

УДК 631.4

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЧВ ПАШНИ (НА ПРИМЕРЕ БАКСАНСКОГО РАЙОНА КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ)**

© 2015 г. **И. Ю. Савин<sup>1,2</sup>, Э. Р. Танов<sup>2</sup>, С. Харзинов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2  
e-mail: savigory@gmail.com*

<sup>2</sup>*Аграрный факультет РУДН, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 60  
e-mail: ehldar-tanov@rambler.ru*

<sup>3</sup>*Кабардино-Балкарский НИИСХ, 360024, Нальчик, ул. Мечникова, 130а  
e-mail: kharzinov83@mail.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 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. 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, NDVI, пахотные почвы.

## 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 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 или других участников этой деятельности также многократно возросла.

В период с 2001 по 2003 гг. 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 г.), составляли методологическую основу оценки земель в Российской Федерации.

Недостатки этих подходов отмечены во многих публикациях. В обобщенном виде они изложены в работе Н.П. Фомина и П.М. Сапожникова (2010). По мнению авторов, основные недостатки этих методических материалов сводятся 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 г. 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. 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 подходов на практике.

Для устранения 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, оценивать урожайность и воздействие экстремальных факторов, а также состояние почв (Savin, Negre, 2006; Remote sensing..., 2009; Савин и др., 2010; Савин, Симакова, 2012; Medvedeva et al., 2012; Савин, 2013). 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 (Normalized Difference Vegetation Index), полученного с использованием спутникового сервиса “ВЕГА”, для оценки состояния посевов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

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

санский район располагается в центральной части Кабардино-Балкарской республики, занимая площадь 82 958 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, обыкновенных, 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 урожайности сельскохозяйственных культур на отдельных полях.

Тем не менее, благоприятное сочетание почвенно-климатических условий приводит к большой сельскохозяйственной освоенности территории района, где абсолютно преобладают сельскохозяйственные угодья. По данным департамента статистики администрации Республики Кабардино-Балкария (фондовые ма-



**Рис. 1.** Местоположение Баксанского района.

териалы) на 2010 г., 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 2 000 га, или около 3% от общей площади района.

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

На предварительном этапе работ была создана векторная маска пахотных полей Баксанского района. В качестве основы для создания маски использовали спутниковую сцену Landsat 5 TM, полученную в 2010 г. Построение маски осуществляли с помощью программного обеспечения ILWIS 3.3 (<http://www.ilwis.org>). Маску создавали путем ручной векторизации границ полей. Выделяли лишь поля, которые распахивались хотя бы раз за период с 2005 по 2012 гг. Распахиваемость полей идентифицировали 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) осуществляли экстракцию еженедельных величин вегетационного индекса NDVI (normalized difference vegetation index) за период с 2001 по 2012 гг. Значения индекса экстрагировали 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 пытались определить тип возделываемой культуры. Для этого использовали такие индикаторы, как дата начала сезона вегетации на поле, дата сезонного максимума NDVI на поле, скорость роста величины NDVI весной, скорость уменьшения 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) определяли величину сезонного максимума NDVI. Эту величину использовали в качестве индикатора наземной фитомассы посевов в период цветения культур. О возможности использования величины сезонного максимума NDVI как индикатора наземной фито-

массы написано большое количество научных публикаций (Rembold et al., 2013). Более того, NDVI часто используется для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, включая и те, которые возделываются на территории исследований (Bozhan et al., 1992; Benedetti, Rossini, 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). Именно это и позволяет рассматривать NDVI в качестве индикатора состояния посевов и их урожайности.

Известно, что NDVI не является идеальным показателем состояния посевов и наземной 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 вряд ли имеет большое значение. На территории района исследований преобладают черноземные почвы с высоким содержанием гумуса в поверхностном горизонте, которые на склонах могут быть эродированы (Почвенная карта..., 1985). Следовательно, 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, с нашей точки зрения, не должно оказывать существенного влияния на точность используемого подхода.

На основе анализа величин сезонного максимума NDVI устанавливали вариабельность 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 ранжировали на группы по величинам среднего значения NDVI для каждой из рассматриваемых

культур (групп культур). Далее из рангов полей для отдельных групп проводили экспертную оценку качества земель поля с учетом средних значений сезонного максимума NDVI и его межгодового варьирования.

