

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ОПУСТЫНЕННОЙ СТЕПИ КАЗАХСТАНА: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЗЗ

Д.В. Малахов, И.С. Витковская, М.Ж. Батырбаева

АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Казахстан, Алматы
e-mail: d_malakhov_73@mail.ru

На примере тестового полигона в Костанайской области РК, представлены результаты многолетних исследований АО «НЦКИТ» в области применения спутниковой информации для выявления и мониторинга деградации почвенно-растительного покрова, основанные на детальном наземном изучении и инструментальных измерениях пастбищных параметров на территории республики. Рассмотрены перспективные подходы, основанные на применении средств ДЗЗ, описана методика выявления деградации почвенно-растительного покрова с применением оригинального алгоритма, описана методика расчета риска деградации пастбищ.

Ключевые слова: деградация почвенно-растительного покрова, деградация пастбищ, непоедаемые виды, ДЗЗ.

Введение

Степная зона охватывает около трети территории Республики Казахстан. Традиционно эти земли используются для сельскохозяйственного производства. В степной зоне расположены основные пахотные земли и значительная часть пастбищных угодий. Климат опустыненной степи – континентальный, с холодной зимой и жарким летом (зона *Dfb* согласно классификации Кёппен-Geiger, по [1]). Годовая сумма осадков составляет 210-220 миллиметров. Усиление сезонных колебаний температуры, изменения режима осадков характерны для территории Казахстана в последние десятилетия [2, 3]. Модели ожидаемого изменения климата, разработанные для территории Казахстана [4, 5], предсказывают ухудшение условий увлажнения в регионе: площади пустынь будут расширяться, а полупустынь и степной зоны – сокращаться. При минимальном потеплении границы зон увлажнения сдвинутся к северу в среднем на 50-100 км, а при максимальном – на 350-400 км. Площадь зоны недостаточного увлажнения увеличится от 6 до 23 %. Прогнозируемое снижение урожайности может достичь 25-60 % от ее многолетних значений [6].

Деградация почвенно-растительного покрова, как феномен

Деградация почвенно-растительного покрова является сложным явлением, включающим различные аспекты, которые могут зависеть от множества причин. Различные научные школы дают разные определения процесса деградации [7]. Даже короткий обзор различных концепций деградации почвенно-растительного покрова [8, 9] обнаруживает целый набор определений понятия «деградация», зачастую очень отличающихся друг от друга. Самая общая концепция деградации почвенно-растительного покрова определяет в качестве ключевого признака снижение потенциальной продуктивности деградированных земель [10]. Более подробные определения рассматривают деградацию почвенно-растительного покрова, как результат комплексной деградации различных компонентов экосистем, включая водные, почвенные и биотические ресурсы [11]. Конвенция Организации Объединённых Наций по борьбе с опустыниванием (UNCCD) рассматривает процесс деградации как «снижение биологической или экономической продуктивности и

разнообразия орошаемых территорий, пастбищ, лесов в результате землепользования или комбинации нескольких причин, в том числе активности человека» [12].

Деградация растительного покрова тесно связана с деградацией почв. Снижение проективного покрытия растительности увеличивает риск возникновения почвенной эрозии и связано со снижением продуктивности [13]. В свою очередь, деградация почв ведет к снижению разнообразия естественных видов растений и животных [7]. Деградация почвы понимается, как процесс снижения текущей и будущей способности почв поддерживать жизнедеятельность человека [14]. Lal и Stewart [15] выделяют три категории деградации почв: 1) физическую, 2) биологическую и 3) химическую. Помимо снижения продуктивности и биоразнообразия растительного покрова почвенная деградация включает ветровую и водную эрозию плодородного слоя, снижение плодородности почв, уплотнение верхних горизонтов почв вплоть до образования корки [16]. Ключевыми показателями почвы, определяющими развитие растительного покрова, являются содержание питательных веществ, содержание влаги, кислотность почвы (рН), степень минерализации, содержание гумуса и биомасса почвенных микроорганизмов. Изменение одного из этих показателей или их соотношения с большой вероятностью свидетельствует о начинающемся процессе почвенной деградации [17]. Проявлениями деградации почвенно-растительного покрова могут быть возрастающая деградация, эрозионные явления, возрастание засоления верхних горизонтов почвы и ряд других признаков, часто связанных друг с другом. Деградация характерна для засушливых, полусушливых и сухих субгумидных областей, обусловлена различными причинами, в том числе, связанными с деятельностью человека [12]. Эрозия почвы понимается как смещение или удаление почвенных компонентов силами гравитации, ветра, воды или льда. Наиболее распространенными причинами почвенной эрозии являются вода и ветер [18].

Засоление почв – процесс появления минеральных солей в несвойственном для естественных почв окружении. Засоление негативно влияет на качество воды, водный и питательный баланс растительного покрова. Естественное засоление проявляется на засушливых территориях или в областях, подверженных сезонным наводнениям. Однако, засоление часто провоцируется неправильным управлением почвенными и водными ресурсами [19].

Деградация пастбищ, рассматриваемая, как частный случай деградации почвенно-растительного покрова, выражается в смене растительных сообществ, исчезновении естественных видов растений и возрастании доли сорных, маргинальных видов в растительных сообществах. Методика количественной оценки проективного покрытия естественных и рудеральных видов с помощью средств дистанционного зондирования предложена в работе Y. Zha с соавторами [20].

Все разнообразие определений деградации можно разделить на «социо-экономическую» и «экологическую» группы. Несмотря на отсутствие всеобъемлющего определения деградации, существует соглашение, что процессы деградации имеют всемирное распространение, имеют серьезные финансовые и социальные последствия, которые могут приобретать необратимый характер [21].

Деградация почвенно-растительного покрова, в целом характеризуется сочетанием следующих основных явлений: снижение биологической продуктивности, эрозия почвы, опустынивание территории, возрастание степени засоления почв. Перечисленные явления хорошо распознаются на спутниковых снимках путем экспертной оценки, применения спектральных индексов и различных способов классификации спутниковых изображений.

Деградация пастбищ, как частный случай деградации почвенно-растительного покрова

Естественные пастбища являются неотъемлемым компонентом биосферы, в значительной степени определяющим биологическое разнообразие флоры и фауны на планете, а также играющим важнейшую роль в хозяйственной деятельности. В нормальных

условиях пастбища обладают способностью ежегодного возобновления продуктивности и поддержания плодородия почв. Стабильность пастбищных экосистем напрямую связана, среди прочих факторов, с интенсивностью выпаса. Деградация естественных пастбищ приводит к обеднению видового состава растительности, к смене естественных растительных сообществ сорно-рудеральными видами, к снижению общей продуктивности пастбищ. Сорные и непоедаемые виды растений, в нормальных условиях играющие незначительную роль в растительных сообществах, становятся многочисленными и, таким образом, являются одним из индикаторов пастбищной деградации. В условиях аридных экосистем, где естественный растительный покров распределен мозаично, перевыпас является наиболее существенным фактором деградации, результатом которой являются дефляция верхнего горизонта почвы, уплотнение нижних почвенных горизонтов и возрастание концентрации солей. Территории, подверженные перевыпасу, представлены деградированными растительными сообществами, в составе которых преобладают сорные виды. Такие территории часто ассоциированы со скотопробными путями, поселениями, колодцами и скважинами и могут занимать обширные площади, если скотоводы не придерживаются по каким-то причинам рациональной схемы сезонных выпасов. Пастбища засушливых территорий особенно уязвимы к внешним воздействиям, поскольку их способность к самовозобновлению существенно ограничена природными условиями.

