

О возможностях оценки качества пахотных угодий Баксанского района Кабардино-Балкарии на основе спутникового сервиса «ВЕГА»

И.Ю. Савин^{1,2}, Э.Р. Танов²

¹*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва 117019, Россия*

E-mail: savigory@gmail.com

²*Аграрный факультет РУДН, Москва 117198, Россия*

E-mail: ehldar-tanov@rambler.ru

Разработан новый подход к оценке качества пахотных земель, основанный на использовании спутниковых данных MODIS. Суть подхода состоит в экспертном анализе кривых вегетационного индекса NDVI за последние 10-12 лет по отдельности для разных групп культур, а также межгодовой вариабельности сезонного максимума вегетационного индекса NDVI, величина которого используется в качестве индикатора состояния посевов и урожайности культур на отдельных полях. По характеру кривых вегетационного индекса NDVI все кривые удалось экспертно классифицировать на группы, характеризующие озимые, ранние яровые и поздние яровые культуры. Разработанный подход к оценке качества пахотных угодий был апробирован на примере Баксанского района Кабардино-Балкарии. Анализ проведен для всех пахотных угодий района, маска которых была получена путем визуального дешифрирования границ полей по спутниковым данным Landsat. Кривые вегетационного индекса NDVI были получены с использованием спутникового сервиса «ВЕГА». На основе разработанного подхода все поля района ранжированы по качеству пахотных земель. Полученные данные предназначены для использования при кадастровой оценке земель, а также для оптимизации размещения основных сельскохозяйственных культур в республике. Разработанный подход может быть использован и для других районов и субъектов Российской Федерации.

Ключевые слова: оценка земель, спутниковый сервис «ВЕГА», Кабардино-Балкария.

Введение

В соответствии с Налоговым кодексом РФ массовая или кадастровая оценка формирует налогооблагаемую базу для земельных участков. К сожалению, в результате недостаточной организованности при проведении государственной кадастровой оценки земель, порой неумелого руководства этим довольно сложным процессом отношение к кадастровой оценке в регионах стало негативным.

За прошедшие 10 лет земельные платежи выросли в 4,6 раза и на сегодняшний день они полностью определяются результатами государственной кадастровой оценки земель. Поэтому и «цена ошибки» кадастрового оценщика, либо других участников этой деятельности также многократно возросла.

В период с 2001 по 2003 годы были согласованы и утверждены Методические указания по государственной кадастровой оценке всех категорий земель. Данные методические документы, наряду с Методическими рекомендациями по определению рыночной стоимости земельных участков, утвержденными распоряжением Минимущества РФ от 06.02.2002 №568-р, до принятия ФСО №4 (октябрь 2010 года), составляли методологическую основу оценки земель в Российской Федерации.

Недостатки этих подходов отмечены во многих публикациях. В обобщенном виде они изложены, например, в работе Н.П.Фомина и П.М. Сапожникова (2010). По мнению авторов, основные недостатки этих методических материалов сводятся в том числе к следующему: 1. неправомерность использования фактической урожайности вместо потенциальной (нормативной); 2. межрегиональная несопоставимость оценок; 3. неучет климатических показателей; 4. неучет пригодности земель под различные культуры, ассортимент возделываемых культур.

В 2010 году приказом Министерства экономического развития (№ 445 от 20.09.2010) приняты новые Методические указания по государственной кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения. В них вместо анализа фактических данных за последние годы об урожайности культур и затратах на их возделывание предлагается использование показателей нормативной продуктивности (исходя из свойств почв) и нормативных затрат, получаемых на основе технологических карт.

По сравнению с предыдущей методикой значительно расширен перечень свойств почв, уточняющих оценку. Но, несмотря на это, при использовании данной методики возникает проблема отсутствия актуальных почвенных карт и актуальной информации об отдельных свойствах почв и степени их деградированности. Это сильно ограничивает применимость этих подходов на практике.

Для разрешения этого недостатка могла бы помочь информация об урожайности и ее устойчивости, как косвенный показатель качества пахотных земель. Несмотря на то, что методика предполагает использование нормативной урожайности, с нашей точки зрения, наличие многолетних оценок реальной урожайности все же позволяет более точно говорить о качестве пахотных земель, так как эта урожайность является неким реальным интегральным отражением всех условий (как природных, так и антропогенных), причем с учетом многолетнего варьирования. Но получение данных о реальной урожайности в полевых условиях на уровне отдельных полей невозможно из-за трудоемкости, временных затрат и невозможности ретроспективного анализа урожайности подобным способом.

