

**ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРАВЯНЫХ СООБЩЕСТВ
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
В МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ЛУГОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА
(КАБАРДИНО-БАЛКАРИЯ)**

© 2015 Н.Л. Цепкова, Р.Х. Пшегусов, З.М. Ханов, А.Ж. Жашуев

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова
Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук, г. Нальчик

Статья поступила в редакцию 30.09.2015

В статье рассматривается возможность использования моделирования пространственного распределения луговых ассоциаций в горных экосистемах Центрального Кавказа для целей мониторинга их состояния. С этой целью привлечены данные радарной топографической съемки (SRTM), использованы космические снимки спутников Landsat и данные натуральных наблюдений, выполненные на 4-х биополигонах, заложенных на лугах в пределах эльбрусского и терского вариантов поясности. Анализ полученных картосхем показал, что на них отражены потенциально пригодные области распространения исследуемых объектов.

Ключевые слова: Центральный Кавказ, Кабардино-Балкария, мониторинг, горно-луговые экосисте-

Концепция комплексного мониторинга завоевала прочные позиции в осуществлении контроля, оценки и прогноза состояния природной среды. Его основу составляет система регулярных наблюдений за приоритетными признаками основных блоков экосистемы с целью предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей, растительных и животных организмов, природных и антропогенных объектов. Одна из основных задач мониторинга заключается не только в получении информации о современном состоянии природной среды, об изменении ее параметров и составлении прогноза состояния под влиянием антропогенных или естественных факторов, но и в разработке природоохранной стратегии.

Горные экосистемы Центрального Кавказа обладают уникальными природными, в том числе растительными ресурсами. Однако высокие антропогенные нагрузки оказывают негативное воздействие на них. Вместе с тем в ближайшее время ожидается значительное усиление антропогенного пресса, что связано в первую очередь с включением Кабардино-Балкарии в состав окружного горно-туристического кластера и активным развитием рекреационного туризма.

Таким образом, в сложившихся условиях мониторинг состояния природных и антропогенных экосистем приобретает особую актуальность, в связи с чем в работе поставлена основная цель – заложить основу для долгосрочного мониторинга луговых ценозов на Центральном Кавказе.

В качестве объекта наблюдения нами выбраны горно-луговые экосистемы. Одна из основных причин выбора объекта заключается в том, что горные луга, как и лесные ценозы, широко распространены в горах Северного Кавказа и испытывают значительное негативное антропогенное воздействие. Кроме этого, поскольку среди горно-луговых экосистем встречаются как малонарушенные (или ненарушенные), так и в разной степени антропогенно модифицированные (результат пастбищного воздействия, рекреационного и др.) они являются одним из индикаторов оценки антропогенного воздействия на горные экосистемы в целом.

Первый этап работы заключался в выборе биополигонов, проведению натуральных исследований и созданию моделей пространственной дифференциации растительных сообществ. Предполагалось, что на основе этих моделей можно будет прогнозировать потенциальное распространение луговых сообществ, а также экстраполировать полученные данные на труднодоступные для посещения участки горных экосистем. С этой целью впервые на Центральном Кавказе для мониторинга горно-луговых экосистем использован комплекс данных состоящий из радарной топографической съемки (SRTM), космических снимков спутников Landsat и климатических моделей WorldClim. Ранее опыт моделирования распространения избранных видов лишайников в горах Центрального Кавказа показал положительные результаты [1].

