

## Оценка экологического состояния «норма» аридных пастбищ по геоботаническим и MODIS данным

А.Н. Золотокрылин<sup>1</sup>, И.А. Трофимов<sup>2</sup>, Т.Б. Титкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт географии Российской академии наук, Москва 119017, Россия  
E-mails: azolotokrylin1938@yandex.ru, ttitkova@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Всероссийский научно-исследовательский институт кормов имени В. Р. Вильямса  
Московская область 141055, Россия  
E-mail: viktrofi@mail.ru*

Цель данной работы включает наземную визуальную геоботаническую оценку состояния пастбищ на ключевых участках по маршруту (восточная часть Ростовской области - Республика Калмыкия), дистанционную регистрацию параметров этих участков (NDVI, альbedo, температура поверхности) с помощью радиометра MODIS. Наземная оценка пастбищ по маршруту проведена 2-4 августа 2012 г. Данные MODIS относятся к периоду 28 июля-12 августа 2012 г. Рассмотрены только два экологических уровня деградации пастбищ по маршруту. Первый уровень («норма») включает невыпасаемые, а также несбитые и слабо сбитые пастбища. Это означает практическое отсутствие деградации, или она очень слабая, или слабая. Во второй уровень (деградированные пастбища) вошли средне сбитые, сильно сбитые, очень сильно сбитые и скальпированные пастбища, имеющие соответственно экологический уровень «риск», «кризис», «бедствие». Таким образом, параметры MODIS вычислялись только для пастбищ в «норме» и деградированные отдельно для степных и пустынных территорий.

Маршрутные геоботанические исследования, с быстрым охватом большой территории, включали вычисление координат участков, их геоботаническое описание и оценку степени деградации растительного покрова, количественную и качественную оценку надземной фитомассы. Всего было обследовано 19 ключевых участков с добавлением двух стационарных 20-21 в районе Биосферного заповедника «Черные земли». В итоге по MODIS данным построена карта пастбищ с экологическим уровнем «норма» и совокупность экологических уровней «риск», «кризис», «бедствие» пастбищ на территории 45-47,5°с.ш. и 42-47,5°в.д. Доля деградированных пастбищ на всей территории, включая пастбища на пахотных землях, составляет 19%. На территории пахотных земель локализуется только 4% пастбищ в состоянии «норма». В сумме доля деградированных пастбищ вне массива пахотных земель составляет 85%.

**Ключевые слова:** геоботаническое описание, деградация пастбищ, пахотные земли, экологический уровень пастбищ.

### Введение

Состояние земель засушливых территорий юга России всецело зависит от состояния природных пастбищ. Деградация природных пастбищ в результате чрезмерных антропогенных нагрузок сопровождается интенсивным разрушением почвенного покрова, появлением пыльных бурь, увеличением площадей развеваемых песков. Эти процессы приводят к быстро протекающему разрушению природных экосистем, опустыниванию земель и дальнейшему расширению опустыненных территорий.

Чтобы избежать экологической катастрофы, важно знать экологический уровень деградации пастбищ от состояния «норма» до критических состояний (риск, кризис и бедствие) (Виноградов, 1993). Нормой целесообразно считать несбитые, слабо сбитые или невыпасаемые некоторое время пастбища.

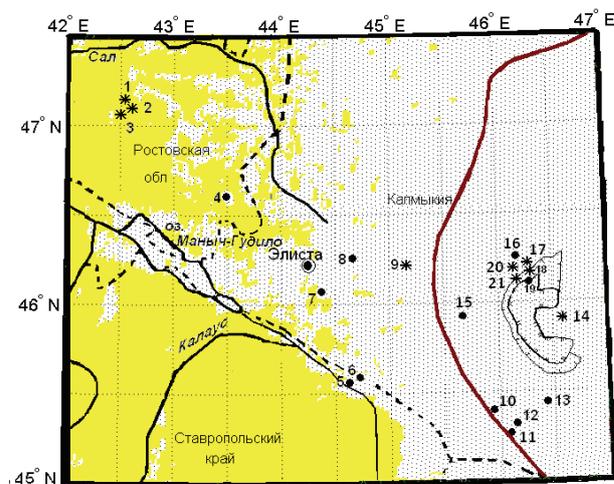
Состояние пастбищ диагностируется разными методами. Вот некоторые из них: аэрокосмические съемки при геоботаническом обследовании природных кормовых угодий степ-

ной зоны (Семенов и др., 1987; Методика..., 1991, 1999; Косолапов и др., 2010), дистанционный эколого-экономического мониторинг аридных пастбищ (Кулик и др., 2013), анализ данных вегетационного индекса (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), MODIS (the MODerate Resolution Imaging Spectro radiometer) и ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus) Landsat-7 (Федорова, Уланова, 2011; Золотокрылин и др., 2013). При интерпретации результатов диагноза состояния пастбищ в большинстве случаев возникают значительные неопределенности. Чтобы их уменьшить, в данной статье предлагается разделить все многообразие состояний пастбищ на «норму» и критические состояния, включающие риск, кризис и бедствие.