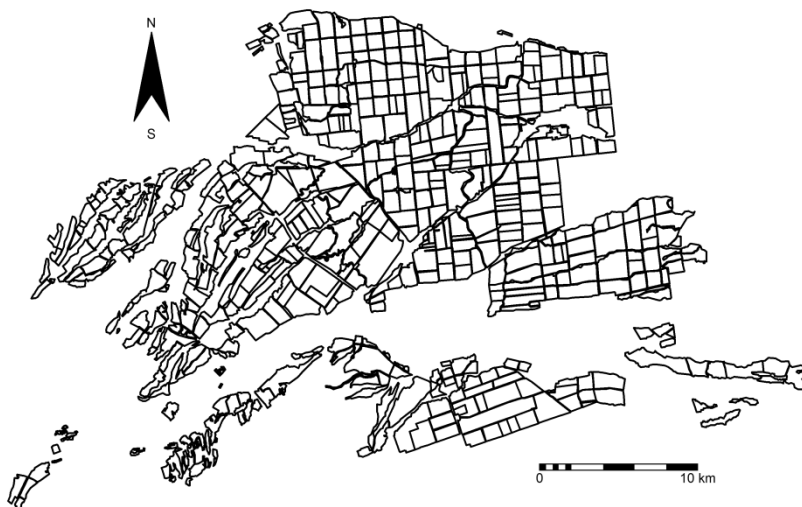
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На территории района выделено 576 пахотных полей (рис. 2). Преобладают выделы площадью от 20 до 120 га (рис. 3). Это означает, что для анализа состояния посевов по данным MODIS с пространственным разрешением около 6.25 га размеры полей вполне достаточны.

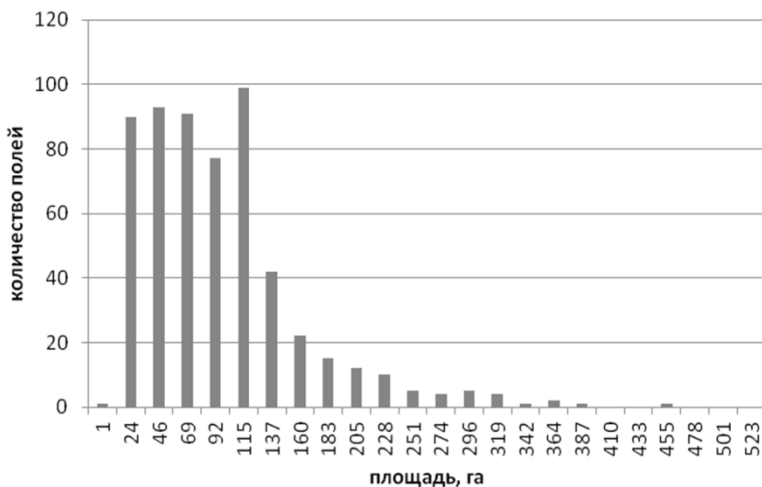
Анализ кривых NDVI, полученных для каждого поля, позволил уверенно идентифицировать группы посевов сельскохозяйственных культур: ранние яровые и озимые, поздние яровые. При этом оказалось, что из 12 проанализированных лет практически на всех полях 2–3 культуры не могут быть однозначно отнесены к какой-либо 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 в перспективе может служить основанием для идентификации севооборота культур на полях.

Анализ значений сезонных максимумов NDVI для каждого поля показал, большое варьирование этой величины от поля к полю (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 установили следующие граничные значения средней многолетней величины сезонного максимума NDVI групп (в скобках дано условное название): выше 0.8 (очень высокая урожайность), 0.75–0.79 (высокая урожайность), 0.70–0.74 (средняя урожайность), 0.65–0.69 (условно названа низкая урожайность), 0.60–0.64 (очень низкая урожайность).