Новые возможности для этого открывают спутниковые технологии. На их основе можно осуществлять мониторинг посевов, определять тип культур, а также оценивать их урожайность и воздействие экстремальных факторов, а также оценивать состояние почв (Savin, Negre, 2006; Remote sensing..., 2009; Савин и др., 2010; Савин, Симакова, 2012; Medvedeva et al., 2012). Но для этого необходим анализ больших объемов спутниковой информации, что технически сделать всегда было очень сложно. В последнее время появились новые, геопортальные технологии, которые значительно упрощают эту задачу, и

на основе которых провести подобный анализ в состоянии даже не очень подготовленный пользователь.

В предлагаемой статье рассмотрена специфика использования сезонных профилей вегетационного индекса NDVI, полученного с использованием спутникового сервиса «ВЕГА», для оценки состояния посевов.

Объект

В качестве объекта исследований проанализированы пахотные угодья Баксанского района Кабардино-Балкарии (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение Баксанского района

Баксанский район располагается в центральной части Кабардино-Балкарской республики, занимая площадь 82958 га, что составляет около 7% территории республики.

По природно-сельскохозяйственному районированию район делится на две зоны: предгорную и степную с умеренно-континентальным умеренно увлажненным климатом.

Почвенный покров района характеризуется большим разнообразием с преобладанием черноземов предкавказских обыкновенные, типичных, выщелоченных. По гранулометрическому составу преобладают глинистые и тяжелосуглинистые почвы, но встречаются и суглинистые, легкосуглинистые и супесчаные разновидности. На склонах пахотные почвы часто эродированы. Подобная пестрота почвенного покрова выражается в значительной разнице в урожайности сельскохозяйственных культур на отдельных полях.

Тем не менее, достаточно благоприятное сочетание почвенно-климатических условий приводит к большой сельскохозяйственной освоенности территории района, где абсо-

лютно преобладают земли сельскохозяйственного назначения. По данным департамента статистики администрации Республики Кабардино-Балкария (фондовые материалы) на 2010 год сельскохозяйственные угодья составляют около 80% от общей площади района или около 66 000 га. Из них на пашню приходится около 35 000 га (54 %), на сенокосы около 15 000 га (22 %), на пастбища – 14 000 га (21 %), на многолетние насаждения – около 2000 га, или около 3 % от общей площади района.

Основными сельскохозяйственными культурами района являются озимая пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник и картофель.

Методы

На предварительном этапе работ была создана векторная маска пахотных полей Баксанского района. В качестве основы для создания маски использовалась спутниковая сцена Landsat 5 TM, полученная в 2010 году. Построение маски осуществлялось с использованием программного обеспечения ILWIS 3.3 (<http://www.ilwis.org/>). Маска создавалась путем ручной векторизации границ полей. Выделялись лишь поля, которые распахивались хотя бы раз за период с 2005 по 2012 годы. Распахиваемость полей идентифицировалась визуально по всем доступным сценам Landsat на территорию исследований.

Далее для каждого поля с использованием спутникового сервиса «БЕГА» (Лупян и др., 2011; Толпин и др., 2011) была осуществлена экстракция еженедельных величин вегетационного индекса NDVI за период с 2001 по 2012 годы. Значения индекса экстрагировались для точки, расположенной в центре наиболее широкой части каждого пахотного поля.

На основе экспертного анализа полученных профилей индекса для каждого поля и каждого сезона вегетации делалась попытка определения типа возделываемой культуры. Для этого использовались такие индикаторы, как дата начала сезона вегетации на поле, дата сезонного максимума NDVI на поле, скорость роста величины NDVI весной, скорость падения величины NDVI осенью, выраженность «плато» на графике NDVI, наличие многовершинности сезонного графика NDVI, выраженность роста NDVI в осенний период, перед установлением снежного покрова.

Для каждого профиля каждой культуры (группы культур) определялась величина сезонного максимума NDVI. Эта величина использовалась в качестве индикатора надземной фитомассы посевов в период цветения культур. О возможности использования величины сезонного максимума NDVI как индикатора надземной фитомассы написано достаточно большое количество научных публикаций (см. например, Rembold et al., 2013). Более того, NDVI часто используется и для прогнозирования урожайности разнообразных

сельскохозяйственных культур, включая и те, которые возделываются на территории исследований (Bouman et al., 1992; Benedetti, Rossinni, 1993; Quarmby et al., 1993; Groten, 1993; Rasmussen, 1997; Unganai, Kogan, 1998; Yang et al., 2000; Liu, Kogan, 2002; Bala, Islam, 2009; Савин и др., 2010; Saravanan, 2011).