Казахстан традиционно является территорией интенсивного скотоводства. Площадь естественных пастбищных угодий в Казахстане составляет не менее 187 миллионов гектар, из которых, по приблизительным оценкам, пастбища, деградированные в различной степени, занимают 25-27 миллионов гектар [22].

Растительность и почва являются удобными объектами для изучения и мониторинга по данным дистанционного зондирования. Изменения почвенных и растительных характеристик имеют выраженный пространственный и временной характер, которые могут быть выявлены и оценены количественно с применением спутниковых данных различного пространственного разрешения.

Материалы и методы

В переходных к пустыням регионах негативное воздействие природных и антропогенных факторов проявляется в более сильной степени при более медленном восстановлении естественного состояния. Как отмечается рядом авторов [23], опустынивание субаридных экосистем в переходных зонах более ощутимо, чем в области настоящих пустынь, эволюционно адаптированных к подобным условиям. В связи с этим, степная зона Казахстана является наиболее уязвимой к воздействию засушливых условий, которые усиливают процессы аридизации и опустынивания.

Ранее [24] были исследованы пространственно-временные особенности изменения состояния естественной растительности различных подзон степной зоны Казахстана. В исследуемых участках в направлении с севера на юг изменяется видовой состав растительных сообществ, повышается засухоустойчивость видов, возрастает число эфемероидов и эфемеров. Интерес представляют доминанты зональных сообществ, наиболее устойчивые к засушливым условиям. По каждому участку на основе имеющегося картографического материала [25, 26] и с помощью экспертного дешифрирования по спутниковым данным среднего пространственного разрешения LANDSAT созданы карты растительного покрова и даны описания видового состава.

В данной статье в качестве исследуемой территории выбран тестовый участок, расположенный в подзоне опустыненных степей на юге Костанайской области (рис. 1), характеризующийся условно-ненарушенным ландшафтом.

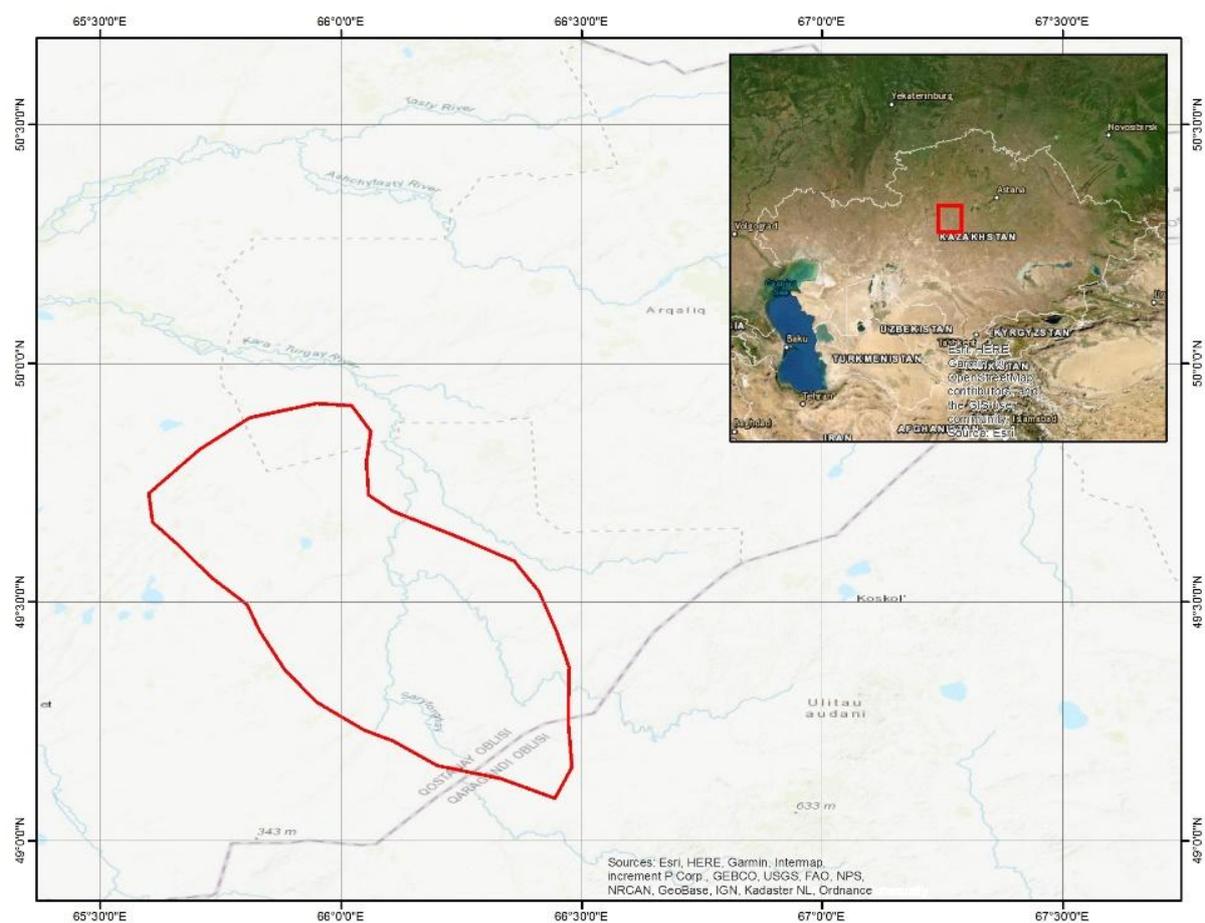


Рисунок 1 – Территория исследования – тестовый участок в зоне опустыненной степи, Костанайская область

Подробное описание геоботанических характеристик выбранного участка выполнено в предыдущих работах [24]. Растительность тестового участка характерна для комплексных полынно-дерновинно-злаковых степей на светлокаштановых солонцеватых суглинистых почвах; на солонцах – полынные и многолетнесолянковые сообщества. Через центральную и южную части участка протекают реки Кара-Тургай и Сары-Тургай. Склоны к долинам малых рек покрыты чернополынными (*A. pauciflora*), ромашниковыми (*T. achilleifolium*) сообществами на солонцах, которые образуют комплексы с типчakovыми (*F. valesiaca*) фитоценозами на солонцеватых почвах и сочетаются с бескильничевыми (виды рода *Puccinellia*) лугами. Основная часть территории расположена на возвышенной аридно-денудационной пластовой равнине с тонковато-полынно-тырсиковыми (*Stipa sareptana*, *Artemisia gracilescens*) сообществами на солонцеватых суглинистых почвах в комплексе с полынными (*Artemisia gracilescens*, *A. semiarida*) и местами с чернополынными (*Artemisia pauciflora*) сообществами на солонцах.

