



ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАЗЕМНОГО СПЕКТРОМЕТРИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СТЕПЕЙ В УСЛОВИЯХ ВЫПАСА

Л. Д. Немцева, научный сотрудник,
Южный научный центр
Российской академии наук,
l.nemseva@gmail.com,
Е. И. Голубева, профессор,
Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова,
egolubeva@gmail.com

В статье представлены результаты исследований состояния растительности степей в условиях выпаса на основе геоботанических методов, методов наземного спектрометрирования и дистанционного зондирования.

Установлено различие распределения по градиенту пастбищной дигрессии значений NDVI в ранне-весенний и летний период как по данным наземного спектрометрирования, так и по космическим снимкам. Выявлены основные причины этого явления. 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.

The article presents the results of the studies of the state of the vegetation cover of the steppes under grazing conditions based on geo-botanical methods, field spectrometry methods and remote sensing.

The difference in the distribution over the gradient of pasture degradation of NDVI values in the early spring period has been established, both according to the data of the field spectrometry and the space images. The main causes of this phenomenon are revealed. As a result of the comparison of the data of satellite measurements and field spectrometry of the vegetation cover, it was concluded that the study of pasture degradation of the steppe vegetation with the use of field spectrometry methods is promising.

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

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

Введение. Природная зона степей занимает обширные территории в пределах Евразии. В то же время степи являются наиболее трансформированными из всех биомов планеты. Увеличивается площадь аридных территорий, что связано с изменением климата и процессами антропогенного опустынивания. В связи с этим изучение растительного покрова степей имеет высокую теоретическую и практическую ценность.

Территория исследования располагается в охранный 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).

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 пастьба скота, перевыпас являются основной причиной пастбищной дигрессии и деградации почвенного покрова.

Согласно геоботаническому районированию по [1] степи долины Маныча 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 [2].

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 (рис. 1).

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 × 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 растительного покрова использовались косвенные методы [3], основанные на учете комплексного воздействия скота. Основным был метод экстраполяции пространственных изменений растительного покрова во временные, примененный 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 [4]. Наиболее сложные для определения образцы растений были загербаризированы и их определение проводилось 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 Ex-