Цепкова Нэлли Лукинична, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории горного природопользования. E-mail: cenelli@yandex.ru

Пшегусов Рустам Хаталиевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией по мониторингу лесных экосистем. E-mail: p_rustem@inbox.ru

Ханов Залим Мирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории горного природопользования. E-mail: zalim_kh@mail.ru

Жашуев Альберт Жамалович, младший научный сотрудник лаборатории горного природопользования. E-mail: albert_403@mail.ru

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объекты исследования. Разнотравно-пестровясынищевые луга на склоне юго-юго-западной экспозиции в ущелье Адылсу, представленные малонарушенными сообществами ассоциации *Alchemillo-Festucetum woronowii* Tsepkova 1987 (биополигон 1); ненарушенные мезофильные луга, представленные сообществами ассоциации *Cephalario giganteae-Calamagrostietum arundinaceae* ass. nov. в ущелье Терскол на склоне западной экспозиции (биополигон 2); лугово-степные с признаками пастбищной дигрессии сообщества ассоциации *Artemisio chamaemelifoliae-Plantaginetum atratae* Tsepkova 2005 на склоне южной экспозиции в долине р. Баксан (биополигон 3); рудеральная растительность, представленная сообществами ассоциации *Chaerophyllo aurei-Rumicetum alpini* Tsepkova et al. 2011 в урочище Уштулу (биополигон 4).

Район исследования. Первые три биополигона находятся на территории национального парка «Приэльбрусье», относящейся в соответствии с системой высотно-поясной структуры Кавказа [2] к эльбрусскому варианту поясности. Для него характерно отсутствие пояса широколиственных лесов и доминирование в горных районах субальпийского пояса. В границах нацпарка распространены альпийские и субальпийские мезофильные и остепненные луга, сосновые, березовые и смешанные леса, скально-осыпная растительность. Климатические особенности Приэльбрусья определяют хорошо выраженный высокогорный рельеф, большие перепады высот, а также поступление западных воздушных масс со стороны Атлантики. Средняя месячная температура воздуха в январе - 3,0...-7,4°, а средняя месячная температура самого теплого месяца +9,3...+15,6°. Среднее годовое количество осадков составляет 500-724 мм, за вегетационный период - 320-500 мм [3]. Основными видами природопользования на территории национального парка являются сельскохозяйственная (содержание домашнего скота) и рекреационная деятельность, которая заключается в использовании территории для занятий туризмом, альпинизмом, горнолыжным спортом, обслуживании рекреантов в зоне отдыха.

Урочище Уштулу находится на юго-востоке Кабардино-Балкарии и входит в состав терского варианта поясности, к отличительной особенности которого относится выраженность лесного пояса, представленного широколиственными лесами из бука восточного и граба кавказского. С северо-востока урочище окаймляют отроги Бокowego Кавказского хребта с наивысшими высотами 4486 м (гора Суган) и 4050 м (гора Дых-су), с юго-запада примыкают склоны Главного Кавказского хребта. В климатическом отношении характерен избыточно-влажный климат с умеренно теплым летом и умеренно мягкой зимой.

В пределах субальпийского пояса здесь выражены скально-осыпная растительность, луговая и синантропная растительность, лесные ценозы из сосны Коха.

В прошлом веке основными типами хозяйственного природопользования в урочище Уштулу было содержание крупного и мелкого рогатого скота на лугах субальпийского и альпийского поясов, также здесь проходили всесоюзные туристические маршруты. В настоящее время количество выпасаемого скота значительно сократилось.

Методы исследования. Выбор, закладка и маркировка биополигонов для целей мониторинга проведены в 2014 г. в ходе маршрутно-рекогносцировочных исследований во время экспедиционных выездов в Приэльбрусье (территория национального парка «Приэльбрусье») и в урочище Уштулу в пределах субальпийского пояса.