Известно, что NDVI не является идеальным показателем состояния посевов и надземной фитомассы. Это связано как с так называемым «насыщением» этого индекса при высокой сомкнутости посевов и его выхода на плато, так и с влиянием отражательных свойств поверхности почв на его величину при низкой сомкнутости посевов (Elvidge, Lyon, 1985; Huete et al., 1985; Baret, Guyot, 1991). Насыщение NDVI, как правило, достигается при очень высокой густоте посевов и очень высокой урожайности культур, что для региона исследований не характерно. Влияние отражательной способности почв на величину NDVI теоретически возможно для посевов пропашных культур, а также на ранних стадиях фенологического развития посевов всех культур. При использовании сезонного максимума индекса влияние почвы на ранних стадиях развития не важно. На территории района исследований преобладают черноземные почвы с высоким содержанием гумуса в поверхностном горизонте, которые на склонах могут быть эродированы (Почвенная карта..., 1985). То есть, почвенный фон по-разному может влиять на величину NDVI на водоразделах и на склонах. Но в центре полей, который в подавляющем большинстве случаев находится на водораздельной поверхности, влияние почвенного фона на величину NDVI должно быть однотипно и оно, с нашей точки зрения, не должно оказывать существенного влияния на точность используемого подхода.

На основе анализа величин сезонного максимума NDVI устанавливалась вариативность этой величины от года к году внутри каждой из групп и среднее значение для каждой группы для каждого пахотного поля.

После этого, все поля района были ранжированы на группы по величинам среднего значения NDVI для каждой из рассматриваемых культур (групп культур). Далее из рангов полей для отдельных групп делалась экспертная оценка качества земель поля с учетом средних значений сезонного максимума NDVI и его межгодового варьирования.

Результаты и обсуждение

На территории района было выделено 576 пахотных полей (*рис. 2*). Преобладают выделы площадью от 20 до 120 га (*рис. 3*). Таким образом, для анализа состояния посевов по данным MODIS с пространственным разрешением около 6,25 га размеры полей вполне достаточны.

