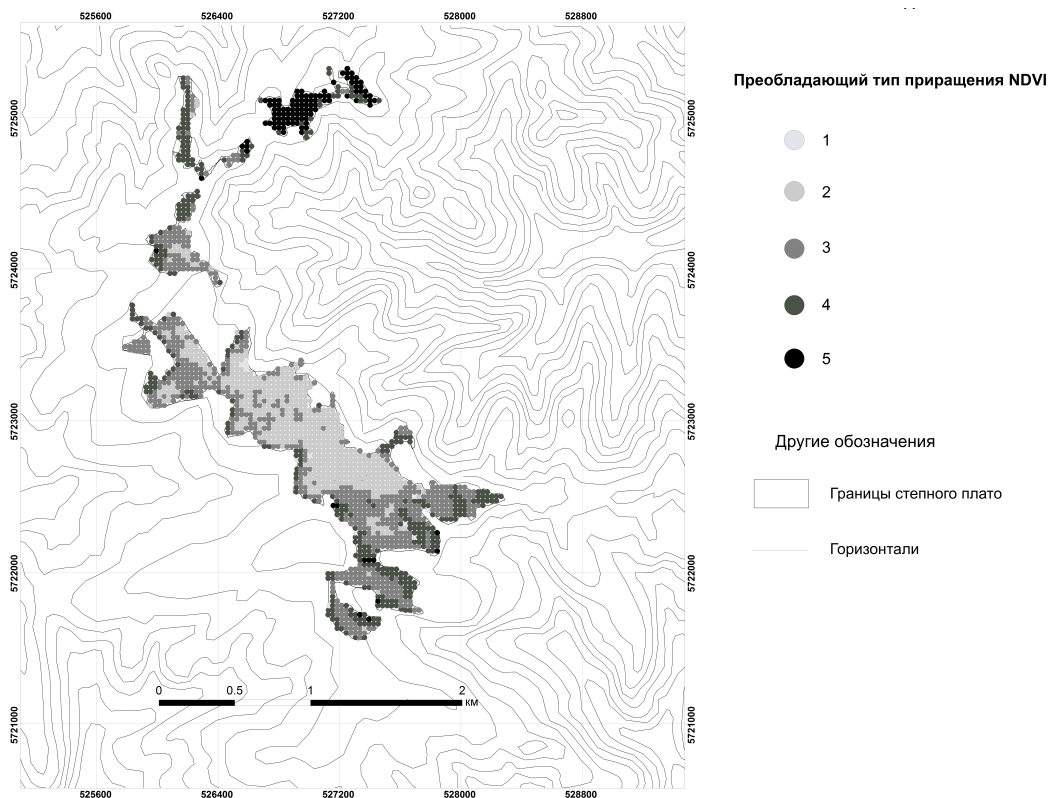


Рис. 1. Преобладающие градации приращений NDVI

Проанализируем карту «Разнообразие градаций приращений NDVI (индекс Шеннона H)» (рис. 2). Наиболее нестабильные участки (H 1.42 – 1.61) отмечены на севере узкой части степного плато, а также по его границам вдоль широкой пахотной части. Это объясняется тем, что там, при различных погодных, ландшафтных условиях могут часто меняться типы динамики с чередованием разнонаправленных отклонений от средних значений для ландшафта. В северной части высокая нестабильность может быть обусловлена влиянием леса.

Участки наиболее стабильной (однообразной) динамики (H 0.46 – 0.92) сосредоточены в узкой юго-восточной части степного плато. Следовательно, как правило, повторяется одна и та же градация отклонений от фоновых приращений NDVI. Это может быть обусловлено типичностью этого участка для степного плато. Мера нестабильности составляет 0.92 – 1.094 и соответствует бывшей пашне (рис. 2). Автором построена карта классов внутрисезонной динамики зеленой травянистой фитомассы. Выявлено

4 класса динамики NDVI. Для первого и четвертого класса внутрисезонной динамики характерно высокое обилие мезофитов в фитоценозе. Первый класс преобладает в срединной части плато при относительно небольшой фитомассе. В основном встречается костреч безостый, он занимает широкую старопашотную часть плато.