Целью данной работы является в визуальной геоботанической оценке состояния пастбищ по маршруту восточная часть Ростовской области - Республика Калмыкия, для определения количественных критериев состояния пастбищ «норма» по отношению к другим состояниям по данным MODIS (NDVI, альbedo, температура поверхности). Итог исследования состоит в дифференциации обширной территории 45-47,5° с.ш. и 42-47,5° в.д. на близкие к норме пастбища и деградированные по данным MODIS.

### Территория, материалы и методика

Мониторинг состояния природных пастбищ проведен 2–4 августа 2012 года по маршрутам Зимовники (Ростовская область) – Элиста, Яшалта – Чограй, Чограй–Элиста–Улан-Эрге, Улан-Эрге–Яшкуль, Яшкуль–Комсомольский–Тавн-Гашун–Утта–Хулхута. На *рис. 1* показано распределение ключевых участков на территории. Согласно фитоэкологической карте Северного Прикаспия (Сафронова, 2002), маршрут начинался в южной степи, сильно распашанной в Ростовской области и Ставропольском крае, а заканчивался в северной пустыне.



*Рис. 1. Ключевые участки по маршруту 2-4 августа 2012 г.: точки – норма, звездочки – выпасаемые. Территория исследования (45-47,5°с.ш. и 42-47,5°в.д.). Цвет – пахотные земли. Линия коричневого цвета – зональная граница между пустынной и степной растительностью. Выделены заповедная и буферная зоны Биосферного заповедника Черные земли*

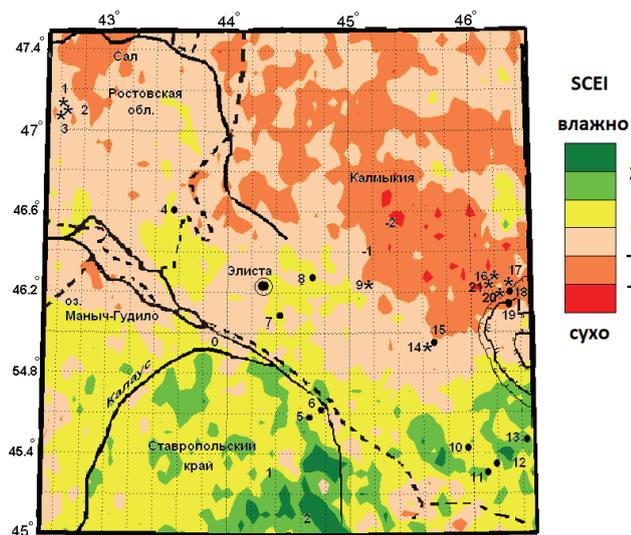


Рис. 2. Спутниковый индекс климатических экстремумов увлажнения (SCEI) на территории 28-12 августа 2012 г.  $SCEI < -2$  – сильная засуха,  $-1 < SCEI < 1$  – увлажнение близко к норме.  $SCEI > 2$  – увлажнение выше нормы.

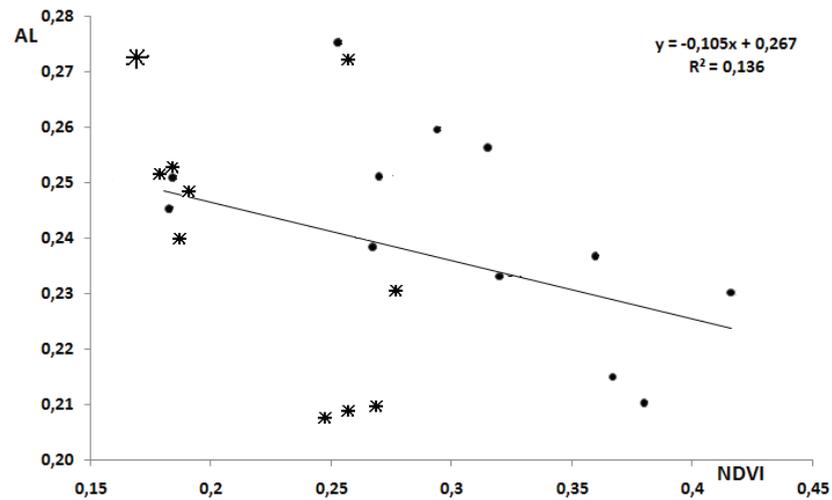


Рис. 3. Зависимость альбедо (Al) ключевых участков от значений NDVI 28 июля-12 августа 2012 г. Ключевые участки точки – норма, звездочки – выпасаемые.