Площадь каждого биополигона составляет 30x30 м², что соответствует одному пикселю мультиспектральной сцены Landsat 5. Всего было заложено четыре биополигона в ненарушенных и дигрессионных лугах. В пределах каждого полигона и на прилегающих территориях выполнено в среднем по 10 геоботанических описаний однородных растительных сообществ на пробных площадках от 20 до 100 м². Для оценки количественного участия видов использовалась комбинированная шкала Браун-Бланке: «г» - очень редки, 1-4 особи; + - разреженно и покрывают менее 1% пробной площади; 1 - проективное покрытие 1-5%, 2 - покрытие 6-15%, 3 - 16-25%, 4 - 26-50%, 5 - более 51% [4]. Эколого-флористический анализ сообществ, описанных на биополигонах 1, 3 и 4 показал их соответствие ассоциациям, выделенным на Центральном Кавказе ранее [5, 6, 7]. На биополигоне 2 выделена методом классического синтаксономического анализа [8, 9] новая ассоциация - *Cephalario giganteae-Calamagrostietum arundinaceae* ass. nov. Выделение и наименование новых единиц проводилось в соответствии с «Кодексом фитосоциологической номенклатуры» [10]. Названия растений приведены по С.К.Черепанову [11].

Для анализа и моделирования пространственного распределения луговых ассоциаций использованы методы максимальной энтропии MAXENT (последние десять лет широко используемый при анализе ареалов [12] и факторный анализ [13]. Логико-математическая основа методов MAXENT (Maxent software for species habitat modeling) позволяет по распределениям значений свойств среды выделить местообитания подобные тем, в которых обнаружена исследуемая ассоциация при справедливости гипотезы о ее равновесии с условиями среды. Местообитания с наибольшей вероятностью обнаружены - соответственно, наиболее благоприятны для обитания изучаемых ассоциаций. Факторный анализ выделяет в многомерном пространстве среды подобласть, соответствующую наблюдаемому размещению ассоциаций с вероятностью, отражающую ее относительную встречаемость. В соответствие с логикой каждого из рассматриваемых методов, MAXENT осуществляет процедуру экстраполяции за пределы многомерной подобласти занятой ассоциацией, а факторный анализ - интерполяцию на эту область. Первый метод определяет потенциально возможное пространство, второй - реализуемое.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе подхода интегрирования данных дистанционной информации и наземных исследований 2014 г. построена первичная модель пространственной дифференциации субальпийских лугов Центрального Кавказа. Использование факторного анализа методом главных компонент на основе комплекса данных дистанционного зондирования позволило выявить 4 фактора объясняющих 87,4% суммарной дисперсии, наиболее высокое значение доли в которой (32,%) приходится на климатические параметры. Так, для ассоциаций *Artemisio chamaemelifoliae-Plantaginetum atratae* и *Alchemillo-Festucetum woronowii* наибольший вес в первой главной компоненте имеет изотермальность температуры (соотношение среднегодовой и среднесуточной температуры), весовой коэффициент которой принимает значения 0,987 и 0,641 соответственно. Для рудеральных нитрофильно-бурьянистых сообществ ассоциации *Chaerophyllo aurei-Rumicetum alpini* в качестве ведущих факторов выступают участки с суммой годовых осадков свыше 1000 мм/год, расположенные выше 1500 м над ур.м (рис. 1).

На картосхеме (рис. 2) отражены потенциально пригодные (вероятность от 0,5 до 1) местонахождения объектов исследования, т.е. луговых ассоциаций (№№ 1, 2, 4) и рудеральной (№ 4), построенные с применением метода MAXENT.

Согласно картосхеме (рис. 2, № 1) наибольшую площадь распространения имеют пестроовсянищевые луга, доминантом которых выступает *Festuca varia Haenke (Festuca woronovii Hack)* – реликт третичного времени, многолетний злак до 60-70 см высотой с мощной плотной дерниной, что создает на склонах гор кочковатую поверхность. По характеру стратегии в растительных сообществах этот злак обладает ярко выраженными чертами виолентности и эксплерентности, поэтому среди пестроовсянников обнаруживаются как первичные, коренные, так и вторичные и даже пионерные ценозы. Современная климатическая обстановка и хозяйственная деятельность способствуют этому. Пестроовсянищевые сообщества действительно широко распространены в горах Центрального Кавказа, о чем свидетельствуют

публикации многих ботаников, а также наши собственные наблюдения. Они, как правило, встречаются в области Главного и Водораздельного Кавказских хребтов на высоте свыше 2000 м над ур. м. преимущественно на крутых склонах.