Установлено, что значение 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 ранжировали на две группы: с сильным варьированием по годам (со стандартным отклонением больше или равно 0.05) и без сильного варьирования по годам (со стандартным отклонением менее 0.05). Граничные значения стандартного



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



**Рис. 3.** Гистограмма площади пахотных полей района.



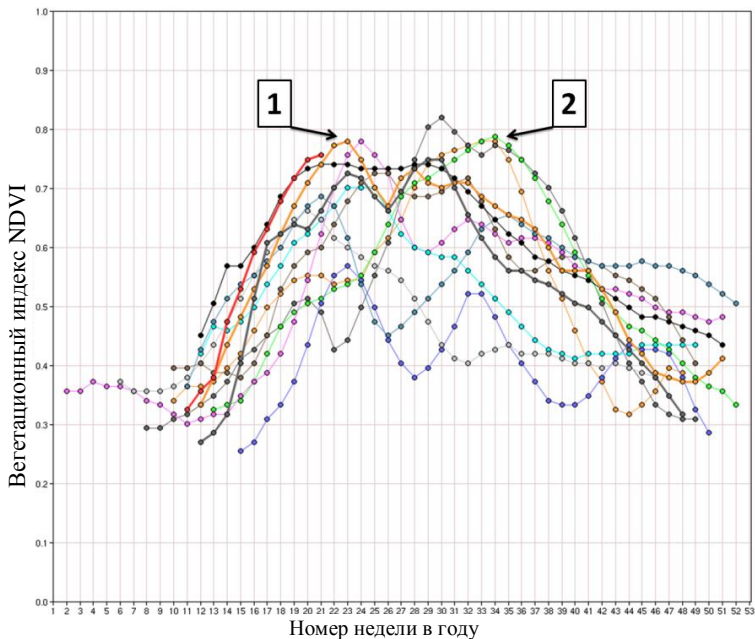


Рис. 4. Пример кривых NDVI для одного из полей (1 – кривые первой группы, 2 – второй).



Рис. 5. Поля с различной среднееголетней величиной NDVI (чем светлее цвет, тем больше индекс, черный цвет – нет данных).



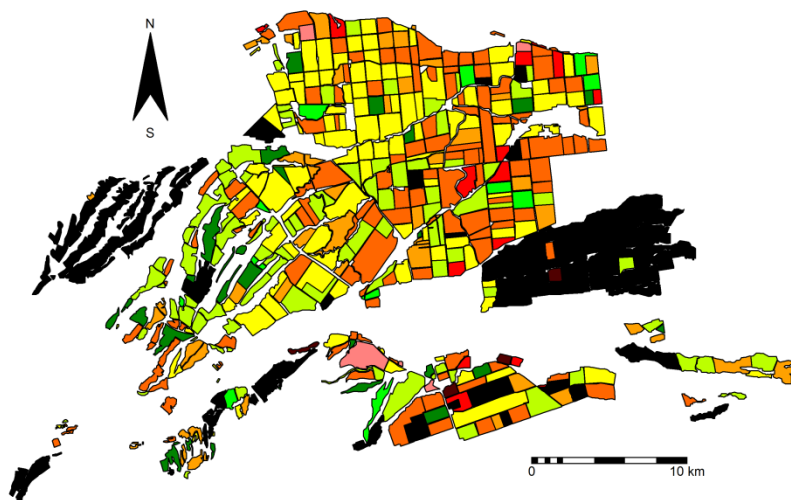
**Рис. 6.** Поля с различным варьированием величины NDVI по годам (серый цвет – высокое варьирование, белый цвет – низкое варьирование, черный цвет – нет данных).

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

Таким образом, сопряженный анализ этих данных (учет класса по величине сезонного максимума индекса и его варьирования по годам) позволил ранжировать все пахотные поля района по уровню их продуктивности с учетом урожайности культур (используя среднееголетнюю 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).

Выделены ранги полей по состоянию посевов на них как косвенной характеристики актуального плодородия почв:

- 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;



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

- 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. Видно, что существуют общие закономерности в распределении полей одного класса. 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 возде-