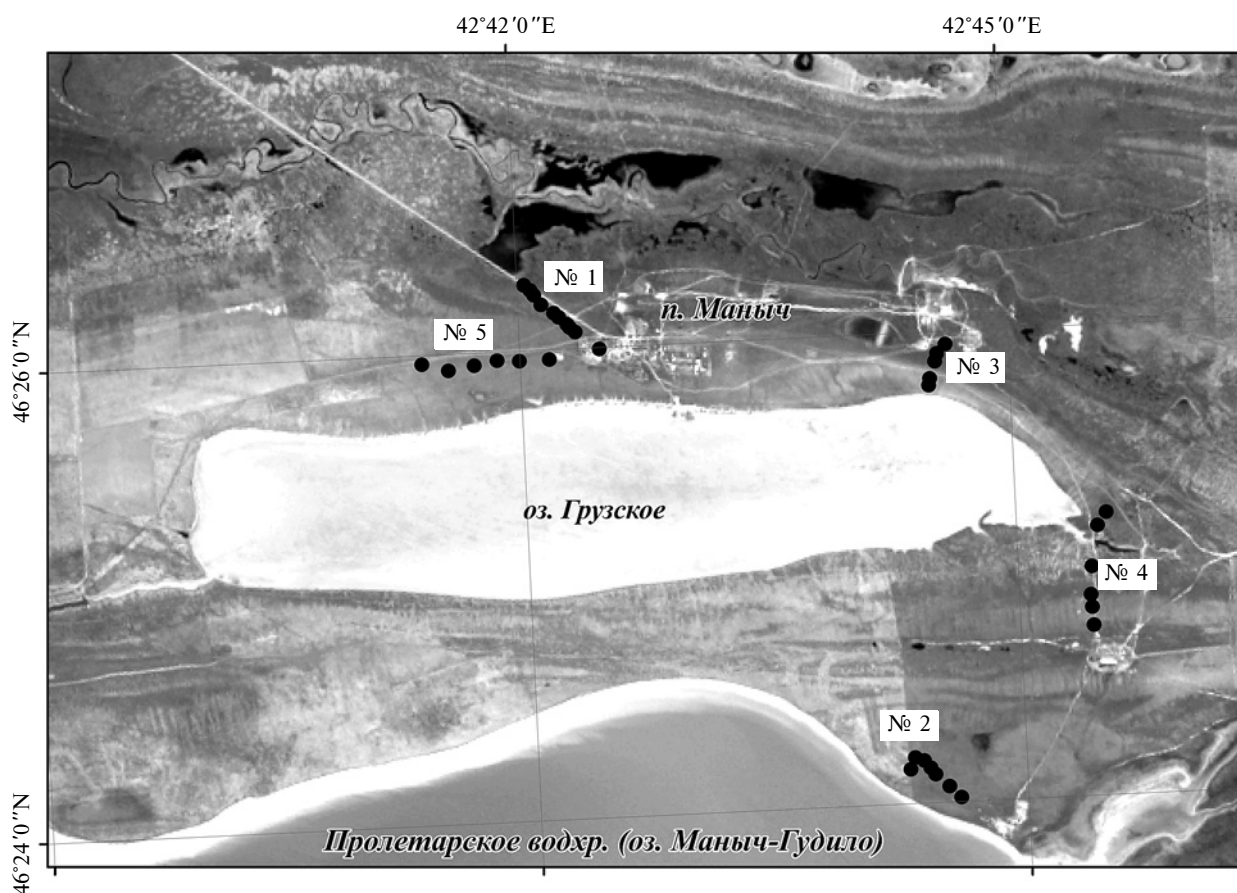


Рис. 1. Схема расположения трансект, заложенных в марте 2018 г.

plorer, учрежденный Геологической службой США (USGS) [5].

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. Сотрудниками ЮНЦ РАН бытовой фотоаппарат Canon 495 A был модифицирован в двухканальный спектрометр, измеряющий в красном (RED) и инфракрасном (NIR) спектрах. Наземное спектрометрирование на мониторинговых площадках было проведено на основе методических руководств и рекомендаций [6].

В работе применялись следующие вегетационные индексы: 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: 27 марта 2018 г. — 7,4 °C, 28 марта 2018 г. — 7,7 °C, 29 марта 2018 г. — 2 °C. Почва отличалась высокой влажностью.

Естественная растительность обследованных transect была представлена сухой дерновинно-злаковой степью на сильно- и среднесолонцеватых каштановых почвах. Преобладающие стадии пастбищной дигрессии — сильная и очень сильная.

Сильная степень пастбищной дигрессии в целом соответствует метлицевой стадии, при которой происходит почти полное выпадение естественных степных доминантов, ведущая роль в травостое переходит к мятлику живородящему (метлице) (*Poa bulbosa*). Такое состояние степных сообществ является критическим, поскольку мятлик живородящий обладает способностью перехватывать влагу из поверхностных слоев почвы и препятствует возобновлению полыней и ковылей [7].

Очень сильная степень пастбищной нарушенности в целом соответствует эфемеровой стадии пастбищной дигрессии, на которой ведущая роль переходит к однолетникам — эфемерам. Вместе с *Poa bulbosa* они образуют специфические рудеральные сообщества из эфемеров, характерные для последней стадии пастбищной дигрессии степей по Б. Н. Горбачеву [1] — метлицево-эфеме-

рового сбоя. Подобные участки характеризуются резким падением проективного покрытия травостоев (вплоть до полностью обнаженной почвы). На участках со стадиями очень сильной и сильной пастбищной дигрессии практически отсутствует ветошь прошлогодней травяной растительности, что обусловлено ее интенсивным вытаптыванием и поеданием.

Как отмечает И. В. Новопокровский [8], 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 растительности на мониторинговых площадках увеличивалось по мере приближения к фермам и поселку за счет разрастания мятлика живородящего, одного из первых злаков отрастающих ранней весной. Фон степи также становился более ярко-зеленым. Совместно с мятликом живородящим на площадках с очень сильной и сильной пастбищной дигрессией было отмечено обилие клевера ползучего (*Trifolium repens* L.), лютика иллирийского (*Ranunculus illyricus* L.), лютика ползучего (*Ranunculus repens* L.), вероники весенней (*Veronica verna* L.), ясколки низкой (*Cerastium pumilum* Curtis). Напочвенная растительность была представлена мхом (*Syntrichia ruralis*) и лишайником (*Cladonia foliacea*), проективное покрытие которых увеличивалось с приближением к фермам до 30–40 %. Средняя высота зеленого травостоя на площадках составляла 1–3 см.

Участок с минимальной стадией пастбищной дигрессии был обнаружен только на transect № 2, и был приурочен к самой удаленной от фермы мониторинговой площадке, расположенной в пределах вольтерного комплекса Центра редких животных европейских степей Ассоциации «Живая природа степи» охранной зоны заповедника «Ростовский». Эта территория используется в качестве естественных пастбищ для различных видов диких животных (верблюды, бизоны и т. д.). В растительном покрове площадки доминировали перистые ковыли. Сухие, оставшиеся с прошлого года наземные части ковылей смыкались, образуя фон серого цвета. В нижнем ярусе травостоя отрастали новые побеги. Высота травостоя ковыльной ассоциации составляла около 40 см, а общее проективное покрытие 95–100 %.