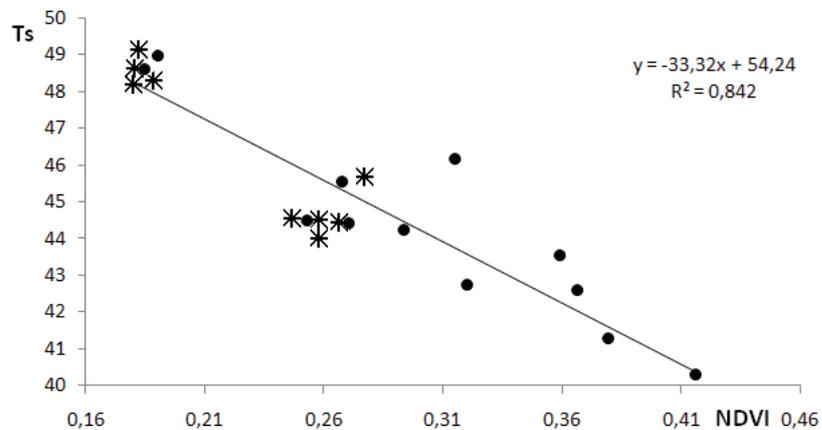


Рис. 4. Зависимость температуры поверхности ключевых участков ( $T_s$ ) от значения NDVI 28 июля-12 августа 2012 г. Ключевые участки: точки – норма, звездочки – выпасаемые.

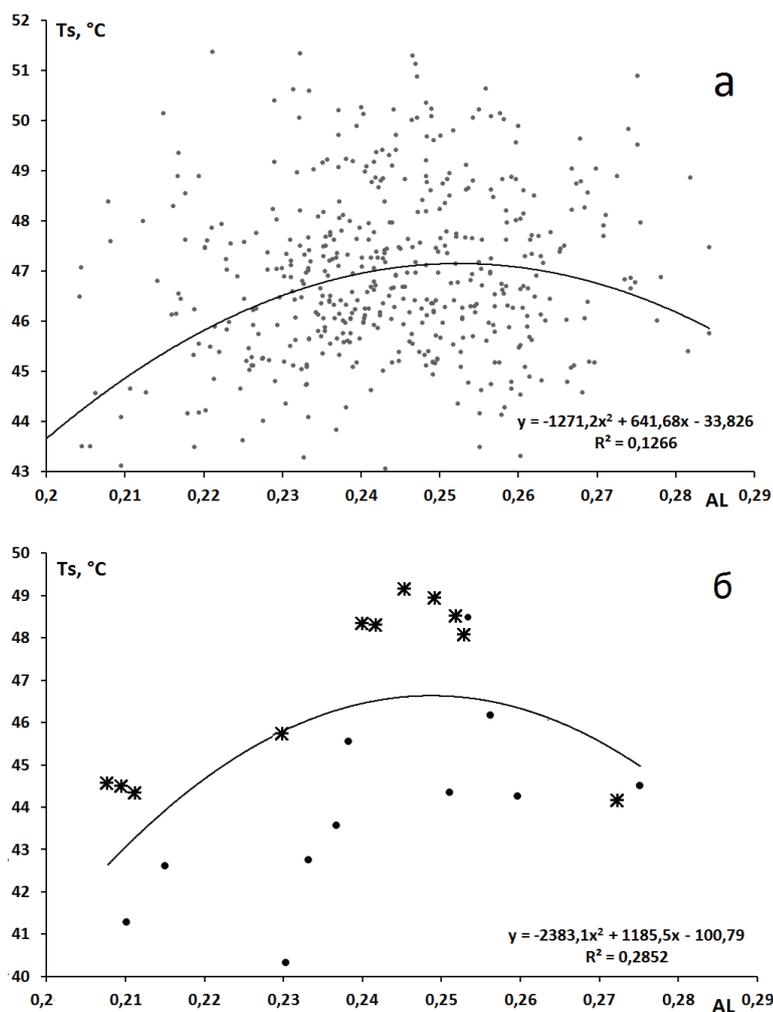


Рис. 5. Зависимость температуры поверхности ( $T_s$ ) от альbedo (AL) 28 июля-12 августа 2012 г. а) территория 45-47,5°с.ш., 42,5-47°в.д. б) ключевые участки: точки - норма, звездочки – выпасаемые.