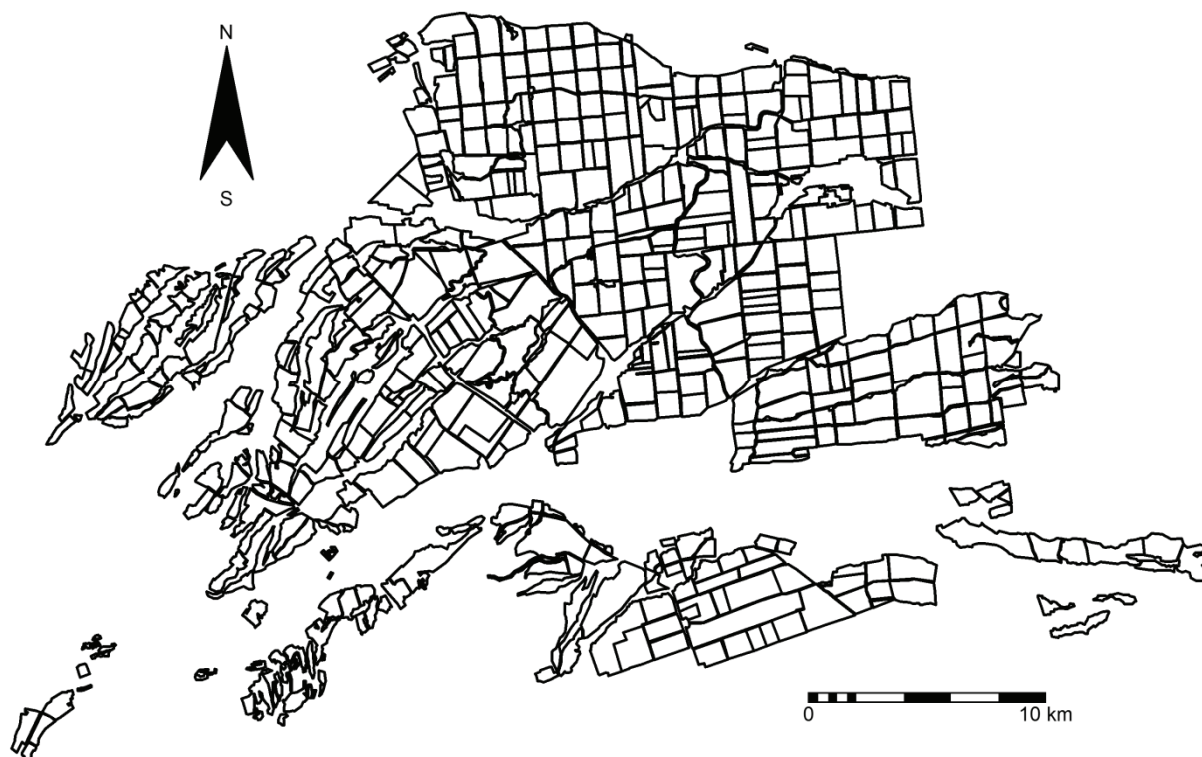


Рис. 2. Сетка границ пахотных угодий Баксанского района по состоянию на 2010 год

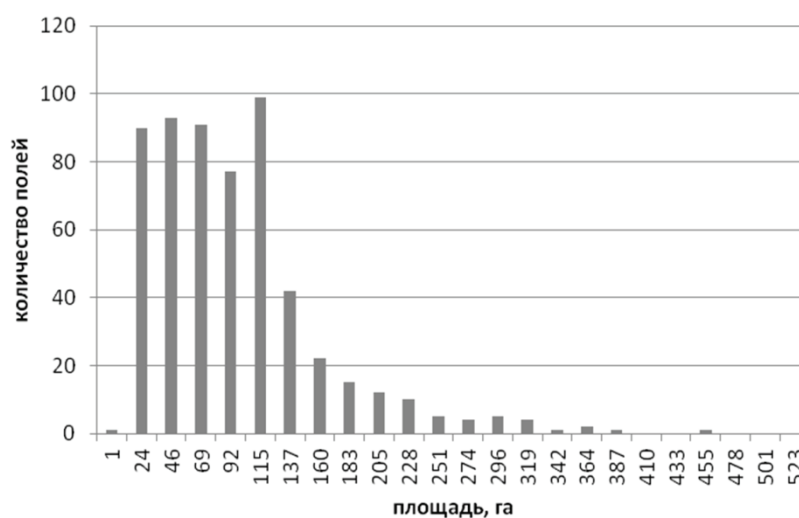


Рис. 3. Гистограмма площади пахотных полей района

Анализ кривых NDVI, полученных для каждого поля, позволил уверенно идентифицировать группы посевов сельскохозяйственных культур: ранние яровые и озимые, поздние яровые. При этом оказалось, что из 12 проанализированных лет практически на всех полях 2-3 культуры не могут быть однозначно отнесены к какой-либо из этих групп (рис. 4).

Доля полей с преобладанием ранних и озимых культур и с преобладанием поздних культур приблизительно одинакова, но чередование лет с культурами одной и другой групп может в перспективе служить основанием для идентификации севооборота культур на полях.

