ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СТЕПИ В РАННЕВЕСЕННИЙ ПЕРИОД МЕТОДАМИ СПЕКТРОМЕТРИРОВАНИЯ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Л.Д. Немцева¹, Е.И. Голубева²

Южный научный центр Российской академии наук¹

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова²

l.nemseva@gmail.com, egolubeva@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты исследований пастбищной дигрессии растительности степей на основе методов наземного спектрометрирования, дистанционного зондирования, а также геоботанических методов.

Даны краткие геоботанические описания растительного покрова на мониторинговых площадках, заложенных вдоль трансект. Установлены стадии пастбищной дигрессии на мониторинговых площадках. Выявлены закономерности распределения по градиенту пастбищной дигрессии значений NDVI в ранневесенний период, как по данным наземного спектрометрирования, так и по космическим снимкам. В результате сопоставления данных спутниковых измерений и наземного спектрометрирования растительного покрова был сделан вывод о перспективности исследования пастбищной нарушенности степной растительности с использованием методов полевого спектрометрирования.

Ключевые слова: полевое спектрометрирование, пастбищная дигрессия, степная растительность, вегетационный индекс, дистанционное зондирование.

Введение. Степные территории юга России характеризуются длительной историей хозяйственного использования и их высокой экологической уязвимостью, что в совокупности с климатическими особенностями обусловило снижение продуктивности биогеоценозов [1]. В связи с этим изучение растительного покрова степей имеет высокую теоретическую и практическую значимость.

Территория исследования располагается в охранной зоне Государственного природного заповедника «Ростовский», которая включает в себя прибрежную часть целинной степи восточного отсека Пролетарского вдхр. (оз. Маныч-Гудило), участок заповедника «Островной» (о-ва Водный и Горелый).

Согласно геоботаническому районированию [2] степи Приманычья относятся к типу умеренно сухих и сухих дерновиннозлаковых. Однако на территории заповедника и буферной зоны преобладает особый галофитный вариант упомянутого типа степей – долинные степи на каштановых и светло-каштановых солонцеватых почвах в комплексе со средними и глубокими солонцами [3].

Исследуемый район издавна является скотоводческим. Неблагоприятные климатические условия (засушливость) и низкое плодородие почв сделали его малопригодным для земледелия. Животноводческий профиль хозяйственной деятельности сохранился в долине Маныча и в настоящее время. Нерегулируемая пастбищная нагрузка скота, перевыпас, являются основной причиной пастбищной дигрессии и деградации почвенного покрова.

Цель исследования – разработка методов оценки состояния растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования Земли и наземного спектрометрирования.

Исследования растительного покрова с применением полевого спектрометрирования нами проводились впервые. Поэтому, на первом этапе нами была поставлена задача апробировать технологию полевых работ (наземное спектрометрирование и геоботаническая съемка на мониторинговых площадках) и сравнить полученные результаты с данными дистанционного зондирования.

Материалы и методы. Материалы, положенные в основу данной статьи, собраны в процессе полевых работ в период ранневесенней вегетации 26–30 марта 2018 года, на базе научно-экспедиционного стационара (НЭС) Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН) «Маныч». НЭС «Маныч» располагается в поселке Маныч Орловского района Ростовской области. В ходе полевых работ было заложено 5 трансект (профилей). Проведены геоботанические работы, а также наземное спектрометрирование на 34 площадках.

Каждая трансекта состояла из 5–8 мониторинговых площадок, расположенных вдоль градиента пастбищной нагрузки с удалением от территорий с максимально нарушенным растительным покровом (вблизи животноводческих ферм). Площадки заложены на расстоянии 150–300 м друг от друга. Протяженность трансект от 700 до 1000 м.

Описываемые площадки выбирались таким образом, чтобы в их пределах не наблюдалось существенного изменения флористического состава и смены доминантов растительных сообществ. На каждой площадке (100 м², обычно в виде квадрата 10 м x 10 м) были выполнены геоботанические описания, что позволило выявить видовой состав и особенности растительного покрова каждой площадки и всей трансекты в целом.