Полевое геоботаническое обследование природных кормовых угодий, изучение динамики их состояния и продуктивности проводили по методикам ВНИИ кормов (Семенов и др., 1987; Методика..., 1991, 1999) с использованием метода ключевых участков. Маршрутные с быстрым охватом большой территории геоботанические исследования включали вычисление координат участков, их геоботаническое описание и оценку степени деградации растительного покрова, качественную оценку надземной фитомассы. Из несколько десятков обследованных участков было выбрано 19 ключевых участков с добавлением двух стационарных 20-21 в районе Биосферного заповедника «Черные земли» (Федорова, Уланова, 2011; Золотокрылин и др., 2013). Так как разрешение спутниковых данных составляло 1x1 км, то выбирались участки с большей площадью и удаленные друг от друга на расстоянии нескольких километров. Геоботанические описания участков сделаны с учетом зональности растительности и почв, меняющихся на территории метеорологических условий (рис. 2) и связей между параметрами MODIS (рис. 3-5). Участки 1-9

расположены в частично распаханной южной степи на светлокаштановых почвах, а участки 10-21 в северной пустыне преимущественно на бурых почвах (рис. 1). Геоботаническое обследование проходило в период, когда эфемеры, эфемероиды и однолетники в составе травостоя уже завершили свой цикл вегетации и ко времени наблюдения представлены только сухостоем (сухой массой) соломенно-желтого цвета. Физиономичность участков с доминированием однолетников (гулявник), эфемеров и эфемероидов (мятлик луковичный, осочка узколистная) была поэтому одинакова.

В работе данные MODIS представлены средними значениями за 16 дней альбедо (Al), температуры поверхности (Ts), вегетационного индекса (NDVI) ([https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis\\_products](https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products)) Центра LP DAAC NASA. Все параметры имеют разрешение 1x1 км. Анализировались средние данные за период 28 июля-12 августа 2012 г.

Альбедо (BRDF-Albedo Model Parameters 16-Day L3 0.05 Deg CMG) определялось по модели MCD43 C1 версии 005 с дискретностью 16 дней. В данной версии объединялись данные спутников MODIS/Terra+Aqua BRDF/Albedo. Значения индекса растительности NDVI (Vegetation Indices Monthly L3 Global 0.05 Deg CMG) были получены по данным MODIS/Terra модели MOD13C1 – варианта 005 с шагом в 16 дней. Температура поверхности (Land Surface Temperature and Emissivity Monthly L3 Global 0.05 Deg CMG) определялась по модели MOD11 C2 версии 005, по данные спутника MODIS/Terra с периодичностью 8 дней. По двум 8 дневным срокам вычислялось среднее за период 16 дней, идентичным периодам для альбедо и NDVI. Спутниковые данные с первоначальным разрешением 0,05° x 0,05° переводились в сетку 1x1 км при помощи линейной экстраполяции в программе Surfer.

Условия увлажнения территории в период 28 июля - 12 августа оценивались по спутниковому индексу климатических экстремумов увлажнения засушливых земель (Золотокрылин, Титкова, 2012):

$$SCEI_i = - (\Delta A_i / \sigma A + \Delta T_{s_i} / \sigma T_s) + \Delta NDVI_i / \sigma NDVI,$$

где  $\Delta A_i$  – аномалия альбедо за  $i$  год;  $\sigma A$  – среднеквадратическое значение альбедо за базовый период (в данном случае за 2000-2011 гг.);  $\Delta T_{s_i}$  - аномалия температуры поверхности за  $i$  год;  $\sigma T_s$  - среднеквадратическое значение температуры поверхности за базовый период;  $\Delta NDVI_i$  - аномалия NDVI за  $i$  год;  $\sigma NDVI$  - среднеквадратическое значение NDVI за базовый период.

Значения индекса нормируются на их среднеквадратическое отклонение, чтобы исключить незначимые («шумовые») значения индекса. В этом случае анализировались

только значения индекса  $SCEI < -1$  (засуха) и  $SCEI > 1$  (переувлажнение). Значения индекса от  $-1$  до  $-2$  характеризуют слабую засуху, от  $-2$  до  $-3$  - умеренную, от  $-3$  до  $-4$  - сильную, менее  $-4$  - экстремальную.