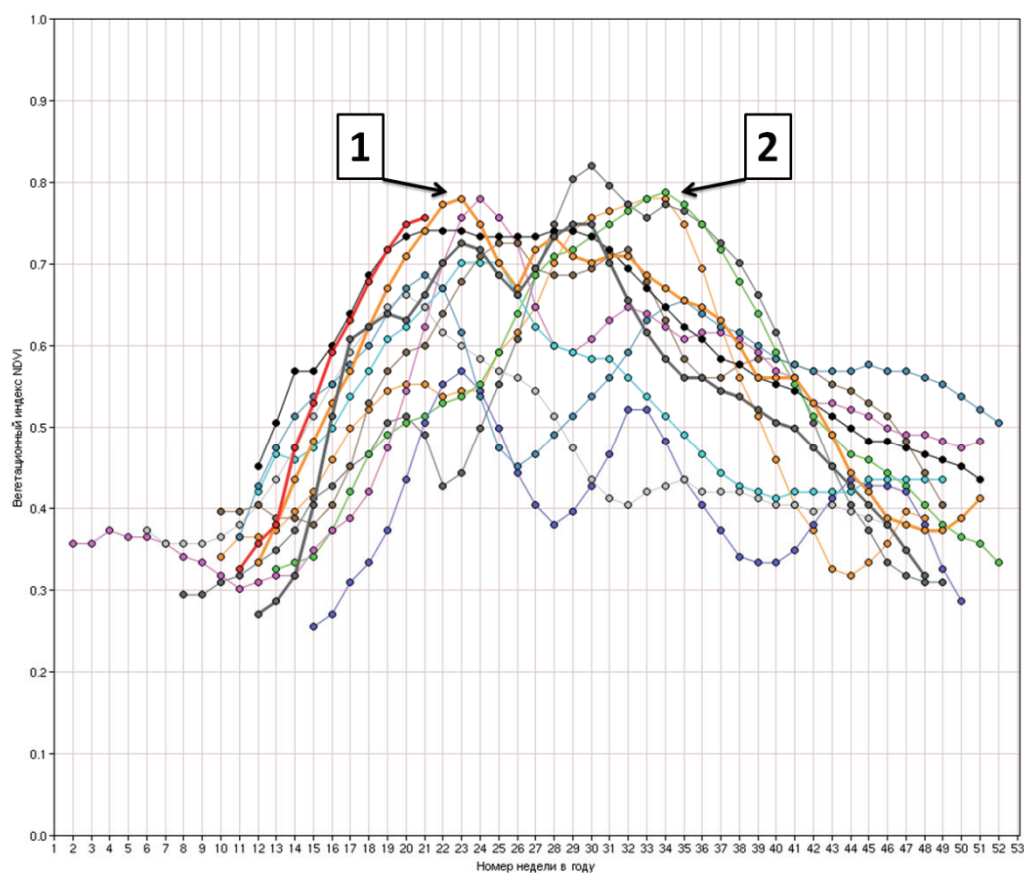


Рис. 4. Пример кривых NDVI для одного из полей (цифрой 1 отмечены кривые первой группы, а цифрой 2 – второй)



Рис. 5. Поля с различной среднегодовой величиной NDVI (чем светлее цвет, тем выше величина индекса, черный цвет – нет данных)

Анализ значений сезонных максимумов NDVI для каждого поля показал, что варьирование этой величины от поля к полю достаточно большое (от 0,6 до 0,9). По средней многолетней величине сезонного максимума NDVI все поля были разбиты на группы (рис. 5). Для этого экспертным путем были установлены следующие граничные значения групп: значение средней многолетней величины сезонного максимума NDVI выше 0,8 (условно названа «очень высокая урожайность»), 0,75-0,79 (условно названа «высокая урожайность»), 0,70-0,74 (условно названа «средняя урожайность»), 0,65-0,69 (условно названа «низкая урожайность»), 0,60-0,64 (условно названа «очень низкая урожайность»).

Также было установлено, что значения сезонного максимума для каждой группы культур может сильно варьировать по годам (стандартное отклонение изменяется от 0,01 до 0,1). По величине стандартного отклонения все поля также были ранжированы на две группы – с сильным варьированием по годам (со стандартным отклонением более или равно 0,05) и без сильного варьирования по годам (со стандартным отклонением менее 0,05). Граничные значения стандартного отклонения определялись экспертно.

Преобладали поля с сильным варьированием, хотя часть полей характеризовалась низким варьированием величины сезонного максимума NDVI от года к году (рис. 6).



Рис. 6. Поля с различным варьированием величины NDVI по годам (серый цвет – высокое варьирование, белый цвет – низкое варьирование, черный цвет – нет данных)

Таким образом сопряженный анализ этих данных (учет класса по величине сезонного максимума индекса и его варьированию по годам) позволил ранжировать все пахотные поля района по уровню их продуктивности с учетом урожайности культур (используя среднегодовую величину NDVI как индикатор), а также ее варьирования по годам (используя стандартное отклонение NDVI по годам). Было выделено 10 классов по ухудшению качества земель от 1 (самое высокое) до 10 (самое низкое).

Отнесение полей к каждому классу было проведено следующим образом:

- 1 класс – очень высокая урожайность без варьирования по годам;
- 1v класс – очень высокая урожайность с варьированием по годам;
- 2 класс – высокая урожайность без варьирования по годам;
- 2v класс – высокая урожайность с варьированием по годам;
- 3 класс – средняя урожайность без варьирования по годам;
- 3v класс – средняя урожайность с варьированием по годам;
- 4 класс – низкая урожайность без варьирования по годам;
- 4v класс – низкая урожайность с варьированием по годам;
- 5 класс – очень низкая урожайность без варьирования по годам;
- 5v класс – очень низкая урожайность с варьированием по годам.

Результаты классификации показаны на *рис. 7*.