Для изучения процессов пастбищной дигрессии растительности использовались косвенные методы [4], основанные на учёте комплексного воздействия скота на растительный покров. Основным был метод экстраполяции пространственных изменений растительного покрова во временные, применённый в 2 модификациях: 1) метод сообществ-аналогов при различной пастбищной нагрузке, 2) метод трансект (геоботанических профилей) по градиенту пастбищной нагрузки.

Полевые исследования растительного покрова были проведены по стандартным геоботаническим методам с использованием типовой программы [5]. Наиболее сложные для определения образцы растений были загербаризированы и их определение проводилась в лабораториях Южного научного центра РАН.

Материалы космической съемки, использованные в данной работе – многозональные снимки Landsat 8 OLI, выбранные за дату наиболее близкую к периоду проведения экспедиции (дата съемки 21 марта 2018 г.). Источником космических снимков Landsat послужил сайт Earth Explorer учрежденный Геологической службой США (USGS) [6].

При выполнении работы использовался профессиональный программный пакет для обработки снимков ENVI 4.7. Геоинформационные технологии были реализованы в программе ArcGIS 10.

В большинстве случаев, наилучшим методом в дистанционном зондировании является наземное спектрометрирование, которое осуществляется с помощью полевого портативного спектрометра. В виду того, что профессиональный спектрометр пока недоступен для применения в наших исследованиях из-за его высокой стоимости, было решено найти более дешевую замену. Для этого сотрудниками ЮНЦ РАН бытовой фотоаппарат Canon 495A был модифицирован в двухканальный спектрометр, измеряющий в красном и инфракрасном спектрах.

Наземное спектрометрирование на мониторинговых площадках было проведено на основе методических руководств и рекомендаций [7; 8]

В работе применялись методы вегетационных индексов: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), EVI

(Enhanced Vegetation Index), MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index).

Результаты. В период экспедиционных исследований растительный покров на всех исследуемых площадках находился в состоянии весеннего отрастания. Среднесуточная температура воздуха по данным ближайшей к району исследования метеостанции в п. Ремонтное составляла [9]: 27 марта 2018 г. – 7,4 °С, 28 марта 2018 г. – 7,7 °С, 29 марта 2018 г. – 2 °С. Почва отличалась очень высокой влажностью.

Трансекта № 1. Естественная растительность вдоль трансекты № 1 представлена сухой дерновинно-злаковой степью на каштановых сильносолонцеватых почвах. Были сделаны описания растительности на 8 мониторинговых площадках. Выпасаемый скот представлен овцами, козами и крупным рогатым скотом.

Для трансекты № 1 характерна сильная и очень сильная степень пастбищной нарушенности. Растительный покров разреженный, господствует мятлик живородящий (*Poa bulbosa*), мятлик узколистый (*Poa angustifolia*), полынь Лерхе (*Artemisia lerchiana*), на многих площадках распространены эфемеры, практически отсутствует ветошь, что обусловлено интенсивным вытаптыванием и поеданием растительности. Высота травостоя зеленой растительности составляла 1–3 см. На мониторинговых площадках был развит напочвенный покров представленный мхом (*Syntrichia ruralis*) и лишайником (*Cladonia foliacea*). Проективное покрытие напочвенной растительности на отдельных площадках составляло 10–40 %. Проективное покрытие без напочвенной растительности 40–50 %.

Трансекта № 2. Естественная растительность вдоль трансекты № 2 представлена сухой дерновинно-злаковой степью на среднесолонцеватых каштановых почвах. При удалении от животноводческой фермы стадии пастбищной дигрессии меняются от сильной степени пастбищной нарушенности до минимальной степени. Были сделаны описания растительности на 8 мониторинговых площадках.