Наряду с геоботаническими исследованиями на мониторинговых площадках, расположенных вдоль 5 transect, было 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

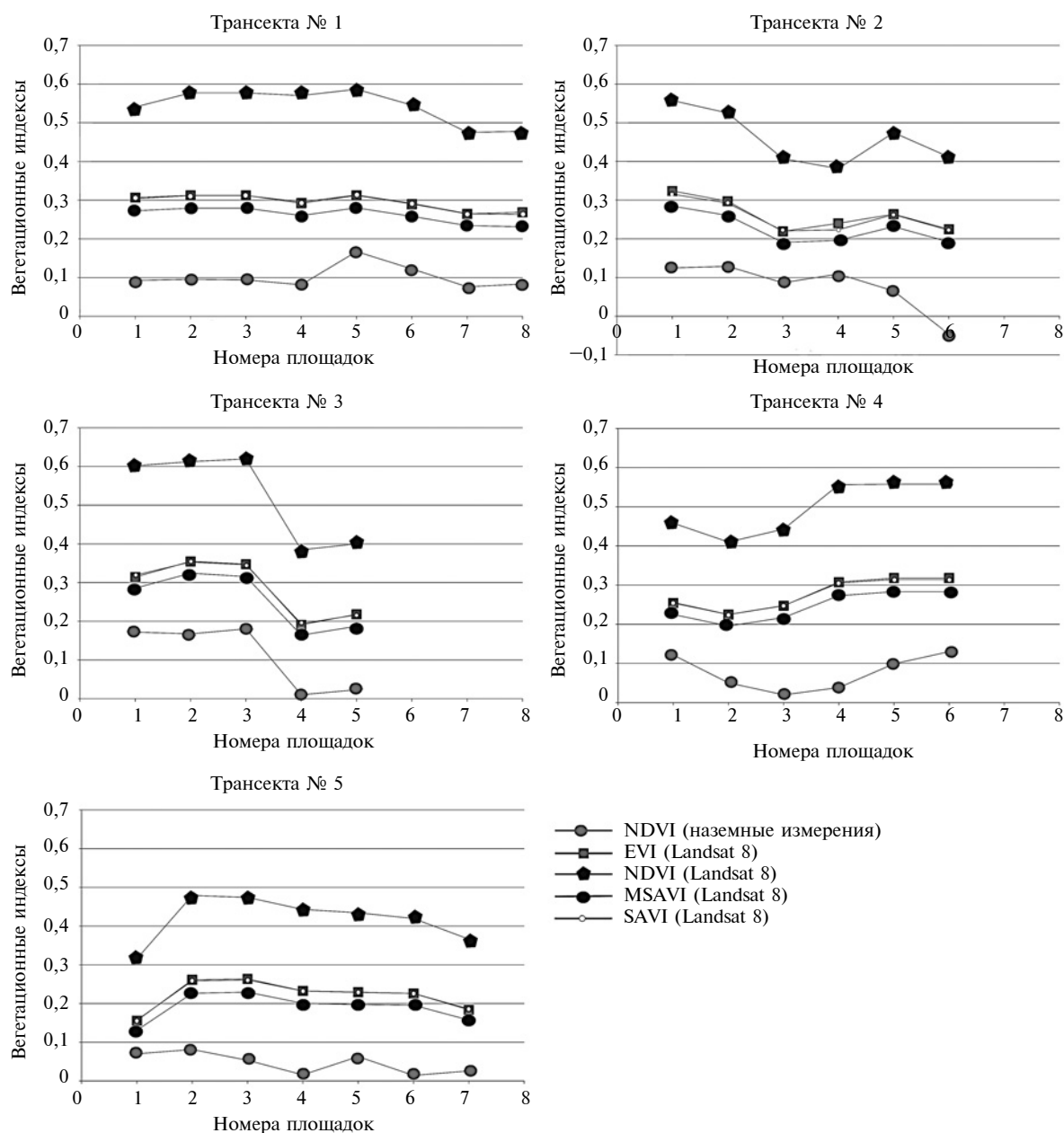


Рис. 2. Изменение значений индексов на площадках по данным Landsat 8 и результатам наземных измерений

расчета вегетационного индекса NDVI. В программе ENVI по всей площади каждой фотографии была рассчитана статистика значений в красном и инфракрасном каналах. Затем по полученным данным были вычислены средние индексы NDVI, которые 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. 2). Как видно, при применении наземного спектрометрирования получены значения, близкие к расчетным. Графики, построенные по материалам спутниковой съемки и данным наземного спектрометрирования, имеют общие тенденции пространственной изменчивости значений индексов при удалении от ферм и поселка.