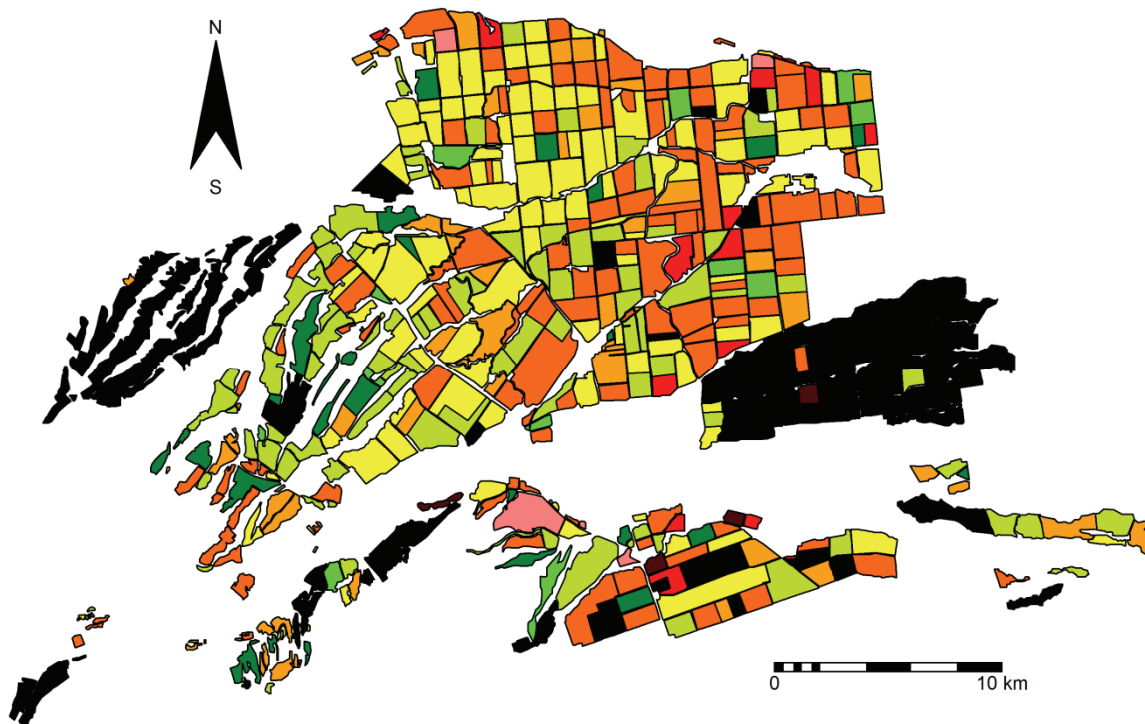


Рис. 7. Ранжирование полей района по качеству земель (чем зеленее – тем лучше, чем краснее – тем хуже)

Полученные результаты показывают, что существуют общие закономерности в распределении полей одного класса. Так, наблюдаются территории, где преобладают поля с одним классом, например, желтые поля в центральной и северо-западной части района, или оранжевые поля на северо-востоке района. Светло-зеленых полей больше в юго-западной части района. Это может свидетельствовать о том, что оценка полей по степени их актуального плодородия в целом согласуется с изменением природных условий на территории исследований (изменение рельефа, климата и почв).

В то же время, из *рисунка* следует, что часто наблюдается соседство полей, которые попали в очень контрастные классы. Это, скорее всего, связано с разницей в уровне агротехники возделывания культур на отдельных полях. Если на одном поле вносится большое количество удобрений, а на соседнем – мало удобрений, то по актуальному плодородию эти поля будут сильно различаться, что скорее всего и наблюдается по полученным результатам.

Таким образом, используемый подход позволил ранжировать все поля района по уровню их актуального плодородия, то есть по качеству этих земельных участков.

Выводы

Спутниковый сервис «БЕГА» позволяет получать информацию о состоянии посевов, которой достаточно для ранжирования большинства пахотных полей региона по степени их актуального плодородия.

Данная информация может быть использована при кадастровой оценке качества пахотных угодий изученного региона, а также любого другого региона с достаточно большими по размеру пахотными полями. При уменьшении размеров полей возрастает влияние на кривую NDVI наземного покрова соседних участков, что значительно уменьшает качество определения возделываемых культур, и как следствие, кондиционность результатов оценки и качество сравнения оценок, полученных для отдельных полей.

По характеру сезонного хода NDVI в регионе исследований достаточно уверенно выделяются поля с озимыми культурами, поля с ранними яровыми зерновыми культурами и группа полей с поздними культурами, в которую попадает несколько достаточно разных культур. Их точное разделение на основе анализа сезонной кривой NDVI оказалось невозможным. Предположительно это может быть связано с недостаточной информативностью сезонной динамики именно этого (NDVI) вегетационного индекса.

В дальнейшем необходима разработка более качественного и более формализованного подхода для дешифрирования возделываемых на полях культур.

Выражаем благодарность отделу технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН за предоставления доступа к спутниковому сервису «ВЕГА».