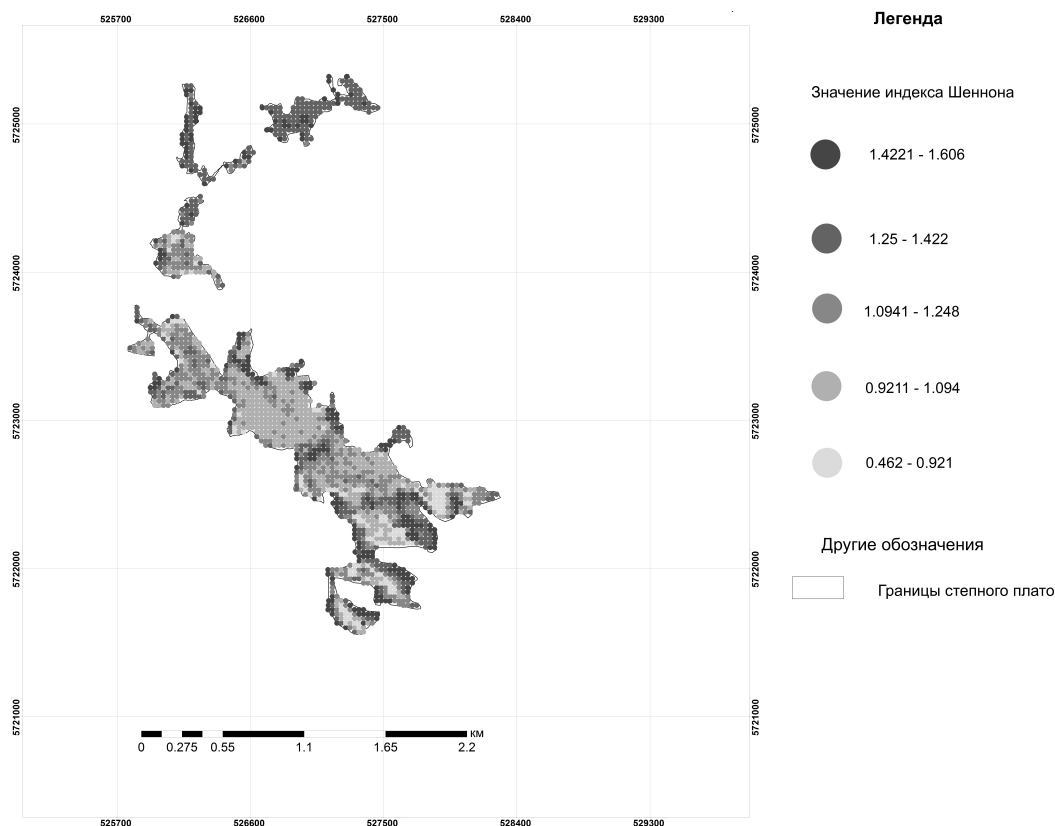


Рис. 2. Разнообразие градаций приращений NDVI (индекс Шеннона)

Для второго и третьего класса более характерна другая экологическая группа – ксерофиты. По большей части эти классы характерны для юго-восточного сектора (вблизи кордона заповедника) (рис. 3).

Составлены регрессионные уравнения, в которых зависимая переменная – повторяемость одного из типов динамики NDVI, независимые переменные – позиционные факторы.

Разберем на нескольких примерах, чем обусловлены пространственные различия в повторяемости типов динамики (градаций приращений) NDVI.