Для площадок с 1 по 7 в целом характерна сильная степень пастбищной нарушенности, которая вызвана выпасом овец и крупного рогатого скота. Отмечается изреженность травостоя при значительной роли мятлика живородящего (*Poa bulbosa*), мятлика узколистого (*Poa angustifolia*), а также пациентных малопоедаемых растений – в первую очередь ромашника тысячелистникового (*Tanacetum achilleifolium*) и полыни Лерхе (*Artemisia lerchiana*). Высота травостоя зеленой растительности составляла 1–3 см. Отсутствовала ветошь прошлогодней травяной растительности. На мониторинговых площадках

повсеместно был развит напочвенный покров представленный мхом (*Syntrichia ruralis*) и лишайником (*Cladonia foliacea*). Проективное покрытие напочвенной растительности составляло 10–30 %. Общее проективное покрытие травянистой растительности увеличивалось при удалении от фермы с 40 до 70 %.

Самая дальняя от фермы площадка 8 располагается в пределах вольерного комплекса Центра редких животных европейских степей Ассоциации «Живая природа степи» в охранной зоне заповедника «Ростовский». Данная территория используется в качестве естественных пастбищ для различных видов животных (верблюды, бизоны и т.д.). В вольерном комплексе выпас сельскохозяйственных животных запрещен, поэтому здесь наблюдается минимальная стадия пастбищной дигрессии. В растительном покрове площадки доминируют перистые ковыли. Сухие, оставшиеся с прошлого года наземные части ковылей смыкаются, образуя фон серого цвета. В нижнем ярусе травостоя отрастают новые побеги. Высота травостоя ковыльной ассоциации составляла около 40 см. Общее проективное покрытие 95–100 %.

Трансекта № 3. Естественная растительность вдоль трансекты №3 представлена сухой дерновиннозлаковой степью на среднесолонцеватых каштановых почвах. Были сделаны описания растительности на 5 мониторинговых площадках.

Для трансекты в целом характерны стадии очень сильной и сильной пастбищной нарушенности, которые вызваны выпасом овец и крупного рогатого скота. Отмечается значительная изреженность травостоя при значительной роли пациентных малопоедаемых растений – в первую очередь ромашника тысячелистникового (*Tanacetum achilleifolium*) и полыни Лерхе (*Artemisia lerchiana*). Доминируют мятлик живородящий (*Poa bulbosa*), мятлик узколистый (*Poa angustifolia* L.), полынь Лерхе (*Artemisia lercheana*), житняк пустынный (*Agropyron desertorum*), обильны лютик иллирийский (*Ranunculus illyricus* L.), лютик ползучий (*Ranunculus repens* L.), клевер ползучий (*Trifolium repens* L.), ясколка низкая (*Cerastium pumilum* Curtis), вероника весенняя (*Veronica verna* L.). Высота травостоя зеленой растительности составляла 1–3 см. Отсутствовала ветошь прошлогодней травяной растительности. На мониторинговых площадках повсеместно был развит напочвенный покров представленный мхом (*Syntrichia ruralis*) и лишайником (*Cladonia foliacea*).

Как отмечает В.И. Новопокровский [10], главную роль в позеленении степи, особенно на выпасах, играет мятлик живородящий, являющийся одним из индикаторов сильного пастбищного сбоя. В связи с этим проективное покрытие травянистой рас-

тельности увеличивалось по мере приближения к ферме за счет разрастания мятлика живородящего, одного из первых злаков отрастающих ранней весной. Фон степи также становится более ярко-зеленым. Совместно с мятликом живородящим на ближайших к ферме площадках было отмечено обилие клевера ползучего (*Trifolium repens* L.). Проективное покрытие напочвенной растительности увеличивалось с приближением к ферме от 5 % до 30 %, травянистой растительности от 20 % до 50 %. Высота зеленого травостоя на всех площадках составляла 1–3 см.

Трансекта № 4. Естественная растительность вдоль трансекты № 4 представлена сухой дерновиннозлаковой степью на каштановых средне и сильносолонцеватых почвах. Трансекта 4 имеет протяженность от фермы до соленого озера Грузское. Были сделаны описания растительности на 6 мониторинговых площадках. Для трансекты 4 в целом характерна сильная степень пастбищной дигрессии.