В вышеупомянутой статье [24] приведены прогнозные данные по изменению типов растительности при увеличении засушливости данной территории. Отмечается, например, что исчезнут редкие виды, относящиеся к эфемерам и эфемероидам; возможно уменьшение роли вплоть до полного замещения ковыля (*S. sareptana*) типчаком (*F. valesiaca*); увеличение роли полыни (*Artemisia gracilescens*, *A. semiarida*) в сообществах; гидроморфные комплексы полынных (*A. nitrosa*, *A. schrenkiana*) и луговых сообществ сменяются многолетнесолянковыми сообществами.

Для анализа общей деградации почвенно-растительного покрова и оценки риска деградации пастбищ использованы две сцены Landsat 8 от 29 августа 2016 года и две сцены Landsat-8 от 22 августа 2019 года (табл. 1.)

Таблица 1 – Перечень использованных спутниковых данных

Sensor	Scene ID	Date
Landsat-8	LC08_L1TP_158025_20160829_20170321_01_T1	29 August 2016
Landsat-8	LC08_L1TP_158026_20160829_20170321_01_T1	29 August 2016
Landsat-8	LC08_L1TP_158026_20190822_20190903_01_T1	22 August 2019
Landsat-8	LC08_L1TP_158025_20190822_20190903_01_T1	22 August 2019

Обработка спутниковых снимков включала атмосферную коррекцию, радиометрическую калибровку, создание мозаики и ее обрезку по территории тестового участка, расчет соответствующих спектральных индексов. Обработка спутниковых данных осуществлена с применением стандартных алгоритмов ПО L3HARRIS Geospatial ENVI 5.3. Картографическая репрезентация результатов осуществлена с использованием ПО ESRI ArcGIS 10.4.

Выбор снимков определялся условиями влагообеспеченности региона: 2016 год – нормальное количество осадков, 2019 – засушливый год [27, 28]. Для выявления постоянных очагов деградации почвенно-растительного покрова и риска деградации пастбищ, оптимальным является использование осенних снимков влагообеспеченного года, поскольку, как будет показано ниже, определенные спутниковые индексы чувствительны к влажности растительного и почвенного покрова, что, в засушливые годы, может приводить к определенной переоценке степени деградации.

Определение благоприятности погодных условий года по спутниковым данным может проводиться по всем индексам вегетации, но наиболее корректные результаты получаются при анализе многолетних распределений интегрального индекса условий вегетации IVCI [29], эффективного при анализе межсезонных вариаций влияния погодных условий на состояние растительности.

$$VCI = \frac{IVI_i - IVI_{\min}}{IVI_{\max} - IVI_{\min}} \quad (1),$$

где IVI – интегральный вегетационный индекс, определяемый, как накопленный за определенный период NDVI; IVI_{\max} , IVI_{\min} – максимальные/минимальные значения IVI в каждом пикселе за весь период наблюдения. На рисунке 2 приведена многолетняя динамика индекса условий вегетации IVCI, рассчитанного для территории тестового участка.

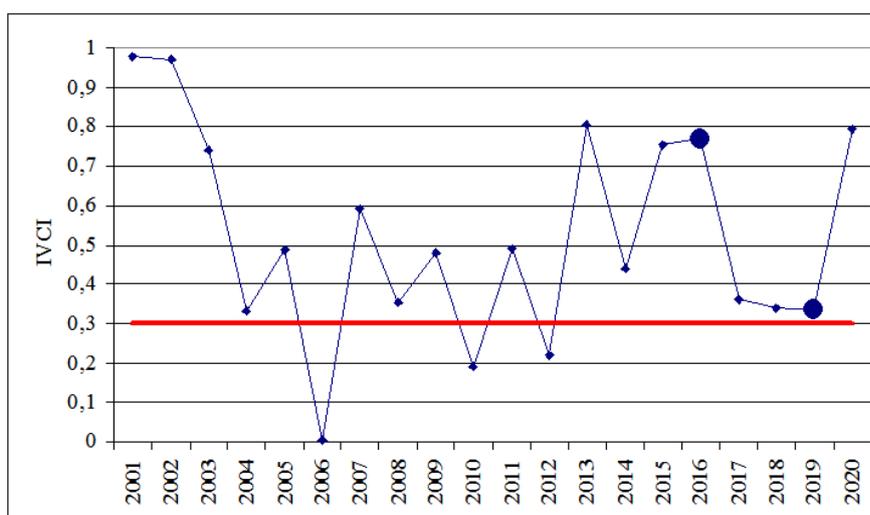


Рисунок 2 – Многолетняя динамика индекса IVCI на тестовом участке, 2000-2020 гг.

Значения $IVCI \leq 0,3$ в практике дистанционного зондирования соответствуют засушливым погодным условиям. Таким образом, по спутниковым данным 2016 год является благоприятным по погодным условиям, 2019 год – засушливым.

Составной Индекс деградации почвенно-растительного покрова (CDI) разработан в АО «НЦКИТ» на основе многолетних наземных наблюдений [30]. Индекс рассчитывается по уравнению.

$$CDI = \frac{(LDI_{tcw} - LDI_{ndvi})}{(LDI_{tcw} + LDI_{ndvi})} * RED \quad (2),$$

где LDI_{tcw} и LDI_{ndvi} представляют собой частные индексы, предложенные в работе А.М. Fadhil [31], RED – значение яркости в красном канале спутникового изображения.

Данное выражение объединяет изменчивость параметров растительного покрова (концентрация хлорофилла), показателей относительной почвенной влажности и яркость красного канала спутникового изображения, который особенно чувствителен к почвам, лишенным растительного покрова.

Значимый диапазон значений индекса заключен в интервале 0,27-0,6. Значения меньше 0,27 характеризуют интактные почвы и водоемы, значения более 0,6 относятся к постоянным солончакам с высоким альбедо. Значимый диапазон формально разделен на три равных интервала. Интервал 0,27-0,38 характеризует начальные стадии деградации почвенно-растительного покрова, а также связан с сезонными флуктуациями растительного покрова. Интервалы 0,38-0,49 и 0,49-0,6 описывают постоянные очаги деградации, связанные с засолением почв, перевыпасом и нарушением структуры почвенного покрова. Анализ динамики выделенных интервалов по спутниковым данным 2013-2019 гг. для пустынных регионов РК продемонстрировал пространственную стабильность очагов деградации, описываемых диапазоном значений индекса CDI 0,38-0,6, в то время, как пространственные характеристики нижнего диапазона (0,27-0,38) изменялись в широких пределах.