Повторяемость первого типа динамики описывается следующими важными позиционными факторами: расстояние до ближайшего кустарникового сообщества (как правило, с доминированием спирей, лесистость в окрестности радиусом 90 м, лесистость в окрестности радиусом 210 м, расчленение рельефа (стандартное отклонение высот) в окрестности радиусом 90 м. Формулу данного явления можно записать следующим образом,

$$1 \text{ DynType} = 0.045836 + 0.000029 * \text{Eucl Dist Bush} + 0.003598 * \text{FStat Forest R3} - 0.000428 * \text{FStat Forest R7} + 0.001895 * \text{Raschlenenie R3},$$

Где 1 DynType – первый тип динамики NDVI, Eucl Dist Bush – расстояние до ближайшего кустарникового сообщества, FStat Forest R3 (R7) – лесистость в окрестности радиусом 90 (210 м), Raschlenenie R3 – расчленение рельефа (стандартное отклонение высот) в окрестности радиусом 90 м. Доля объясненной дисперсии низкая (7.4%).

На второй тип динамики NDVI оказывает влияние следующие позиционные факторы: расстояние до ближайшей бровки склона, лесистость в окрестности радиусом 150 м, лесистость в окрестности радиусом 330 м, закустаренность в окрестности радиусом 330 м. Позиционные факторы описывают 47.97% дисперсии. Такие позиционные факторы, как расстояние до ближайшего кустарникового сообщества и лесного массива, лесистость в окрестности радиусом 90 м, закустаренность в окрестности радиусом 90 м и расчленение рельефа (стандартное отклонение высот) в окрестности радиусом 210 м, описывают повторяемость третьего типа динамики. Доля объясненной дисперсии низкая (7.3%).

Повторяемость четвертого типа динамики объяснена следующими позиционными факторами: расстояние до ближайшего лесного массива, лесистость в окрестности радиусом 150 м, закустаренность в окрестности радиусом 330 м. Доля объясненной дисперсии составляет 23.95%. На пятый тип динамики оказывает влияние определенные позиционные факторы: расстояние до ближайшего лесного массива, лесистость в окрестностях с радиусами (270 и 330 м), закустаренность в окрестности

радиусом (210 м), расчленение рельефа в окрестности радиусом (150 м). Данные факторы описывают 30.6% объясненной дисперсии.