В работе рассмотрено два условных экологических уровня деградации пастбищ вместо рекомендуемых в работе (Кулик и др., 2013) четырех. Невыпасаемые, а также несбитые и слабо сбитые пастбища отнесены к уровню «норма» - это означает практическое отсутствие деградации, или она очень слабая, или слабая. Средне сбитые, сильно сбитые, очень сильно сбитые и скальпированные пастбища, имеющие, соответственно, экологический уровень «риск», «кризис», «бедствие», рассматривались в совокупности как деградированные. Таким образом, параметры MODIS вычислялись только для пастбищ в «норме» и деградированные. Данный подход к дифференциации пастбищ определил итоговый результат исследования: построение карты недеградированных (экологический уровень «норма») и деградированных (совокупность экологических уровней «риск», «кризис», «бедствие») пастбищ.

## Результаты

Летняя засуха 2012 г. затронула значительные части Ростовской области и Калмыкии и продолжалась в августе во время проведения геоботанической съемки по маршруту (рис. 2). Условия увлажнения близкие к норме в начале августа отмечались в восточной части Ставропольского края и на юге Калмыкии. Увлажнение территории выше нормы наблюдалось на юге Калмыкии и в соседнем Ставропольском крае. Засуха охватила 42% территории, а увлажнение выше нормы наблюдалось на 25% территории. Примерно половина южностепных и пустынных участков находилась в сфере влияния засухи, что учитывалось при анализе геоботанических и MODIS данных.

Рассмотрим связи между параметрами MODIS по всему маршруту. В начальный период вегетации обычно наблюдается высокая и значимая отрицательная корреляция между NDVI и альбедо. Она снижается в августе в результате завершения цикла развития однолетников (рис. 3). Но даже при слабой корреляции ( $-0,37$ ) видно, что выпасаемые участки находятся в диапазоне NDVI менее 0,28, при этом NDVI пустынных выпасаемых участков не превышает значения 0,20.

Для NDVI и температуры поверхности характерна высокая и значимая отрицательная корреляция (рис. 4). Пустынные выпасаемые участки группируются отдельно от степных: пустынные характеризуются низким NDVI и повышенной температурой  $48-47,5$  °C, а степные - более высоким NDVI и температурой в диапазоне  $43,5-46,0$  °C. В то же время

выпасаемые участки могут не отличаться от нормальных участков по рассматриваемым параметрам как в степи, так и в пустыне.

Корреляция между альбедо и температурой поверхности на территории может быть представлена как композиция доминирующей положительной в степи и доминирующей отрицательной в пустыне (рис. 5). Положительная корреляция в степи обусловлена высокой ролью эвапотранспирации в регулировании температуры поверхности (Золотокрылин, 2003). Если альбедо увеличивается (это бывает в случае изреживания растительности), то затрачиваемая ранее энергия на транспирацию тратится на прогрев почвы и ее температура повышается и, наоборот. На рис. 5 нелинейная аппроксимация точек для всей территории может быть интерпретирована при низких значениях альбедо (больших значениях NDVI в степи) как положительно коррелируемые, а при высоком альбедо (низких значениях NDVI в пустыне) как отрицательно коррелируемые. Следовательно, эвапотранспирационное регулирование температуры поверхности при переходе от степи к пустыне постепенно замещается радиационным регулированием. Как видно из рис. 5, аппроксимационная кривая достигает максимума при значении  $Al \sim 0,25$ . При дальнейшем повышении альбедо роль эвапотранспирационного механизма снижается, а роль радиационного механизма начинает быстро возрастать. Согласно зависимости  $Al$  от NDVI (рисунок не приводится)  $Al=0,25$  равнозначно  $NDVI_{MODIS}=0,24$ .

Таблица 1. Средние значения и среднеквадратические отклонения (std) NDVI, альбедо (Al), температуры поверхности (Ts) в °C степных (1-9) и пустынных (10-21) ключевых участках.