Методика оценки риска деградации пастбищ в терминах смены естественных сообществ сорно-рудеральными видами предложена для территории Западного Китая [32]. Расчет риска деградации осуществляется по формуле:

$$DegradationRisk = 0.5 * (1 - GC) + 0.5 * UPG \quad (3),$$

где GC – рассчитанная величина общего проективного покрытия, UPG – содержание непоедаемых и сорных видов.

Для расчета ОПП оригинальная методика была модифицирована. Применяемый авторами методики индекс NDVI в условиях опустыненной степи Казахстана обнаружил меньшую информативность по сравнению с индексом MNLI (Модифицированный Нелинейный Индекс) [33]. Коэффициент корреляции Пирсона между общим проективным покрытием и MNLI составляет 0,78 при значении доверительного интервала 0,95 (рис. 3).

Поскольку индексы ОПП и непоедаемых трав являются количественными и выражаются в процентах, итоговый индекс риска деградации также имеет процентное выражение.

Для расчета площадей, подверженных засолению, применялся индекс солёности, разработанный в АО «НЦКИТ», согласно следующему выражению.

$$SalinityIndex = \frac{(nir - (swir_1 - swir_2))}{(nir + (swir_1 - swir_2))} * \sqrt{swir_1} \quad (4),$$

где nir , $swir_1$ и $swir_2$ – соответствующие каналы инфракрасного диапазона спутникового изображения.

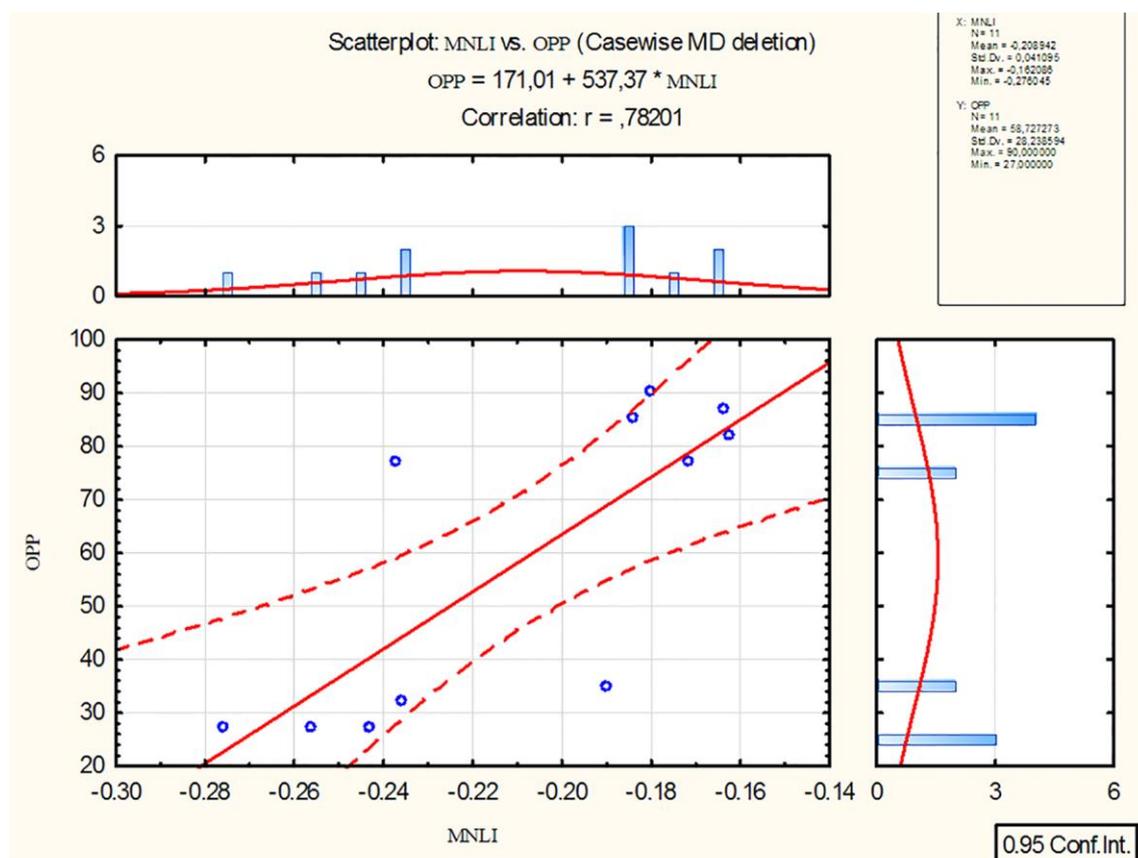


Рисунок 3 – Корреляция общего проективного покрытия (ось Y) и индекса MNLI (ось X)

В отличие от разнообразных индексов определения засоленности, известных по литературным данным [34], данный индекс, основанный только на инфракрасном диапазоне, показал в условиях пустынной и полупустынной зон Казахстана оптимальную чувствительность к проявлениям поверхностного засоления почв. Значимый диапазон индекса – 0,37-1,0 – описывает проявления солей различного генезиса на почвах. Значения выше 1 соответствуют сформированным солончакам.

Для определения водных поверхностей применен индекс NDWI [35] в виде:

$$NDWI = \frac{(green - nir)}{(green + nir)} \quad (5),$$

где *green* и *nir* – соответствующие каналы спутникового изображения. Водным объектам соответствуют положительные значения индекса.

Кроме того, для построения результирующих карт может быть целесообразен расчет индекса обнаженных почв [36] и индекса выгоревших площадей [37].

Результаты и обсуждение

Деграция почвенно-растительного покрова на тестовом участке имеет очаговый характер, очаги ассоциированы с участками обнаженных и засоленных почв русла реки Сары-Тургай и более мелких водотоков. Начальная степень деградации обнаруживается на территориях, подверженных пожарам в годы, предшествующие исследованию, и с солоноватыми почвами, окружающими пересыхающие озера в западной части тестового участка.

В засушливые годы площадь участков, подверженных процессам деградации, возрастает. На рисунке 4 показаны сравнительные результаты выявления деградированных площадей в годы с различным режимом увлажнения на одной и той же территории (окрестности пос. Екидин), находящейся в пределах тестового участка.