Литература

1. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности ("Вега") // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
2. Почвенная карта Кабардино-Балкарской ССР. Масштаб 1:200000 – ГУГК, 1985.
3. Савин И.Ю. Симакова М.С. Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв в России. - Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 5. С. 104–115.
4. Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Хвостиков С.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 3. С. 275–285.
5. Толпин В.А., Балашов И.В., Лупян Е.А., Савин И.Ю. Спутниковый сервис "Вега" // Земля из космоса, 2011. Выпуск 9. Весна. С. 32–37.
6. Фомин Н.П., Сапожников П.М. "Новые подходы к государственной кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения" [Дата публикации - 20.10.2010], <http://www.valnet.ru/m7.phtml>
7. Bala S.K., Islam A.S. Correlation between potato yield and MODIS-derived vegetation indices // International Journal of Remote Sensing. V. 30. Issue 10. January 2009. P. 2491–2507.
8. Baret, F., Guyot, G. (1991), Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment // Remote Sensing of Environment. 35:161–173.
9. Benedetti, R., P. Rossinni. (1993). On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna // Remote Sensing of Environment. 45:311–326.
10. Bouman, B. A. M., Uenk, D., & Haverkort, A. J. (1992). Estimation of ground cover of potato by reflectance measurements // Potato Research, 35. 111–125.
11. Elvidge, C. D., and Lyon, R. J. P. (1985). Influence of rock-soil spectral variation on assessment of green biomass // Remote Sensing of Environment. 17:265–279.
12. Huete, A. R., Jackson, R. D., and Post, D. F. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds // Remote Sensing of Environment. 17:37–53.
13. Groten, S.M.E. (1993). NDVI crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso // International Journal of Remote Sensing 14(8):1495–1515.
14. Liu, W. T., and F. Kogan. (2002). Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices // International Journal of Remote Sensing 23(6):1161–1179.
15. Medvedeva M. A., I. Yu. Savin, and V. A. Isaev. Determination of Area of Drought-Affected Crops Based on Satellite Data (Exemplified by Crops in Chuvashia in 2010) // Russian Agricultural Sciences. 2012. Vol. 38. No 2. P. 121–125.
16. Quarmby, N.A., M. Milnes, T.L. Hindle, and N. Silicos. (1993). The use of multitemporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction // International Journal of Remote Sensing. 14:199–210.
17. Rasmussen, M.S. (1997). Operational Yield forecast using AVHRR NDVI data: reduction of environmental and inter-annual variability // International Journal of Remote Sensing 18(5):1059–1077.
18. Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O. Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection // Remote Sensing. 2013. Vol. 5. No. 4. С. 1704–1733.
19. Remote Sensing Support to Crop Yield Forecast and Area Estimates The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVI, No. 8/W48 ISPRS WG VIII/10 Workshop 2006, Stresa, Italy.
20. Saravanan S. Estimating Yield of Irrigated Potatoes Using Aerial and Satellite Remote Sensing. (2011). All Graduate Theses and Dissertations. Paper 1049.
21. Savin I.Yu., Nègre T. Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries - OPOCE EUR 22210EN. Ispra (Italy). 2006. 214 p.
22. Unganai, L.S., and F.N. Kogan. (1998). Drought monitoring and Corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data // Remote Sensing of Environment. 63:219–232.
23. Yang, C., J.H. Everitt, J.M. Bradford, and D.E. Escobar. 2000. Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery // Transactions of ASAE, 43(6):1927–1938.

On possibilities of arable lands quality evaluation in Baksan District of Kabardino-Balkaria based on satellite service VEGA

I.Yu. Savin^{1,2}, E.R. Tanov²

¹ V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow 117019, Russia
E-mail: savigory@gmail.com

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow 117198, Russia
E-mail: ehldar-tanov@rambler.ru

The new approach for evaluating the quality of arable lands was developed based on the use of MODIS satellite data. The essence of the approach consists in expert analysis of the curves of vegetation index NDVI for the last 10-12 years separately for different groups of crops and also the year-to-year variability of the seasonal maximum of NDVI, whose value is used as an indicator of the state of crops and crop yield on separate fields. By the nature of the vegetation index NDVI profiles, they all were expertly classified into groups characterizing winter, early spring and late spring crops. The developed approach for evaluating the quality of arable lands was approved on the example of the Baksan region of Kabardino-Balkaria. Analysis was carried out for all arable parcels of the region, whose masks were obtained by the visual deciphering of their boundaries based on Landsat satellite data. The NDVI time profiles were obtained with the use of the satellite service VEGA. On the basis of the developed method, all fields of the region were ranked by the quality of arable lands. Obtained data can be used in cadastre lands evaluation, and also for optimization of the arrangement of basic agricultural crops in the republic. The developed approach can be used also for other regions and subjects of Russian Federation.