На первых четырех площадках (1–4), ближайших к ферме, помимо стравленного типчака (*Festuca valesiaca*), доминировал мятлик живородящий (*Poa bulbosa*), мятлик узколистый (*Poa angustifolia* L.). Наблюдался редкий сухостой из стеблей малопоедаемых растений ромашника тысячелистникового (*Tanacetum achilleifolium*), полыни Лерхе (*Artemisia lerchiana*). Среди разнотравья на площадках было отмечено обилие клевера ползучего (*Trifolium repens* L.), лютика ползучего (*Ranunculus repens* L.), лютик иллирийского (*Ranunculus illyricus* L.), вероники весенней (*Veronica verna* L.), ясколки низкой (*Cerastium pumilum* Curtis), звездчатки шилолистной (*Stellaria hippoctora*).

На площадке 1 было отмечено наибольшее проективное покрытие напочвенной растительности, представленное мхом (*Syntrichia ruralis*), которое составляло 20 %. Общее проективное покрытие травянистой растительности – 60 %. Высота травостоя 1–2 см. Общий фон растительного покрова был ярко-зеленый за счет отрастающих молодых побегов мятлика живородящего (*Poa bulbosa*), мятлика узколистого (*Poa angustifolia* L.).

На площадках 2–4 доминировал мятлик живородящий (*Poa bulbosa*), мятлик узколистый (*Poa angustifolia* L.) совместно с типчаком (*Festuca valesiaca*), полынь Лерхе (*Artemisia lerchiana*). Наблюдалось довольно много прошлогодних сухих стеблей и листьев типчака (*Festuca valesiaca*), житняка (*Agropyron desertorum*) за счет чего фон степи на данных площадках имел серо-зеленый цвет. Общее проективное покрытие травянистой растительности на площадках 2–4 составлял 70–90 %.

Площадки 5 и 6 располагаются на каштановых сильносолонцеватых почвах вблизи соленого озера Грузского. В травостое площадок доминировал мятлик живородящий (*Poa bulbosa*), мятлик узколистный (*Poa angustifolia* L.), прошлогодние полукустарники полыни Лерхе (*Artemisia lercheana*) с отрастающими молодыми побегами, сухи стебли житняка пустынного (*Agropyron desertorum*), часто встречается мох (*Syntrichia ruralis*). Высота зеленого травостоя 1–3 см. Общее проективное покрытие на площадках 70–80 %.

Трансекта № 5. Естественная растительность вдоль трансекты № 5 представлена сухой дерновиннозлаковой степью на среднесолонцеватых каштановых почвах. Для трансекты в целом характерны стадии очень сильной и сильной пастбищной нарушенности. Были сделаны описания растительности на 6 мониторинговых площадках.

Площадка 1–2, ближайшие к поселку, характеризуется не только очень сильной степенью пастбищного сбоя, но и замусоренностью бытовыми отходами, присутствуют остатки разрушенных построек. Прошлогодний сухой травостой представлен малопоедаемыми видами: полынь Лерхе (*Artemisia lercheana*), татарник колючий (*Onopordum acanthium* L.), заразиха кумская (*Orobancha cumanica* Wallr.). На площадках практически отсутствует ветошь.

Растительный покров на протяжении всей трансекты разреженный, господствует мятлик живородящий (*Poa bulbosa*), мятлик узколистный (*Poa angustifolia*), полынь Лерхе (*Artemisia lercheana*), обильны мхи (*Syntrichia ruralis*) и лишайники (*Cladonia foliacea*). Среди разнотравья было отмечено обилие лютика ползучего (*Ranunculus repens* L.), вероники весенней (*Veronica verna* L.), клевера ползучего (*Trifolium repens* L.), ромашника тысячелистникового (*Tanacetum achilleifolium*). Высота зеленой растительности находящейся на стадии отрастания в среднем составляет 1–3 см.

На наиболее удаленной от поселка площадке, помимо доминирующих мятликов и полыни, в качестве содоминантов присутствовали типчак (*Festuca valesiaca*) и тырса (*Stipa capillata* L.). При удалении от поселка по трансекте наблюдалось увеличение количество сухой прошлогодней растительности в особенности житняка пустынного (*Agropyron desertorum*). Наиболее ярко-зеленый фон растительного покрова наблюдался на наиболее нарушенных участках вблизи поселка.