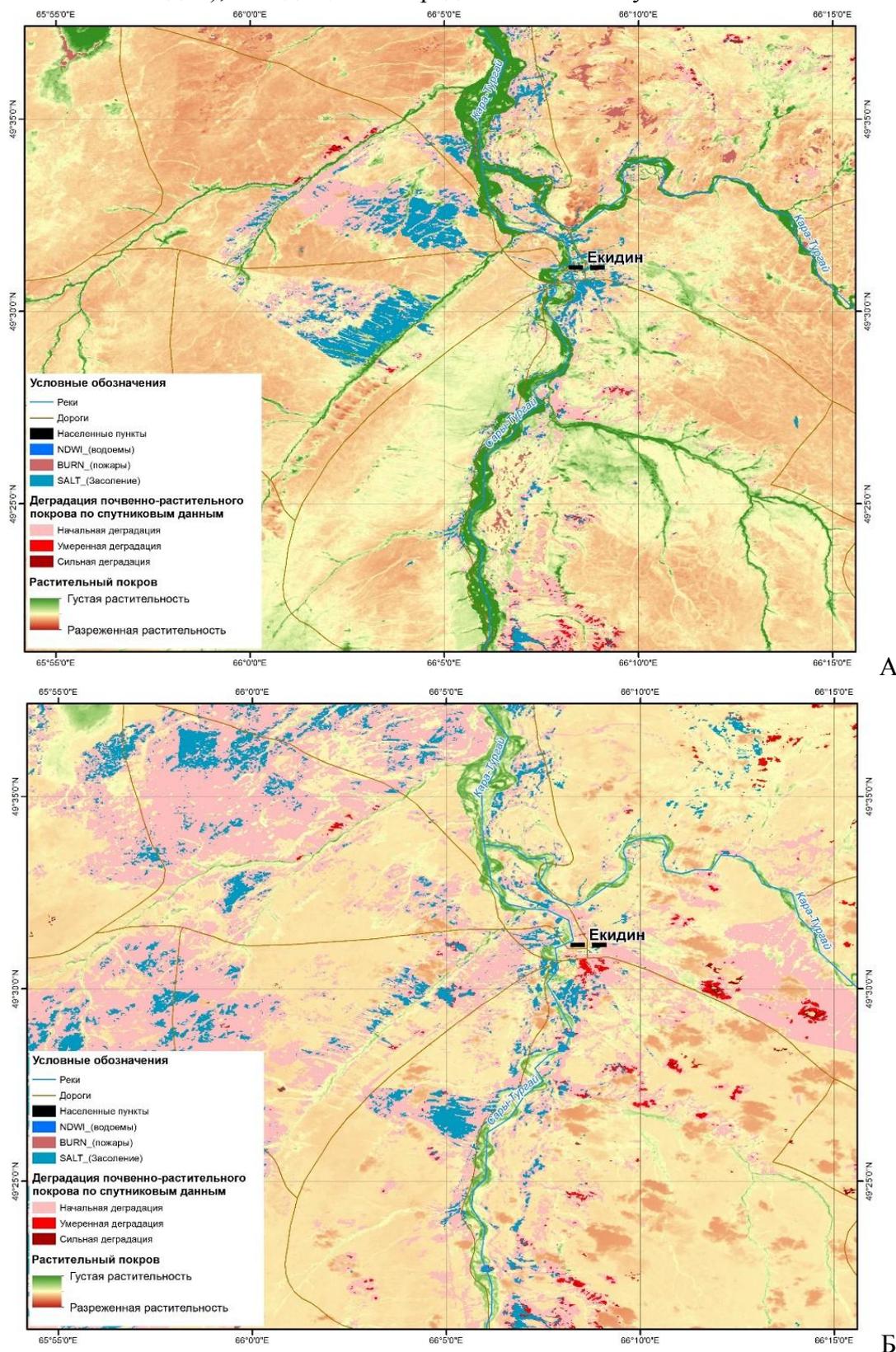


Рисунок 4 – Состояние почвенно-растительного покрова на тестовом участке, (окрестности пос. Екидин). А. Август 2016 г. Б. Август 2019 г.

Наиболее заметным следствием засушливых условий является возникновение очага деградации непосредственно в окрестностях поселка Екидин. Площади слабой (или начальной) деградации существенно возрастают. Впрочем, как было отмечено ранее, диапазон индекса, описывающий слабую степень деградации, связан с флуктуациями влажностного и температурного режимов. При возвращении этих параметров к средним многолетним значениям в последующие годы растительный покров восстанавливает свои естественные характеристики и, при отсутствии других беспокоящих факторов, начальные явления деградации исчезают. Кроме того, в засушливый год, в результате избыточного испарения влаги почвой, изменяется картина поверхностного засоления почв, а площади засоления также возрастают. В нормальных условиях увлажнения соль вымывается из поверхностных горизонтов почвы в следующем году при таянии снегов и весенними осадками.

Оценка риска деградации пастбищ (как частного случая деградации почвенно-растительного покрова) проведена по данным августовской спутниковой съемки. Общее проективное покрытие в условиях нормального увлажнения сохраняет высокие значения даже в конце лета.

Наименьшие значения ОПП (10-20 %) свойственны тем же участкам, для которых показано развитие различной степени деградации почвенно-растительного покрова. В среднем, преобладают значения ОПП в диапазоне 50-60 %, что является нормальным состоянием степной растительности в конце лета – начале осени.

Распределение сорно-рудеральных и непоедаемых видов имеет неравномерный характер. Высокая концентрация непоедаемых видов в руслах рек объясняется доминированием в околородных биотопах древесных и кустарниковых форм растительности, которые не являются типичным кормовым ресурсом диких и домашних копытных. В окрестностях пересыхающих водоемов естественная травянистая растительность отсутствует, а галофитные виды не являются предпочитаемым кормом копытных животных вследствие высокого содержания минеральных солей в тканях самих растений. На выгоревшем участке в северо-западной части полигона сорные виды не обнаружены, что является одним из подтверждений объективности используемой методики. Травянистая растительность на пожарищах восстанавливается в том же видовом составе доминантных видов, который имел место до пожара из семян и корневищ типичных видов. Структура почвы не претерпевает изменений, как это происходит на местах перевыпаса. Соответственно, не происходят ни смена растительных сообществ, ни вытеснение естественных видов сорно-рудеральными.

Итоговая карта риска деградации пастбищ (рис. 5) на тестовом участке демонстрирует относительно низкие значения, кроме тех участков, которым свойственна средняя и высокая степень деградации почвенно-растительного покрова в целом. При сохранении нормы выпаса, наиболее серьезным фактором, способным повлиять на возрастание доли непоедаемых видов в пределах тестового участка является климат. В ситуации, когда несколько засушливых лет будут непрерывно сменять друг друга, что вполне вероятно при существующих тенденциях глобального потепления, начнется увеличение площади засоленных и опустыненных территорий. В таких условиях маргинальные, сорно-рудеральные виды растений получают преимущество перед естественными видами, что отрицательно скажется на продуктивности и кормоемкости естественных пастбищ тестового участка.