Ключевые участки	степные						пустынные					
	выпасаемые			норма			выпасаемые			норма		
Параметры MODIS	NDVI	Al	Ts	NDVI	Al	Ts	NDVI	Al	Ts	NDVI	Al	Ts
Среднее	0,26	0,21	44,8	0,37	0,23	42,1	0,20	0,25	47,7	0,25	0,25	46,1
std	0,01	0,01	0,6	0,03	0,01	1,2	0,05	0,01	2,0	0,03	0,01	2,0

Таблица 2. Разность параметров MODIS между нормальными и выпасаемыми участками и ее значимость

Ключевые участки	степные			пустынные		
	NDVI	Al	Ts	NDVI	Al	Ts
Параметры MODIS						
Разность	0,11	0,02	-2,7	0,05	0,0	-1,6
Значимость 95%	<b>значима</b>	не значима	<b>значима</b>	<b>значима</b>	не значима	не значима

Таблица 3. Разность параметров MODIS между выпасаемыми (нормальными) участками, соответственно, в степи и пустыне, и ее значимость

Параметр MODIS	NDVI		Ts	
	выпасаемые	норма	выпасаемые	норма
Ключевые участки				
Степь	0,26	0,37	44,8	42,1
Пустыня	0,20	0,25	47,7	46,1
разность	0,06	0,12	-3,1	-4,0
Значимость 95%	<b>значима</b>	<b>значима</b>	<b>значима</b>	<b>значима</b>

Неоднозначность связи между альбедо и температурой поверхности в степных и пустынных пастбищах следует учитывать при сравнении параметров MODIS (табл. 1-3).

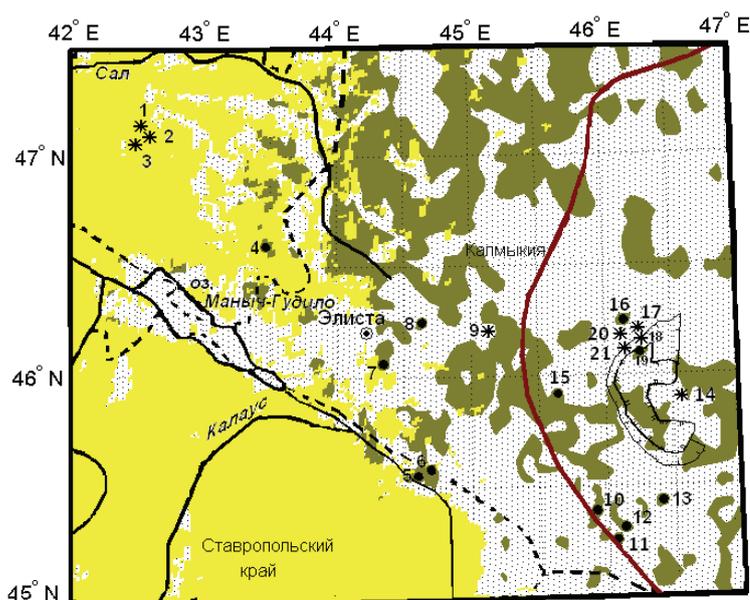
Как видно из табл. 1-2, участки в состоянии «норма» значительно отличаются от выпасаемых по NDVI и температуре поверхности, как в степи, так и пустыне. Но альбедо выпасаемых и нормальных участков в пустыне в среднем не различаются.

В гипотетическом случае, т.е. при состоянии пастбищ «норма», среднее значение NDVI в степи может составить 0,37, а пустыни 0,25. Перевыпас уменьшил NDVI степных пастбищ почти на 30%, а пустынных - на 20%. В итоге NDVI выпасаемых степных участков приблизился к NDVI пустынных участков, находящихся в состоянии норма.

Из табл. 1-2 можно определить комбинацию значений NDVI и Ts, характеризующую состояние пастбищ «норма» для степи (NDVI = 0,34-0,40; Ts = 40,9-43,3°C) и для пустыни (NDVI = 0,22-0,28; Ts = 44,1-48,1°C). Распределение пастбищ на территории, состояние которых близко к норме и хуже, чем норма, приведено на рис. 6.

Среди пахотных земель уверенно можно выделить только участки пастбищ по своему состоянию приближающиеся к норме (рис. 6), т.к. отсутствие геоботанической информации о земельных угодьях, занятых под разные сельскохозяйственные культуры, не позволяет идентифицировать их с помощью MODIS данных. Вне пахотных земель достаточно выделить пастбища в состоянии норма, чтобы оставшиеся пастбища отнести к деградированным.

На исследуемой территории пастбища в состоянии «норма» занимают около 15% от всех пастбищ. Пастбища с разным экологическим уровнем деградации составляют 85%. На территории пахотных земель локализуется только 4% пастбищ в состоянии «норма». Доля нормальных пастбищ на всей территории повышается до 19%.