Keywords: land evaluation, satellite service VEGA, Kabardino-Balkaria.

References

1. Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. Sputnikovy servis monitoring sostoyania rastitelnosti ("Vega") (Satellite service of monitoring the state of vegetation ("Vega")), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 190–198.
2. Pochvennaya karta Kabardino-Balkarskoy SSR. Mashtab 1:200000 (Soil Map of Kabardino-Balkarskaya SSR). Scale 1:200000. – GUGK, 1985.
3. Savin I.Yu., Simakova M.S. Sputnikovyye tekhnologii dlia inventarizatsii i monitoring pochv v Rossii (Satellite technologies for soil inventorying and monitoring in Russia), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 104–115.
4. Savin I.Yu., Bartalev S.A., Loupian E.A., Tolpin V.A., Khvostikov S.A., Prognozirovaniye urozhainosti sel'skokhoziaistvennykh kultur na osnove sputnikovykh dannyh: vozmozhnosti i perspektivy (Crop yield forecasting based on satellite data: possibilities and perspectives), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 3, pp. 275–285.
5. Tolpin V.A., Balashov I.V., Loupian E.A., Savin I.Yu., Sputnikovy servis "Vega" (Satellite service "Vega"), *Zemlia iz Kosmosa*, 2011, Release 9, spring, pp.32–37.
6. Fomin N.P., Sapozhnikov P.M., Novyye podhody k gosudarstvennoi kadaastrovoi ozenke zemel sel'skokhoziaistvennogo naznacheniya [Data publikatsii – 20.10.2010] (New approaches to the state cadaster estimation of the earth of agricultural designation [date of publication - 20.10.2010]), <http://www.valnet.ru/m7.phtml>.
7. Bala S.K., Islam A.S., Correlation between potato yield and MODIS-derived vegetation indices, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, Issue 10, January 2009, pp. 2491–2507.
8. Baret F., Guyot G., Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, *Remote Sensing of Environment*, 1991, 35:161–173.
9. Benedetti R., Rossinni P., On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna, *Remote Sensing of Environment*, 1993, 45:311–326.
10. Bouman B.A. M., Uenk D., Haverkort A.J. , Estimation of ground cover of potato by reflectance measurements, *Potato Research*, 1992, 35, 111–125.
11. Elvidge C.D., Lyon R.J.P., Influence of rock-soil spectral variation on assessment of green biomass, *Remote Sensing of Environment*, 1985, 17:265–279.
12. Huete A.R., Jackson R.D., Post D.F., Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds, *Remote Sensing of Environment*, 1985, 17:37–53.

13. Groten S.M.E., NDVI crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso, *International Journal of Remote Sensing*, 1993, 14(8):1495–1515.
14. Liu W.T., Kogan F., Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices, *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(6):1161–1179.
15. Medvedeva M.A., Savin I.Yu., Isaev V.A., Determination of Area of Drought-Affected Crops Based on Satellite Data (Exemplified by Crops in Chuvashia in 2010), *Russian Agricultural Sciences*, 2012, Vol. 38, No. 2, pp. 121–125.
16. Quarmby N.A., Milnes M., Hindle T.L., Silicos N., The use of multitemporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction, *International Journal of Remote Sensing*, 1993, 14:199–210.
17. Rasmussen M.S., Operational Yield forecast using AVHRR NDVI data: reduction of environmental and inter-annual variability, *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(5):1059–1077.
18. Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O. Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection, *Remote Sensing*, 2013, Vol. 5, No. 4, pp. 1704–1733.
19. Remote Sensing Support to Crop Yield Forecast and Area Estimates, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XXXVI, No. 8/W48 ISPRS WG VIII/10 Workshop 2006, Stresa, Italy.
20. Saravanan S., Estimating Yield of Irrigated Potatoes Using Aerial and Satellite Remote Sensing. (2011), *All Graduate Theses and Dissertations. Paper 1049*.
21. Savin I.Yu., Nègre T., *Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries - OPOCE EUR 22210EN*, Ispra (Italy), 2006, 214p.
22. Unganai L.S., Kogan F.N., Drought monitoring and Corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data, *Remote Sensing of Environment*, 1998, 63:219–232.
23. Yang C., Everitt J.H., Bradford J.M., Escobar D.E., Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery, *Transactions of ASAE*, 2000, 43(6):1927–1938.