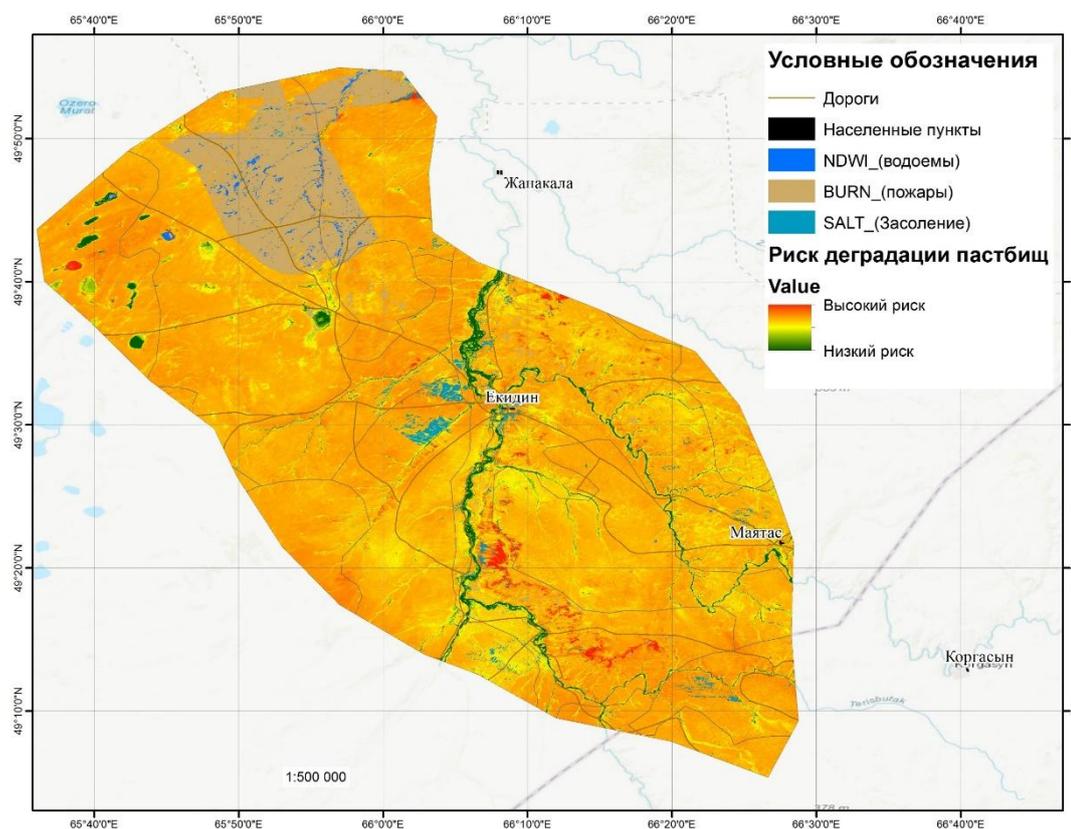


Рисунок 5 – Риск деградации пастбищ на тестовом участке

Выводы

Рассмотренные в данной работе методы оценки степени деградации почвенно-растительного покрова и риска деградации пастбищ имеют тесную, неоднократно проверенную статистическими методами, связь с изменением почвенных параметров и физиологическими особенностями растительного покрова. Используемые методы разработаны в «АО НЦКИТ» применительно к условиям Казахстана на основе многолетних наземных наблюдений и количественных измерений пастбищных угодий различных типов. Расчет описанных в работе спектральных индексов может быть осуществлен с использованием всех типов некоммерческих данных дистанционного зондирования Земли (т.е. данных Sentinel-2, Landsat 7-8, TERRA/MODIS), что обеспечивает различный масштаб применения и различную, в зависимости от условий конкретного выполняемого проекта, периодичность получаемых данных.

Описанные методы и алгоритмы могут стать основой долговременных мониторинговых мероприятий на любом административном уровне, от района до всей страны. Использование алгоритмов и интерпретация их результатов существенно снижают роль человеческого фактора и возможность ошибок поскольку для основных используемых индексов установлены четкие интервалы значимых диапазонов. Наличие таких интервалов предполагает возможность эффективного внедрения описанных методов оценки степени деградации и риска деградации пастбищ на основе автоматической и полуавтоматической технологий, которые могут быть разработаны заинтересованными организациями и структурами. Единственным существенным ограничением описанных алгоритмов, как и данных ДЗЗ в целом, является наличие облачности на спутниковых снимках, что может приводить к неверной интерпретации результатов, особенно, в автоматическом режиме. Описанные в данной работе способы оценки и мониторинга процессов деградации являются перспективными для внедрения в практику хозяйственных и природоохранных ведомств.

Благодарности

Авторы выражают признательность А.Ф. Исламгуловой (Университет «Туран», Алматы) за геоботанические консультации в ходе подготовки статьи. Работа выполнена в рамках грантового финансирования проекта ИРН АР08957145 «Разработать методы дистанционной оценки уязвимости растительного покрова областей Северного Казахстана к стрессовому погодному воздействию по многолетним спутниковым данным».

Список литературы

1. Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., & Rubel F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 2006. Vol. 15. № 3. P. 259-263. DOI:10.1127/0941-2948/2006/0130.
2. Ежегодный бюллетень мониторинга изменения и состояния климата Казахстана. РГП «Казгидромет». Астана, 2015. 55 с.
3. Изменение климата. Обобщающий доклад. Доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. МГЭИК, Женева, Швейцария, 2007. 104 с.
4. Первое национальное сообщение в Республике Казахстан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Алматы, 1998. 74 с.
5. Бельгибаев М.Е. Диагностические показатели аридизации и опустынивания почв степной зоны Казахстана // Степной бюллетень. 2002. № 11. С. 52-54
6. Седьмое национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Министерство энергетики Республики Казахстан Программа Развития ООН в Казахстане Глобальный Экологический Фонд. Астана, 2017. 304 с.
7. De Jong S.M. Applications of reflective remote sensing for land degradation studies in a mediterranean environment. Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, 1994. 250 p.
8. Ibrahim Y.Z. Vegetation and land cover change in the context of land degradation in sub-Saharan West Africa. University of Leicester, 2017. 179 p.
9. Torrion J.A. Land Degradation Detection, Mapping and Monitoring in the Lake Naivasha Basin, Kenya. International Institute for Geo-Information Science and Earth observation Enschede, the Netherlands, 2002. 93 p.
10. Hill J., Sommer S., Mehl W., Megier J. Use of Earth observation satellite data for land degradation mapping and monitoring in Mediterranean ecosystems: towards a satellite-observatory. Environmental Monitoring and Assessment. 1995a. Vol. 37. № 1-3. P. 143-158.
11. Hennemann R. Elective on Land Degradation, Assessment, Monitoring and Modelling. Soil Science Division, ITC, Enschede, The Netherlands. 2001.
12. UNCCD. Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. UN, Bonn. 1994.
13. Hill J., Megier J., Mehl W. Land degradation, soil erosion and desertification monitoring in Mediterranean ecosystems. Remote Sensing Reviews. 1995b. Vol. 12. № 1-2. P. 107-130.
14. GLASOD. Guidelines for general assessment of the status of human induced soil degradation: Global Assessment of Soil Degradation GLASOD, ISRIC, Wageningen, The Netherlands, 1988. 25 p.
15. Lal R. Stewart B.A. Soil Degradation: A Global Threat. In: Soil Degradation, Vol. 2 (Ed. by R. Lal and B. A. Stewart), Springer-Verlag, New York. Advances in Soil Science. 1985. P. 13-17.