лывания 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, т.е. по качеству этих земельных участков.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спутниковый сервис “ВЕГА” 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 уверенно выделяются поля с озимыми культурами, поля с ранними яровыми зерновыми культурами и группа полей с поздними культурами, в которую попадает несколько 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 Институту космических исследований РАН за предоставления доступа к спутниковому сервису “ВЕГА”.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. М-б 1 : 200000. М., ГУГК, 1985.
3. *Савин И.Ю.* О тоне изображения открытой поверхности почв как прямом дешифровочном признаке // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. № 71. С. 52–64.
4. *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.
5. *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.
6. *Толпин В.А., Балашов И.В., Лупян Е.А., Савин И.Ю.* Спутниковый сервис “Вега” // Земля из космоса. 2011. Вып. 9. С. 32–37.
7. *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>
8. *Bala S.K., Islam A.S.* Correlation between potato yield and MODIS-derived vegetation indices // International J. of Remote Sensing. 2009. V. 30. Iss. 10. P. 2491–2507.
9. *Baret F., Guyot G.* Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment // Remote Sensing of Environment. 1991. Vol. 35. P. 161–173.
10. *Benedetti R., Rossini 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. Vol. 45. P. 311–326.
11. *Bouman B.A.M., Uenk D., Haverkort A.J.* Estimation of ground cover of potato by reflectance measurements // Potato Research. 1992. Vol. 35. P. 111–125.
12. *Elvidge C.D., Lyon R.J.P.* Influence of rock-soil spectral variation on assessment of green biomass // Remote Sensing of Environment. 1985. Vol. 17. P. 265–279.
13. *Huete A. R., Jackson R.D., Post D.F.* Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds // Remote Sensing of Environment. 1985. Vol. 17. P. 37–53.
14. *Groten S.M.E.* NDVI crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso // International J. of Remote Sensing. 1993. Vol. 14(8). P. 1495–1515.

15. *Liu W. T., Kogan F.* Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices // *International J. of Remote Sensing*. 2002. Vol. 23(6). P. 1161–1179.
16. *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. P. 121–125.
17. *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 J. of Remote Sensing*. 1993. Vol. 14. P. 199–210.
18. *Rasmussen M.S.* Operational Yield forecast using AVHRR NDVI data: reduction of environmental and inter-annual variability // *International J. of Remote Sensing*. 1997. Vol. 18(5). P. 1059–1077.
19. *Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O.* Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection // *Remote Sensing*. 2013. T. 5. № 4. C. 1704–1733.
20. Remote sensing support to crop yield forecast and area estimates the international archives of the photogrammetry // *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2006. Vol. XXXVI. No. 8/W48 ISPRS WG VIII/10.
21. *Saravanan S.* Estimating Yield of Irrigated Potatoes Using Aerial and Satellite Remote Sensing // *All Graduate Theses and Dissertations*. 2011. Paper 1049.
22. *Savin I.Yu., Nègre T.* Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries. OPOCE EUR 22210EN. Ispra (Italy), 2006. 214 p.
23. *Unganai L.S., Kogan F.N.* Drought monitoring and corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data // *Remote Sensing of Environment*. 1998. Vol. 63. P. 219–232.
24. *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. Vol. 43(6). P. 1927–1938.

## **THE USE OF NDVI PROFILES FOR ESTIMATING THE QUALITY OF ARABLE LANDS (EXEMPLIFIED BY THE BAKSAN REGION IN KABARDINO-BALKARIA)**

**I. Savin<sup>1, 2</sup>, E. Tanov<sup>2</sup>, S. Kharzinov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 119017 Moscow, Pyzhevskii, 7, bld. 2  
e-mail: savigory@gmail.com*

<sup>2</sup>*Peoples' Friendship University of Russia, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya, Str. 6  
e-mail: ehldar-tanov@rambler.ru*

<sup>3</sup>*Kabardino-Balkarsky NIISH, 360024, Russia*  
*e-mail: kharzinov83@mail.ru*

A new approach to estimating the quality of arable lands was developed as based upon MODIS-derived satellite data. The essence of the approach consists in an expert analysis of NDVI curves created separately for different crop groups in the last 10–12 years as well as the inter-annual variability of the NDVI seasonal maximum, whose value was used as an indicator for the crop state and yield on different fields. The nature of NDVI curves allowed expertly classifying the groups, characterizing the winter, early spring and late spring crops. The approach to estimating the quality of arable lands was approved on the example of the Baksan region in Kabardino-Balkaria. All the arable lands have been comprehensively analyzed in the region, the mask of which was created by visual interpretation of field boundaries using LANDSAT satellite data. The temporary NDVI profiles were obtained by the satellite service “VEGA”. Based upon the given method all the fields in the region were classified according to the quality of arable lands. The obtained data may be used in cadastre surveys for objective estimate of lands and optimal arrangement of the main agricultural crops in this Republic, being applicable in the other regions of the Russian Federation.

*Keywords:* land estimation, NDVI, satellite service “VEGA”, arable lands, Kabardino-Balkaria.