Наряду с геоботаническими исследованиями на мониторинговых площадках, расположенных вдоль 5 трансект, были проведено наземное спектрометрирование поверхности. В результате нами были

получены данные в виде цифровых фотографий, на которых зеленая растительность отображается в бирюзовых оттенках. Указанные изображения содержат достаточно информации для расчета вегетационного индекса NDVI, а именно данные в красном и инфракрасном канале. В программе ENVI по фотографиям были рассчитаны индексные изображения NDVI, а затем рассчитана статистика значений данного индекса. Средние значения NDVI показали, что участкам с сильной стадией пастбищной дигрессии соответствуют большие значения индекса, чем для участков с минимальной стадией дигрессии.

В ходе проделанной работы нами было сделано сравнение значений NDVI рассчитанных по результатам наземных измерений двухканальным спектрометром и значений NDVI, SAVI, EVI, MSAVI, полученных по данным космических снимков Landsat 8 OLI (рис. 1).

Графики, построенные по материалам спутниковой съемки и данным наземного спектрометрирования, имеют общие тенденции пространственной изменчивости значений индексов при удалении от ферм и поселка. Малая дисперсия значений NDVI рассчитанных по данным полевых измерений спектрометром подтверждает достоверность полученных экспериментальных данных.

Заключение. Проведенные полевые геоботанические исследования, наземное спектрометрирование, обработка материалов космической съемки позволили сделать следующие выводы:

- в ранневесенний период территориям с сильным пастбищным сбоем характерен ярко-зеленый фон растительного покрова и относительно высокие значения NDVI;
- при уменьшении пастбищной нарушенности увеличивается доля серого фона и снижаются значения NDVI как по данным наземного спектрометрирования, так и по космическим снимкам.

Сопоставление данных спутниковых измерений и наземного спектрометрирования растительного покрова позволяет говорить о перспективности исследования пастбищной нарушенности степной растительности с использованием методов полевого спектрометрирования.

Публикация подготовлена в рамках реализации ПФИ Президиума РАН I.52 «Обеспечение устойчивого развития Юга России в условиях климатических, экологических и техногенных вызовов» (ГЗ ЮНЦ РАН на 2018 г., № гр. проекта АААА-А18-118011990300-9), а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-35-50069 «мол_нр».

Рис. 1. Изменение значений индексов на площадках по данным Landsat 8 OLI и результатам наземных измерений

Список литературы

1. Матишов, Г.Г. Значение аридных и семиаридных зон в системе современного природопользования России / Г.Г. Матишов, Н.И. Горлубева // Современное состояние и технологии мониторинга аридных и семиаридных экосистем юга России. Ростов-на-Дону, 2010. С. 11–18.
2. Горбачёв, Б.Н. Растительность и естественные кормовые угодья Ростовской области / Б.Н. Горбачёв. – Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1974. – 152 с.
3. Ильина, Л.П. Типы почв и история их исследования / Л.П. Ильина // Маныч-Чограй: история и современность (предварительные исследования). Ростов-на-Дону, 2005. С. 37–48.

4. *Александрова, В.Д.* Изучение смен растительного покрова / В.Д. Александрова // Полевая геоботаника. – М.; Л.: Наука, 1964. – Т. 3. – С. 300–447.
5. *Юрцев Б.А., Камелин Р.В.* Программы флористических исследований разной степени детальности // Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики. Л.: Наука, 1987. – С. 219–241.
6. Geological Survey (USGS), каталог EarthExplorer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov>, свободный. – Загл. с экрана.
7. *Тутубалина О.В.* Компьютерный практикум по курсу «Космические методы исследования почв» / О.В. Тутубалина. – М.: Геогр. факультет МГУ, 2009. – 112 с.
8. *Rundquist D., Gitelson A., Leavitt B., Zygielbaum A., Perk A., Keydan G.* Elements of an integrated phenotyping system for monitoring crop status at canopy level. *Agronomy*. 2014, vol. 4, pp. 108–123.
9. rp5.ru: Расписание погоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rp5.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
10. *Новопокровский, И.В.* Растительность / И.В. Новопокровский // Природа Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1940. – С. 111–140.