16. Dregne H. Land degradation: Assessment and Monitoring, International Task Force on Land Degradation. 1998. P. 32.
17. Elhag M.M. Causes and Impact of Desertification in the Butana Area of Sudan. Bloemfontein, 2006. 190 p.
18. Foth H.D. Fundamentals of soil science. John Wiley and Sons, Inc. 1991.
19. Metternicht G., Zinck, A. Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management. CRC Press, Boca Raton, 2008. 377 p. DOI:10.1201/9781420065039
20. Zha Y., Gao J., Ni S., Liu Y., Jiang J., Wei Y. A spectral reflectance-based approach to quantification of grassland cover from Landsat TM imagery. Remote Sensing of Environment. 2003. Vol. 87. P. 371-375.
21. Okin G.S., Murray B., Schlesinger W.H. Degradation of sandy arid shrubland environments: observations, process modelling and management implications. Journal of Arid Environments. 2001. Vol. 47. P. 123-144.
22. Бекмухамедов Э.Л., Рисимбетов Т.К., Асанов А.А., Бекмухамедова Н.З. Кормовые ресурсы Казахстана. Шымкент, 2010. 332 с.
23. Огарь Н.П., Брагина Т.М. Трансформация экосистем и их компонентов: основные термины и понятия // Трансформация природных экосистем и их компонентов при опустынивании. Алматы, 1999. С. 28-32.
24. Спивак Л.Ф., Батырбаева М.Ж., Витковская И.С., Муратова Н.Р., Исламгулова А.Ф. 2017. Пространственно-временные особенности изменения состояния степной растительности Казахстана по данным спутниковой съемки // Экосистемы: экология и динамика. № 3. С. 116-145.
25. Карта экосистем Центральной Азии. М 1:2500 000 (отв. ред. Рачковская Е.И., Огарь Н.П., Евстифеев Ю.Г.) для WWF, 2005.
26. Карта кормовых угодий Казахской ССР. М 1:1 500 000, 1978.
27. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2016 год. Республиканское государственное предприятие «Казгидромет». Астана, 2017. 58 с.
28. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2019 год. Республиканское государственное предприятие «Казгидромет». Нур-Султан, 2020. 62 с.
29. Спивак Л., Витковская И., Муратова Н., Батырбаева М. Спутниковые вегетационные индексы для территории Казахстана. Алматы. Nova-Press, 2017. 121 с.
30. Malakhov D.V., Islamgulova A.F. The quantitative interpretation of pasture image parameters: an experience with low and moderate spatial resolution remotely sensed data application. Optika Atmosfery i Okeana. 2014. Vol. 27. № 7. P. 587-592.
31. Fadhil A.M. Land Degradation Detection Using Geo-Information Technology for Some Sites in Iraq. Journ. Al-Nahrain Univ. 2009. Vol. 12. № 3. P. 94-108.
32. Liu Y., Zha Y., Gao J., Ni S. Assesment of grassland degradation near Lake Qinghai, West China, using Landsat TM and in situ reflectance spectral data. International Journal of Remote Sensing. 2004. Vol. 25. № 20. P. 4177-4189.
33. Yang Z., Willis P., Mueller R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. Proceedings of the Pecora 17 Remote Sensing Symposium. Denver, CO. 2008.
34. Allbed A., Kumar L. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. Adv. Rem. Sens. 2013. Vol. 2. P. 373-385. DOI:10.4236/ars.2013.24040
35. McFeeters S.K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. Int. J. Remote. Sens. 1996. Vol. 17. № 7. P. 1425-1432. DOI:10.1080/01431169608948714
36. Pretorius D.J., Bezuidenhout C.J. Report on the development of a methodology to determine the nature, rate and extent of soil erosion in South Africa. A report in fulfillment of

contract no. 14/8/1-L1 for the Department of Agriculture, Directorate Resource Conservation, ISCW Report No. GW1A/94/7, Government Press, Pretoria. 1994.

37. Chuvieco E., Pilar M., Palacios A. Assessment of Different Spectral Indices in the Red-Near-Infrared Spectral Domain for Burned Land Discrimination. *Remote Sensing of Environment*. 2002. Vol. 112. P. 2381-2396.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 23.04.2021

Принята к публикации 21.06.2021

PASTURE DEGRADATION IN DESERTED STEPPE OF KAZAKHSTAN: PROSPECTS OF NON-COMMERCIAL REMOTE SENSING DATA USE

D. Malakhov, I. Vitkovskaya, M. Batyrbayeva

JSC «National Center for Space Research and Technology», Republic of Kazakhstan, Almaty

e-mail: d_malakhov_73@mail.ru

Results of long-term studies of JSC “NCSRT” in the area of satellite data use for detection and monitoring of land degradation are presented for the test polygon in the steppe area in Kostanay District. Research is based on detailed ground study of the area including instrumental measurements of pasture biophysical parameters within the area of Kazakhstan. Promising approaches of remotely sensed data use are discussed. The method of degraded area detection with use of new algorithm and the modified method of pasture degradation risk assessment are described.

Key words: land degradation, pasture degradation, unpalatable species, remote sensing.

References

1. Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., & Rubel F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 2006. Vol. 15. N 3. P. 259-263. DOI:10.1127/0941-2948/2006/0130.
2. Ezhegodnyi byulleten' monitoringa izmeneniya i sostoyaniya klimata Kazakhstana. RGP “Kazgidromet”. Astana, 2015. 55 с.
3. Izmenenie klimata. Obobshchayushchii doklad. Doklad Mezhpriatel'stvennoi gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata. MGEIK, Zheneva, Shveitsariya, 2007. 104 s.
4. Pervoe natsional'noe soobshchenie v Respublike Kazakhstan po Ramochnoi konventsii OON ob izmenenii klimata. Almaty, 1998. 74 s.
5. Bel'gibaev M.E. Diagnosticheskie pokazateli aridizatsii i opustynivaniya pochv stepnoi zony Kazakhstana. *Stepnoi byulleten'*. 2002. N 11. S. 52-54
6. Sed'moe natsional'noe Soobshchenie i tretii dvukhgodichnyi Doklad Respubliki Kazakhstan Ramochnoi konventsii OON ob izmenenii klimata. Ministerstvo energetiki Respubliki Kazakhstan Programma Razvitiya OON v Kazakhstane Global'nyi Ekologicheskii Fond. Astana, 2017. 304 s.
7. De Jong S.M. Applications of reflective remote sensing for land degradation studies in a mediterranean environment. Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, 1994. 250 p.
8. Ibrahim Y.Z. Vegetation and land cover change in the context of land degradation in sub-Saharan West Africa. University of Leicester, 2017. 179 p
9. Torrion J.A. Land Degradation Detection, Mapping and Monitoring in the Lake Naivasha Basin, Kenya. International Institute for Geo-Information Science and Earth observation Enschede, the Netherlands, 2002. 93 p.