Довольно часто согласно прогнозной модели (рис. 2 № 3) на Центральном Кавказе встречаются рудеральные сообщества в составе ассоциации *Chaerophyllo aurei-Rumicetum alpini*, выделенной нами на основе геоботанических описаний, выполненных на территории национального парка «Приэльбрусье» [7]. В 2014 г. в урочище Уштулу нами обнаружены сообщества с доминированием *Rumex alpinus*, распространенные в окрестностях брошенных кошар и некоторых сохранившихся действующих. Щавель альпийский животными не поедается, поэтому обильно разрастается как сорняк по унавоженным местам на горных пастбищах и близ стоянок скота, а в естественных условиях встречается по берегам горных рек, ручьев.

Крайне редко встречаются сообщества ассоциации *Cephalario giganteae-Calamagrostietum arundinaceae* (рис. 2 № 2), что можно объяснить общей высокой антропогенной нагрузкой на горные экосистемы Приэльбрусья. Ценофлора ассоциации насчитывает 85 видов, большинство из которых мезофиты. Диагностическими видами также являются мезофиты *Betonica macrantha*, *Cephalaria gigantea*, *Polygonum carneum*, *Trifolium canescens* с постоянством IV-V баллов. Данная ассоциация отнесена к классу *Mulgedio-Aconitetea* Hadac et Klika in Klika et Hadac 1944, объединяющему высокотравные мезофильные сообщества субальпийских лугов. К особенностям выделенной ассоциации можно отнести локализацию на участках с определенным уровнем увлажнения (количество осадков в наиболее сухой месяц выше 33 мм) и количество осадков, выпадающих в марте (рис. 3), т.е. основными факторами, ограничивающими распространение выявленной ассоциации в построенной модели, выступают климатические. Так же отмечается отсутствие засоренности травостоя рудеральными видами, что дало нам основание считать ее примером ненарушенных мезофильных лугов, сохранившихся небольшими островками на склонах западной и юго-юго-западной экспозиции на высоте свыше 2000 м над ур. м.

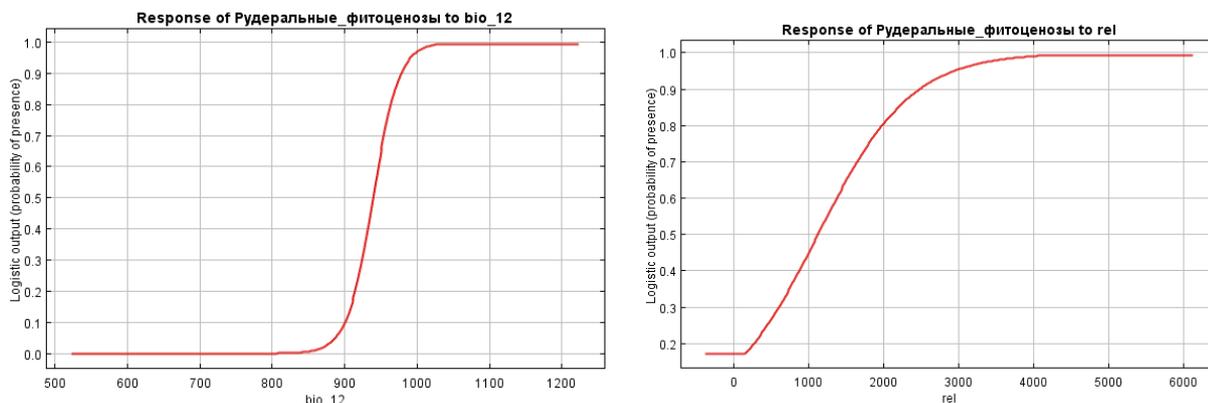


Рис. 1. Зависимость вероятность встречаемости рудеральных фитоценозов годового количества осадков и высоты