*Рис. 6. Карта пастбищ в состоянии «норма» и деградированных (совокупность экологических уровней деградации «риск», «кризис», «бедствие»). Желтым цветом выделены пахотные земли. Зеленым цветом выделены пастбища в состоянии «норма». Точками выделены деградированные пастбища. Линия коричневого цвета – зональная граница между пустынной и степной растительностью. Ключевые участки пастбищ: точки – «норма»; звездочки – деградированные. Выделены заповедная и буферная зоны Биосферного заповедника Черные земли.*

### Заключение

В результате визуальной геоботанической оценки состояния степных и пустынных пастбищ на ключевых участках предложен подход к оценке состояния аридных пастбищ, построенный на синтезе геоботанических обследований ключевых участков по маршруту и их представления с помощью данных MODIS (NDVI, альбедо, температура поверхности).

Особенность подхода заключается в том, что рассмотрены только два экологических уровня деградации пастбищ. Первый уровень («норма») включает невыпасаемые, а также несбитые и слабо сбитые пастбища. Это означает практическое отсутствие деградации, или она очень слабая, или слабая. Во второй уровень (деградированные пастбища) вошли средне сбитые, сильно сбитые, очень сильно сбитые и скальпированные пастбища, имеющие, соответственно, экологический уровень «риск», «кризис», «бедствие». Таким образом, параметры MODIS вычислялись только для пастбищ в «норме» и деградированных отдельно для степных и пустынных территорий.

В итоге, по данным MODIS построена карта пастбищ с экологическим уровнем «норма» и совокупность экологических уровней «риск», «кризис», «бедствие» пастбищ на территории 45-47,5°с.ш. и 42-47,5°в.д. Доля недеградированных пастбищ на всей территории, включая пастбища на пахотных землях, составляет 19%. На территории пахотных

земель локализуется только 4% пастбищ в состоянии «норма». В сумме доля деградированных пастбищ вне массива пахотных земель составляет 85%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОНЗ № 13 (проекта «Опустынивание засушливых земель юга России в контексте изменений климата»).

### Список литературы

1. *Виноградов Б.В.* Дистанционные индикаторы опустынивания и деградация почв // Почвоведение. 1993. № 2. С. 660-663.
2. *Золотокрылин А.Н.* Климатическое опустынивание. Отв. ред. А.Н.Кренке. М.: Наука, 2003. 246 с.
3. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Спутниковый индекс климатических экстремумов засушливых земель // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. № 4 (53). С. 5-12.
4. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Уланова С.С., Федорова И.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.
5. *Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П.,* Агроландшафты Поволжья. Районирование и управление. Москва–Киров: "Дом печати – ВЯТКА", 2010. 335 с.
6. *Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферева В.Г.* Геоинформационный анализ очагов опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. 2013, Т. 19. № 3 (56). С. 91-98.
7. Методика крупномасштабного геоботанического обследования и картографирования природных кормовых угодий с применением дистанционных методов, 1991. М.: РосНИИземпроект. 117 с.
8. Методика мониторинга природных кормовых угодий с использованием дистанционных методов, 1998. М.: РАСХН. 66 с.
9. *Семенов Н.А., Савченко И.В., Дмитриева С.И., Трофимов И.А., Пастушенко Н.Ф.* Методические рекомендации по использованию материалов аэрокосмической съемки при геоботаническом обследовании природных кормовых угодий степной зоны. М.: ВАСХНИЛ, 1987, 92 с.
10. *Трофимов И.А.* Методологические основы аэрокосмического картографирования и мониторинга природных кормовых угодий. – М.: Россельхозакадемия, 2001. 74 с.
11. *Федорова Н.Л., Уланова С.С.* Изучение процессов антропогенной динамики естественных экосистем с использованием ГИС-технологий и материалов дистанционного зондирования Земли // Вестник Института: Правительство Республики Калмыкия. Институт комплексных исследований аридных территорий, 2011. № 2 (23). С. 28-34.

## Ecological conditions estimation: "normal" arid pastures by MODIS and geobotanical data

A.N. Zolotokrylin<sup>1</sup>, I.A. Trofimov<sup>2</sup>, T.B. Titkova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow 119017, Russia  
E-mails: azolotokrylin1938@yandex.ru, ttitkova@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Russian Academy of Agricultural Sciences, Moscow Region 141055, Russia  
E-mail: viktrofi@mail.ru*

The main goals of the study include ground-based visual geobotanic evaluation of pastures at key plots routed along the Rostov Region (east) – Kalmykia Republic line, as well as remote registration of these areas' parameters (NDVI, albedo, surface temperature) by radiometer MODIS. Ground-based evaluation of pastures was accomplished 2-4 August 2012; MODIS data were collected 28 July – 12 August 2012. Two ecological degrees of degradation were considered: 1) first degree (norm) means no degradation or little degradation; it includes "non-grazed", "non-trodden", "very slight trodden" and "slight trodden" pastures; 2) second degree (degraded pastures) includes "medium trodden", "heavy trodden", "very high trodden" and "scalped type" pastures with ecological degree "risk",

“crisis” and “disaster”. Thus, MODIS parameters were calculated for “normal” pastures and for degraded ones (steppe and desert pastures separately).