EXPERIENCE IN SPECTROMETRY OF THE VEGETATIVE COVER IN THE EARLY-SPRING PERIOD ON THE TERRITORY OF THE STATE RESERVE «ROSTOVSKY»

L.D. Nemtseva¹, E.I. Golubeva²

Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences¹

Lomonosov Moscow State University²

l.nemtseva@gmail.com, egolubeva@gmail.com

Abstract. The article presents the results of studies of pasture degradation of steppes based on field spectrometry methods, remote sensing, and geobotanical methods. We give brief geobotanical descriptions of the vegetation cover on the monitoring sites located along transects. The stages of pasture digression were established at the monitoring sites. The regularities of the distribution NDVI values along the gradient of pasture digression of in the early spring period, both from field spectrometry data and from satellite imagery, were revealed. The result of the comparison of satellite measurements and terrestrial spectrometry of the vegetation cover has shown the prospectively of investigating pasture degradation of steppe vegetation using field spectrometry methods.

Keywords: field spectrometry, pasture degradation, steppe vegetation, vegetation index, remote sensing.

References

1. *Matishov G.G., Golubeva N.I.* Znachenie aridnyh i semiaridnyh zon v sisteme sovremennogo prirodopol'zovanija Rossii. Sovremennoe sostojanie i tehnologii monitoringa aridnyh i semiaridnyh jekosistem juga Rossii [The importance of arid and semiarid zones in the system of modern nature management in Russia. Current state and technology of monitoring of arid and semiarid ecosystems in the south of Russia]. Rostov-on-Don, Publishing house of the SSC RAS, 2010, pp. 11–18. [In Russian].
2. *Gorbachjov B.N.* Rastitel'nost' i estestvennye kormovye ugod'ja Rostovskoj oblasti [Vegetation and natural forage lands of the Rostov region]. Rostov-on-Don, Rostovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1974, 152 p. [in Russian].
3. *Il'ina L.P.* Tipy pochv i istorija ih issledovanija. Manych-Chograj: istorija i sovremennost' (predvaritel'nye issledovanija) [Soil types and the history of their research. Manych-Chogray: history and modernity (preliminary studies)]. Rostov-on-Don, Publishing house of the SSC RAS, 2005, pp. 37–48 [in Russian].
4. *Aleksandrova V.D.* Izuchenie smen rastitel'nogo pokrova. Polevaja geobotanika [Study of changes in vegetation cover. Field geobotany]. Moscow; Leningrad, Nauka, 1964, vol. 3, pp. 300–447 [In Russian].
5. *Yurtsev B.A., Kamelin R.V.* Programmy floristicheskikh issledovanij raznoj stepeni detal'nosti: Teoreticheskiye i metodicheskiye problemy sravnitel'noy floristiki. Materialy II rabochego soveschaniya po sravnitel'noy floristike [Theoretical and methodical problems in comparative floristics. Materials of the II workshop on comparative floristics]. Leningrad, Nauka, 1987, pp. 219–241 [In Russian].
6. Geological Survey (USGS), catalog Earth Explorer. Available at: <http://earthexplorer.usgs.gov> (accessed 10.07.2018) [In English].
7. *Tutubalina O.V.* Komp'yuternyj praktikum po kursu «Kosmicheskie metody issledovanija pochv» [Computer practicum on the course «Space Methods of Soil Research»]. Geographical Faculty of Moscow State University, 2009, 112 p. [In Russian].
8. *Rundquist D., Gitelson A., Leavitt B., Zygielbaum A., Perk A., Keydan G.* Elements of an integrated phenotyping system for monitoring crop status at canopy level. *Agronomy*. 2014, vol. 4, pp. 108–123. [In English].
9. rp5.ru: Reliable prognosis. Available at: <http://rp5.ru> (accessed 10.07.2018).
10. *Novopokrovskij I.V.* Rastitel'nost'. Priroda Rostovskoj oblasti [Vegetation. Nature of the Rostov Region]. Rostov-on-Don: Publishing House of the RSU, 1940, pp. 111–140. [In Russian].