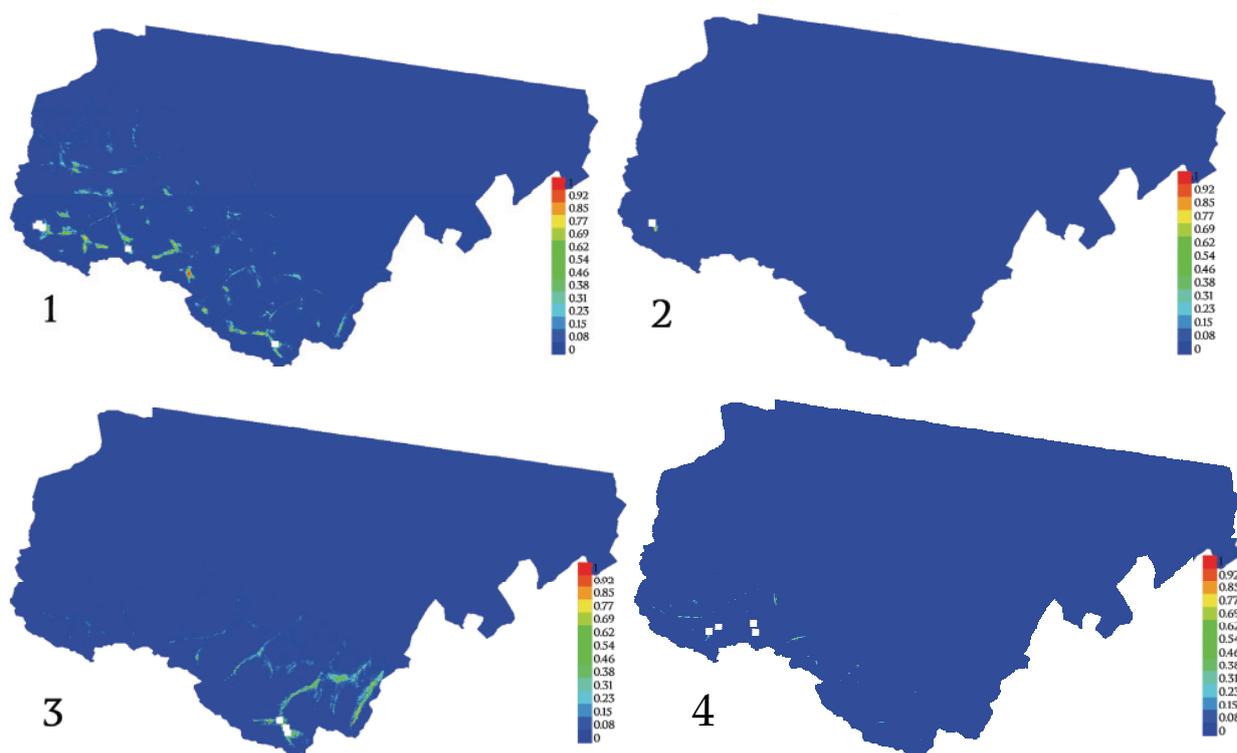


Рис. 2. Картограмма распределения луговых ассоциаций:

1 – *Alchemillo-Festucetum woronowii* (пестроовсяницевые); 2 – *Cephalario giganteae-Calamagrostietum arundinaceae* (мезофильные вейниковые); 3 – *Chaerophyllo aurei-Rumicetum alpini* (рудеральные), 4 – *Artemisio chamaemelifoliae-Plantaginetum atratae*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований определены биополигоны для осуществления задач по долговременному мониторингу состояния горно-луговых экосистем с разной степенью нарушенности в зоне рекреации. Они представлены ассоциациями *Cephalario giganteae-Calamagrostietum arundinaceae* ass. nov. prov., *Artemisio chamaemelifoliae-Plantaginetum atratae*, *Alchemillo-Festucetum woronowii* и *Chaerophyllo aurei-Rumicetum alpini*, послужившими объектами анализа и пространственного распределения.