10. Hill J., Sommer S., Mehl W. Megier J. Use of Earth observation satellite data for land degradation mapping and monitoring in Mediterranean ecosystems: towards a satellite-observatory. *Environmental Monitoring and Assessment*. 1995a. Vol. 37. N 1-3. P.143-158.
11. Hennemann R. *Elective on Land Degradation, Assessment, Monitoring and Modelling*. Soil Science Division, ITC, Enschede, The Netherlands. 2001.
12. UNCCD. *Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*. UN, Bonn. 1994.
13. Hill J., Megier J., Mehl W. Land degradation, soil erosion and desertification monitoring in Mediterranean ecosystems. *Remote Sensing Reviews*. 1995b. Vol. 12. N 1-2. P. 107-130.
14. GLASOD. *Guidelines for general assessment of the status of human induced soil degradation: Global Assessment of Soil Degradation GLASOD*, ISRIC, Wageningen, The Netherlands, 1988. 25 p.
15. Lal R. Stewart B.A. *Soil Degradation: A Global Threat*. In: *Soil Degradation*, Vol. 2 (Ed. by R. Lal and B. A. Stewart), Springer-Verlag, New York. *Advances in Soil Science*. 1985. P. 13-17.
16. Dregne H. *Land degradation: Assessment and Monitoring*, International TaskForce on Land Degradation. 1998. P. 32.
17. Elhag M.M. *Causes and Impact of Desertification in the Butana Area of Sudan*. Bloemfontein, 2006. 190 p.
18. Foth H.D. *Fundamentals of soil science*. John Wiley and Sons, Inc. 1991.
19. Metternicht G., Zinck A. *Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management*. CRC Press, Boca Raton, 2008. 377 p. DOI:10.1201/9781420065039
20. Zha Y., Gao J., Ni S., Liu Y., Jiang J., Wei Y. A spectral reflectance-based approach to quantification of grassland cover from Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2003. Vol. 87. P. 371-375.
21. Okin G.S., Murray B., Schlesinger W.H. Degradation of sandy arid shrubland environments: observations, process modelling and management implications. *Journal of Arid Environments*. 2001. Vol. 47. P. 123-144.
22. Bekmukhamedov E.L., Risimbetov T.K., Asanov A.A., Bekmukhamedova N.Z. *Kormovye resursy Kazakhstana*. Shymkent, 2010. 332 s.
23. Ogar' N.P., Bragina T.M. *Transformatsiya ekosistem i ikh komponentov: osnovnye terminy i ponyatiya. Transformatsiya prirodnikh ekosistem i ikh komponentov pri opustynivanii*. Almaty, 1999. S. 28-32.
24. Spivak L.F., Batyrbaeva M.Zh., Vitkovskaya I.S., Muratova N.R., Islamgulova A.F. 2017. *Prostranstvenno-vremennye osobennosti izmeneniya sostoyaniya stepnoi rastitel'nosti Kazakhstana po dannym sputnikovoi s'emki. Ekosistemy: ekologiya i dinamika*. N 3. S. 116-145.
25. *Karta ekosistem Tsentral'noi Azii. M 1:2500 000 (otv. red. Rachkovskaya E.I., Ogar' N.P., Evstifeev Yu.G.) dlya WWF*, 2005.
26. *Karta kormovykh ugodii Kazakhskoi SSR. M 1:1 500 000*, 1978.
27. *Ezhegodnyi byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazakhstana: 2016 god. Respublikanskoe gosudarstvennoe predpriyatie "Kazgidromet"*. Astana, 2017. 58 s.
28. *Ezhegodnyi byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazakhstana: 2019 god. Respublikanskoe gosudarstvennoe predpriyatie "Kazgidromet"*. Nur-Sultan, 2020. 62 s.
29. Spivak L., Vitkovskaya I., Muratova N., Batyrbaeva M. *Sputnikovye vegetatsionnye indeksy dlya territorii Kazakhstana*. Almaty. Nova-Press, 2017. 121 s.
30. Malakhov D.V., Islamgulova A.F. The quantitative interpretation of pasture image parameters: an experience with low and moderate spatial resolution remotely sensed data application. *Optika Atmosfery i Okeana*. 2014. Vol. 27. N 7. P. 587-592.
31. Fadhil A.M. *Land Degradation Detection Using Geo-Information Technology for Some Sites in Iraq*. *Journ. Al-Nahrain Univ*. 2009. Vol. 12. N 3. P. 94-108.

32. Liu Y., Zha Y., Gao J., Ni S. Assessment of grassland degradation near Lake Qinghai, West China, using Landsat TM and in situ reflectance spectral data. *International Journal of Remote Sensing*. 2004. Vol. 25. N 20. p. 4177-4189.
33. Yang, Z., Willis P., Mueller R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. *Proceedings of the Pecora 17 Remote Sensing Symposium*. Denver, CO. 2008.
34. Allbed A., Kumar L. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Adv. Rem. Sens.* 2013. Vol. 2. P. 373-385. DOI:10.4236/ars.2013.24040
35. McFeeters S.K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote. Sens.* 1996. Vol. 17. N 7. P. 1425-1432. DOI:10.1080/01431169608948714
36. Pretorius D.J., Bezuidenhout C.J. Report on the development of a methodology to determine the nature, rate and extent of soil erosion in South Africa. A report in fulfillment of contract no. 14/8/1-L1 for the Department of Agriculture, Directorate Resource Conservation, ISCW Report No. GW1A/94/7, Government Press, Pretoria. 1994.
37. Chuvieco E., Pilar M., Palacios A. Assessment of Different Spectral Indices in the Red-Near-Infrared Spectral Domain for Burned Land Discrimination. *Remote Sensing of Environment* Vol. 112. 2002. P. 2381-2396.

Сведения об авторах

Дмитрий Викторович Малахов

Ведущий научный сотрудник, АО «НЦКИТ»

ORCID 0000-0002-7844-6569

Dmitry Malakhov

Leading researcher, JSC “NCSRT”

Ирина Сергеевна Витковская

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, АО «НЦКИТ»

ORCID 0000-0001-7758-2975

Irina Vitkovskaya

candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading researcher, JSC “NCSRT”

Мадина Жанаевна Батырбаева

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, АО «НЦКИТ»

Madina Baturbayeva

candidate of technical sciences, Leading researcher, JSC “NCSRT”

Для цитирования: Малахов Д.В., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж. Методические подходы к изучению опустыненной степи Казахстана: перспективы использования некоммерческих данных ДЗЗ // Вопросы степеведения. – 2021. – № 2. – С. 19-33. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-2-19-33