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

— в ранневесенний период территориям с сильным пастбищным сбоем характерен ярко-зе-

ленный 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, что противоположно картине, которая наблюдается в летнюю фазу развития растений.

Основные причины этого явления связаны с отсутствием на нарушенных территориях дернины, доминированием в травостое в ранневесенний период гемизефемероида мятлика живородящего, являющегося видом-индикатором сильно сбитых пастбищ.

Результаты позволяют считать, что в дальнейшем целесообразно проводить дешифрирование сильно нарушенных выпасом территорий по дан-

ным космическим снимкам, снятых в холодный период года (при отсутствии снежного покрова).

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».

Библиографический список

1. Горбачев Б. Н. Растительность и естественные кормовые угодья Ростовской области. — Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1974. — 152 с.
2. Ильина Л. П. Типы почв и история их исследования / Маныч-Чограй: история и современность (предварительные исследования). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2005. — С. 37—48.
3. Александрова В. Д. Изучение смен растительного покрова / Полевая геоботаника. — М.; Л.: Наука, 1964. — Т. 3. — С. 300—447.
4. Юрцев Б. А., Камелин Р. В. Программы флористических исследований разной степени детальности // Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики. Л.: Наука, 1987. — С. 219—241.
5. Geological Survey (USGS), каталог EarthExplorer [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov>, свободный. — Загл. с экрана.
6. Тутубалина О. В. Компьютерный практикум по курсу «Космические методы исследования почв». — М.: Геогр. факультет МГУ, 2009. — 112 с.
7. Джапова Р. Р. Динамика растительного покрова Ергенинской возвышенности и Прикаспийской низменности в пределах Республики Калмыкия / Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. — М., 2007. — 48 с.
8. Новопокровский И. В. Растительность / Природа Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1940. — С. 111—140.

REMOTE SENSING AND FIELD SPECTROMETRY DATA IN THE STUDY OF THE STATE OF THE VEGETATION COVER IN THE STEPPES UNDER GRAZING CONDITIONS

L. D. Nemtseva, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, researcher, l.nemtseva@gmail.com;

E. I. Golubeva, Lomonosov Moscow State University, Professor, egolubeva@gmail.com

References

1. Gorbachev B. N. Rastitelnost i estestvennyye kormovyye ugodia Rostovskoy oblasti. [Vegetation and natural forage lands of the Rostov region]. Rostov-on-Don: Rostovskoye knizhnoye izdatelstvo, 1974. 152 p. [in Russian].
2. Ilyina L. P. Tipy pochv i istoriya ikh issledovaniya / Manych-Chogray: istoriya i sovremennost (predvaritelnyye issledovaniya). [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. P. 37—48. [in Russian].
3. Aleksandrova V. D. Izucheniye smen rastitelnogo pokrova. Polevaya geobotanika. [Study of changes in vegetation cover. *Field geobotany*]. Moscow- Leningrad, Nauka, 1964. Vol. 3. P. 300—447. [in Russian].
4. Yurtsev B. A., Kamelin R. V. 1987. Programmy floristicheskikh issledovaniy raznoy stepeni detalnosti. *Teoreticheskiye i metodicheskiye problemy sravnitelnoy floristiki*. [Programs of floristic researches of different degree of detail. *Theoretical and methodical problems in comparative floristics*]. Leningrad, Nauka, 1987. P. 219—241. [in Russian].
5. Geological Survey (USGS). *Catalogue EarthExplorer* [Electronic resource]. Access mode: <http://earthexplorer.usgs.gov>.
6. Tutubalina O. V. Kompyuternyy praktikum po kursu "Kosmicheskiye metody issledovaniya pochv". [Computer practicum on the course "Space Methods of Soil Research"]. Moscow, Geographical Faculty of Moscow State University, 2009. 112 p. [in Russian].
7. Dzhapova R. R. Dinamika rastitelnogo pokrova Ergeninskoy vozvyshennosti i Prikaspiyskoy nizmennosti v predelakh Respubliki Kalmykiya / Avtoref. diss. ... d-ra biol. nauk. [Dynamics of the vegetation cover of the Ergeninskaya Upland and the Caspian lowland within the Republic of Kalmykia. *The thesis abstract for Ph. D. in Biology*]. Moscow, 2007. 48 p. [in Russian].
8. Novopokrovsky I. V. Rastitelnost. Priroda Rostovskoy oblasti. [Vegetation. *Nature of the Rostov Region*]. Rostov-on-Don: Publishing House of the RSU, 1940. P. 111—140. [in Russian].