Впервые на Центральном Кавказе по результатам натурных наблюдений и с использованием космических снимков спутников Landsat, а так-

же данных радарной топографической съемки (SRTM) и климатических моделей WorldClim получены сведения о характеристиках ландшафта и рельефа, проведены анализ и моделирование пространственного распределения луговых ассоциаций. Использование факторного анализа методом главных компонент позволило выявить высокое значение климатических параметров, определяющих дифференциацию выделенных ассоциаций, что в условиях изменения климата определяет необходимость дальнейшего мониторинга состояния горно-луговых сообществ.

Полученная модель пространственной дифференциации луговых ассоциаций Центрального Кавказа к текущему моменту уже показала свою высокую прогностическую точность, позволив

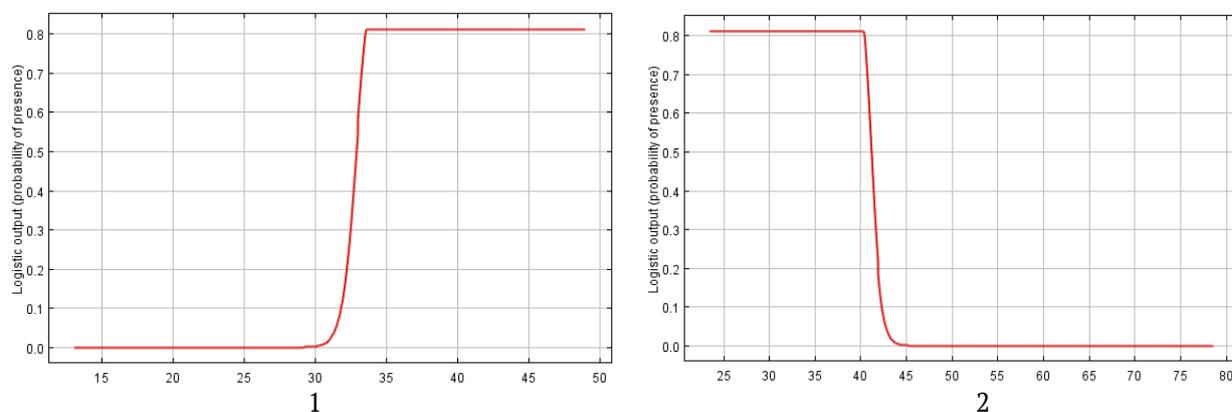


Рис. 3. Зависимость вероятности встречаемости ассоциации *Cephalario giganteae-Calamagrostietum arundinaceae* от климатических факторов (1 – количество осадков в наиболее сухой месяц; 2 – количество осадков в марте)