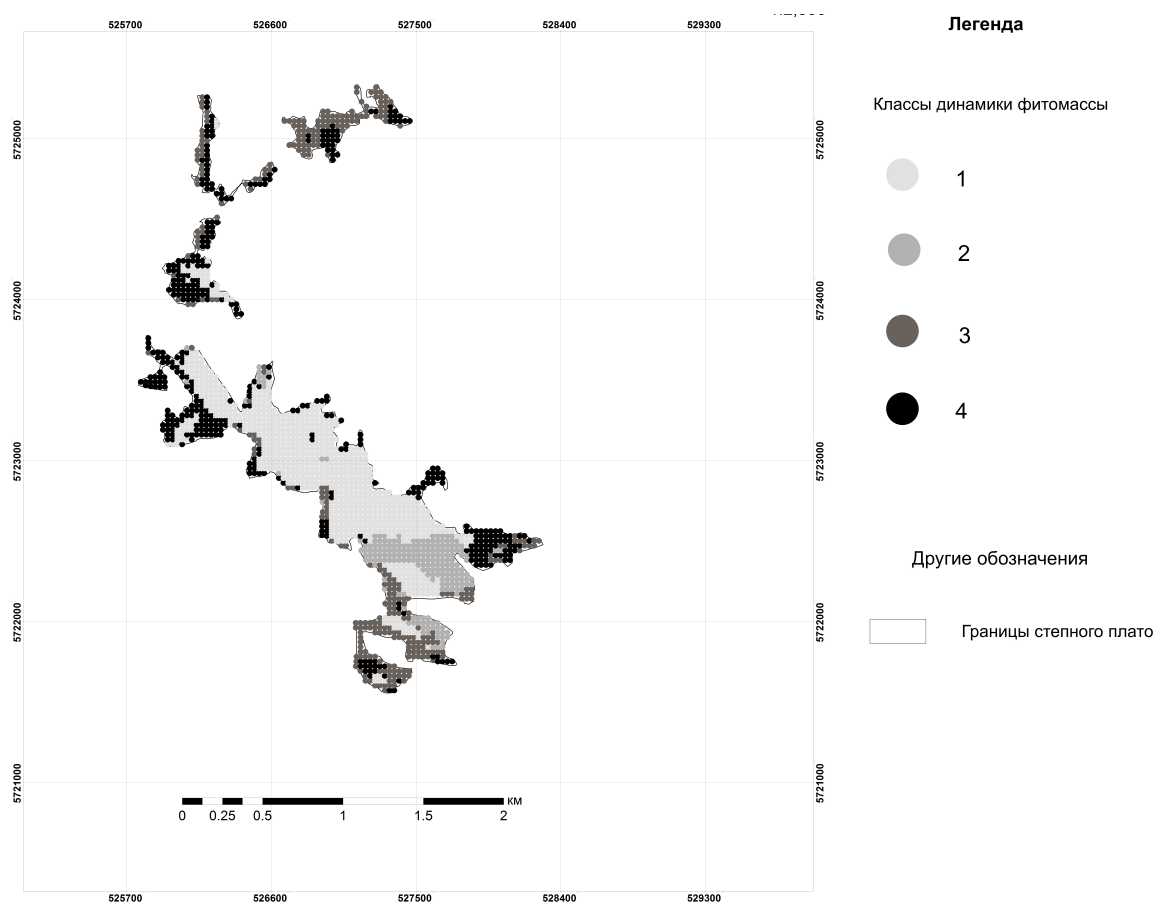


Рис. 3. Классы внутрисезонной динамики зеленой травянистой фитомассы

Выводы. На преобладание определенных типов динамики NDVI (градации приращений NDVI) оказывает влияние позиционные факторы (соседство лесных массивов, кустарниковых сообществ и другие), географические особенности степного плато, трансформация степного ландшафта пашнями разного возраста. На внутрисезонную динамику зеленой фитомассы в пределах однородного степного плато оказывают существенное влияние позиционные факторы: расстояние до бровки склона, расстояние до ближайшего лесного и кустарникового массива, лесистость в окрестности радиусом (90, 150, 330 и др. м), закустаренность в окрестности радиусом (90, 210, 330 м), расчлененность рельефа. Для первого класса динамики NDVI характерно весенне-летнее наращивание фитомассы (до 0.7 значений индекса NDVI) и дальнейшее сохранение ее объемов. Второй класс обусловлен весенне-летним приростом (0.8 – 0.82) фитомассы и дальнейшим ее сокращением в поздний летне – осенний период. Третий класс характеризуется весенним приростом фитомассы до очень больших значений индекса NDVI (0.9), с последующим сильным сокращением фитомассы в летне-осенний период. Четвертый класс динамики NDVI описывается весенне-летним приростом фитомассы (0.8) и последующим ее сохранением.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-05-00464 А). Автор выражает благодарность Хорошеву А.В., Калмыковой О.Г., Шаровой Д.Е., за участие в сборе и первичной обработке полевых данных.

Литература

1. Хорошев А.В. Пространственная структура как фактор стабильности биопродукционного функционирования степных геосистем (на примере Айтуарской степи, Южный Урал) // Принципы экологии. 2020. Т. 9. № 3. С. 71-86. <http://ecopri.ru/journal/article.php?id=10922>
2. Чибилёв А.А. Заповедник «Оренбургский»: история создания и природное разнообразие. – Ч 58 Екатеринбург: ООО «ЦИЛУ», 2014. 140 с.: ил.
3. Шабайкина В.А., Ларина А.В., Саулин В.А. Оценка состояния системы озеленения г. Рузаевка с использованием многозональных космических снимков. // Вектор ГеоНаук. Геоэкология. 2020. Т. 3 (3). С. 96 – 105
4. Заповедники Оренбуржья – Шайтан-Тау. – Текст: электронный. – URL: <https://orenzap.ru/node/19437> (дата обращения: 28.03.2023).
5. Формула Шеннона. – Текст: электронный. – URL: <http://www.5byte.ru/10/0004.php> (дата обращения: 05.04.2023).