Geobotanic route (with quick scope) examination includes plot coordinates calculation, plots geobotanic description and quantitative and qualitative evaluations of ground-level phytomass. Altogether 19 key plots (with two additional plots No. 20-21 near the Black Soils biosphere reserve) were examined. As a result, pastures’ map with ecologic evaluations (level degree “norm” and levels “risk”, “crisis” and “disaster”) for the territory between 45-47,5° North and 42-47,5° East is plotted. Share of non-degraded pastures (including pastures at arable lands) is 19%. Only 4% of pastures with grade “norm” are localized at arable lands. The share of degraded pastures outside the arable lands massive is about 85%.

**Keywords:** geobotanical descriptions, degradation of pastures, arable land, ecological level pastures.

## References

1. Vinogradov B.V., Distantcionnye indikatory opustynivaniya i degradatsiya pochv (Remote indicators of desertification and land degradation), *Pochvovedenie*, 1993, No. 2, pp. 660-663.
2. Zolotokrylin A.N., *Klimaticheskoe opustynivanie* (Climatic desertification), Moscow: Nauka, 2003, 246 p.
3. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Sputnikovyi indeks klimaticheskikh ekstremumov zasushliviyykh zemel' (Satellite climate extremes index drylands), *Aridnye ekosistemy*, 2012, Vol. 18, No. 4 (53), pp. 5-12.
4. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Ulanova S.S., Fedorova I.L., Nazemnye i sputnikovye issledovaniya produktivnosti pastbishch Respubliki Kalmykii s razlichnoi stepen'yu degradatsii rastitel'nykh soobshchestv (Ground and satellite productivity investigation of Kalmykia's pastures of different degrees of vegetation degradation), *Aridnye ekosistemy*, 2013, Vol. 19, No. 4 (57), pp. 31-39.
5. Kosolapov V.M., Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P., *Agrolandshafty Povolzh'ya. Raionirovanie i upravlenie* (Agrolandscapes of the Volga Region. Regionalization and management), Moscow–Kirov: "Dom pečati – Vyatka", 2010, 335 p.
6. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G., Geoinformatsionnyi analiz ochagov opustynivaniya na territorii Astrakhanskoi oblasti (Geoinformation analysis of desertification zones on the territory of the Astrakhan Region), *Aridnye ekosistemy*, 2013, Vol. 19, No. 3 (56), pp. 91-98.
7. *Metodika krupnomasshtabnogo geobotanicheskogo obsledovaniya i kartografirovaniya prirodnykh kormovykh ugodii s primeneniem distantcionnykh metodov* (Methodology of geobotanic large-scale inspection and mapping natural grasslands using remote sensing methods), 1991, Moscow, RosNIIzemproekt, 117 p.
8. *Metodika monitoringa prirodnykh kormovykh ugodii s ispol'zovaniem distantcionnykh metodov* (Monitoring methodology for natural grasslands using remote sensing methods), 1998, Moscow: RASHN, 66 p.
9. Semenov N.A., Savchenko I.V., Dmitrieva S.I., Trofimov I.A., Pastushenko N.F., *Metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu materialov aerokosmicheskoi s'emki pri geobotanicheskom obsledovanii prirodnykh kormovykh ugodii stepnoi zony* (Guidelines on the use of aerospace survey materials in geobotanical examination of natural grasslands of the steppe zone), Moscow: VASHNIL, 1987, 92 p.
10. Trofimov I.A., *Metodologicheskie osnovy aerokosmicheskogo kartografirovaniya i monitoringa prirodnykh kormovykh ugodii* (Methodological bases of aerospace mapping and monitoring of natural grasslands), Moscow: Rossel'khozakademiya, 2001, 74 p.
11. Fedorova N.L., Ulanova S.S., *Izuchenie protsessov antropogennoi dinamiki estestvennykh ekosistem s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii i materialov distantcionnogo zondirovaniya Zemli* (Study of the processes of anthropogenic dynamics of natural ecosystems using GIS technology and remote sensing materials), *Government of Kalmykiya Republic. Institute of Integrated Studies of Arid Territories*, 2011, No. 2 (23), pp. 28-34.