выявить выделенные ассоциации в местах с наибольшей вероятностью встречаемости. Показатели точности модели на данном этапе исследований дают основания экстраполировать полученные данные на обширные территории и осуществлять биологический мониторинг их состояния не только на биополигонах, но и на труднодоступных для посещения участках горных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханов, З.М. Опыт использования пространственно-го анализа и моделирования распространения избранных видов лишайников Центрального Кавказа (на примере Кабардино-Балкарской республики) / З.М. Ханов, Р.Х. Пшегусов // Программа и труды II Международн. конф. – СПб., 2014. – С. 221-230.
2. Соколов, В.Е. Млекопитающие Кавказа: Насекомоядные / В.Е. Соколов, А.К. Темботов – М.: Наука, 1989. – 548 с.
3. Разумов, В.В. Экосистемы гор Центрального Кавказа и здоровье человека / В.В. Разумов, Х.А. Курданов, Л.А. Разумова, А.Г. Крохмаль, Л.М. Батырбекова – Москва-Ставрополь: Илекса, Ставропольсервисшкола, 2003. – 448 с.
4. Миркин, Б.М. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций) / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – Уфа: Гилем, 1998. – 413 с.
5. Цепкова, Н.Л. К синтаксономии пастбищных сообществ высокогорных лугов Центрального Кавказа / Н.Л. Цепкова // Труды ВГИ. – Вып. 68. – М.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 82-96.
6. Цепкова, Н.Л. К синтаксономии высокогорных луговых степей Центрального Кавказа / Н.Л. Цепкова // Растительность России. – № 7. – 2005. – С. 93-96.
7. Цепкова, Н.Л. Синантропные сообщества в национальном природном парке «Приэльбрусье» (Центральный Кавказ) / Н.Л. Цепкова, Л.М. Абрамова, И.Т. Таумурзаева // Материалы Всероссийской научн. конф.: Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы. – СПб., 2011. – Том 1. – С. 293-296.
8. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde / J. Braun-Blanquet – 3 Aufl. – Wien-New-York: Springer Verlag, 1964. – 865 s.
9. Westhoff, V. The Braun-Blanquet approach / V. Westhoff, E. van der Maarel // Classification of plant communities. Ed. by R.H. Whittaker. – The Hague, 1978. – P. 287-399.
10. Вебер, Х.Э. Международный кодекс фитосоциологической номенклатуры / Х.Э. Вебер, Я. Моравец, Ж.-П. Терийя // Растительность России. № 7. – 2005. – С. 3–38.
11. Westhoff, V. The Braun-Blanquet approach / V. Westhoff, E. van der Maarel // Classification of plant communities. Ed. by R.H. Whittaker. – The Hague, 1978. – P. 287-399.
12. Baldwin R. A. Use of maximum entropy modeling in wildlife research / R. A. Baldwin – Entropy, 2009. – № 11. – P. 854– 866.
13. Пузаченко, Ю. Г. Анализ пространственно-временной динамики экологической ниши на примере популяции лесной куницы (*Martes martes*) / Ю.Г. Пузаченко, А.С. Желтухин, Р.Б. Сандлерский // Журнал общей биологии. – 2010. – № 71(6). – С. 467-487.

THE ASSESSMENT OF HERBACEOUS ASSOCIATIONS DISTRIBUTION BASED ON THE REMOTE SENSING DATA IN MONITORING THE STATE OF MOUNTAIN MEADOWS IN THE CENTRAL CAUCASUS (KABARDINO-BALKARIA)

© 2015 N.L. Tsepikova, R.Kh. Pshegusov, Z.M. Khanov, A.Zh. Zhashuev

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories
of Kabardino-Balkarian Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Nalchik

The possibility to use spatial distribution modelling of meadow associations for monitoring their state in mountain ecosystems of the Central Caucasus, is considered. In that case, the data on radar topographic mapping (SRTM), Landsat satellite photos and natural observational data performed on 4 biological proving grounds in the meadows embracing the elbrusskiy and terskiy variants of vertical zonation, are applied. The analysis of the obtained diagrammatic maps has shown that potentially useful ranges of the objects under study are presented in them. *Keywords:* Central Caucasus, Kabardino-Balkaria, monitoring, mountain meadow ecosystems, community, model of Spatial differentiation.

Nelli Lukinichna Tsepikova, Candidate of Biology, Senior Scientist in the Laboratory of Mountain Nature Management.
E-mail: cenelli@yandex.ru

Rustam Chatalievich Pshegusov, Candidate of Biology Head of the Laboratory for Monitoring of Forest Ecosystems.
E-mail: p_rustem@inbox.ru

Zalim Mirovich Khanov, Candidate of Biology, Senior Scientist of the Laboratory of Mountain Nature Management.
E-mail: zalim_kh@mail.ru

Albert Zhashuevich Zhachuev, Junior Research Fellow of the Laboratory of Mountain Nature Management.
E-mail: albert_403@mail.ru