

УДК 528.44(470.53)

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-4-208-218

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАХОТНЫХ УГОДИЙ (НА ПРИМЕРЕ УИНСКОГО РАЙОНА ПЕРМСКОГО КРАЯ)

Анна Павловна Белоусова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, ассистент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (982)476-76-26, e-mail: uran399@mail.ru

Анализ использования пахотных земель является актуальной задачей для многих регионов России ввиду отсутствия объективных данных об их площадях и местоположении. Определение границ пахотных земель по существующим методикам позволило выявить существенные несоответствия в их заявленной площади. Однако такие методики требуют большого экспертного участия. В статье рассмотрена применимость таких индексов, как NDVI, ASVI, SAVI, BI, UI. Результаты исследования демонстрируют, что ни один из используемых индексов не обеспечивает идентификации пахотных земель с точностью более чем 90 %. При этом индексы дают значительные ошибки при классификации необрабатываемых земель, идентифицируя их как обрабатываемые. Оптимальными для решения поставленной задачи являются индексы NDVI и ASVI с процентом выявленных пахотных земель в 72,37 % и 70,84 %, и ошибкой идентификации залежей в 6,58 и 7,41 % от общей площади пахотных земель и залежей соответственно. Таким образом, использование данных индексов без внесения каких-либо дополнительных условий не позволяет оценивать площади пахотных земель с приемлемой точностью.

Ключевые слова: тематическая обработка пространственных данных, сельское хозяйство, пахотные земли, использование сельскохозяйственных угодий, данные космической съемки, Landsat, вегетационные индексы.

Введение

Земли сельскохозяйственного назначения имеют приоритетное правовое значение в земельном законодательстве Российской Федерации в связи с их особой ценностью для обеспечения продовольственной безопасности страны. Однако ведение сельскохозяйственной деятельности на территории нечерноземной зоны менее привлекательно из-за рисков, вызванных климатическими условиями [1]. В результате можно наблюдать повсеместное сокращение площади обрабатываемых земель. Только за период с 1990 по 2000 г. можно отметить сокращение площадей на 31 % по территории России [2, 3]. Особо ценными сельскохозяйственными угодьями принято считать пахотные земли [4]. Информация о наличии и использовании пахотных земель позволит рационально принимать управленческие решения в отношении таких территорий.

Выявление территорий, используемых под пахотные земли, необходимо также для соблюдения земельного законодательства. При неиспользовании сельскохозяйственных угодий по целевому назначению применяются санкции

в виде изъятия у собственника таких территорий. Изъятие такого земельного участка у собственника производится в судебном порядке в случае, если в течение трех и более лет подряд с момента выявления в рамках государственного земельного надзора установлен факт неиспользования земельного участка по целевому назначению [5]. Неиспользование пахотных земель по назначению приводит к уменьшению их плодородия, деградации и зарастанию лесной растительностью. В конечном счете, повторное вовлечение таких территорий в сельскохозяйственный оборот считается экономически нецелесообразным.

На территорию Пермского края на данный момент отсутствуют объективные данные по использованию пахотных земель и их фактическому местоположению. Существующие сведения формируются на основе отчетов землепользователей, носят декларативный характер и не имеют пространственной привязки. Стоит отметить, что ведутся работы по созданию и наполнению Единой федеральной информационной системы земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) [6], которая позволит располагать актуальной и достоверной информацией о текущем использовании земель, их границах и других характеристиках, позволяющих повысить эффективность использования земельных ресурсов. Однако все эти данные вносятся в ручном режиме и с обязательным проведением полевых проверок, что требует больших временных издержек.

В связи с этим основной целью исследования является повышение степени автоматизации выявления пахотных земель. Существуют методики [7–10] по определению границ пахотных угодий с помощью данных космической съемки, однако они требуют большого экспертного участия. Данные методики опираются на использование мультитимеменных композитов, собранных из красного, ближнего инфракрасного и коротковолнового инфракрасного каналов нескольких безоблачных снимков, полученных в течение одного вегетационного периода [8].

Основной задачей исследования является выявление используемых пахотных земель для их дальнейшего мониторинга. Расчет спектральных индексов и определение их характерных значений для залежных земель позволит автоматизировать данный процесс.

В настоящее время существует более 160 различных вегетационных индексов [11]. В основе расчета большей части из них лежат два спектральных канала – красный (RED) и ближний инфракрасный (NIR). На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75–1,3 мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Следовательно, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Именно отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от открытого грунта [12].

Методы и материалы

В качестве исходных материалов были использованы данные среднего пространственного разрешения (30 м) спутника Landsat [13] и проверочный слой данных с отображением границ используемых по назначению пахотных земель в границах муниципального района. Опыт использования данных Landsat на региональном и макрорегиональном уровне описан в работах [7–9]. Для исследования отбирались данные с минимальной облачностью, в связи с чем не каждый вегетационный сезон можно использовать для определения пахотных земель. По этой причине использовались данные, полученные в 2016 г. на следующие даты: 17.05, 02.06, 04.07 и 21.08.

Проверочный слой с границами пахотных земель был создан по следующей методике. В первую очередь были выделены области, которые могут рассматриваться как сельскохозяйственные угодья, путем исключения из общих границ несельскохозяйственных территорий. К таким территориям относятся участки, покрытые древесно-кустарниковой растительностью, лесные вырубки, населенные пункты, транспортная и инженерная инфраструктура, водные объекты, обрывы, овраги и другие территории, на которых невозможно производить вспашку. Для этого были использованы векторные топографические слои карты Пермского края масштаба 1:100 000, а также визуальное дешифрирование исходных снимков и снимки сверхвысокого разрешения, полученные из открытого сервиса ESRI World Imagery.

В дальнейшем для разделения пахотных земель и залежей была использована методика, описанная в работе [8]. В соответствии с данной методикой был создан мультитременной композит из красного, ближнего инфракрасного и коротковолнового инфракрасного каналов нескольких безоблачных снимков, полученных в течение вегетационного периода. Полученное растровое изображение классифицируется с помощью неуправляемой классификации ISODATA на 50 классов. Далее были выделены классы пахотных земель и залежей, где к классу пахотных земель относились участки, на которых хотя бы раз за вегетационный период был зафиксирован открытый грунт. Поскольку открытый грунт имеет очень высокую яркость в среднем инфракрасном канале, такие участки выделяются при классификации достаточно надежно. Результат был верифицирован полевым выездом на территорию района.

Дальнейшие работы включают в себя анализ применимости различных спектральных индексов для оценки использования пахотных земель. Основным преимуществом использования вегетационных индексов для классификации обрабатываемых и необрабатываемых сельхозугодий, в сравнении с методикой [8], является более высокая степень автоматизации, так как существующая методика требует достаточно трудоемкой переклассификации результатов работы алгоритма ISODATA.

Опираясь на исследования, посвященные анализу спектральных индексов [11, 14, 15], были рассчитаны Normalized Difference Vegetation Index (NDVI),

Arid Semiarid Vegetation Index (ASVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Bare Soil Index (BI) и Urban Index (UI). Расчет индексов осуществлялся в границах рассматриваемых сельскохозяйственных угодий. Выбор индексов основывался на построении гистограммы распределения их значений в пределах маски сельхозугодий. Индексы, позволяющие отделить открытый грунт (пашню) от залежи, имеют двухмодальное распределение, где одна мода соответствует открытому грунту, а другая – растительности. Такое распределение имеют индексы BI, UI, NDVI, SAVI и ASVI. Примеры гистограмм распределения значений индексов представлены на рис. 1.

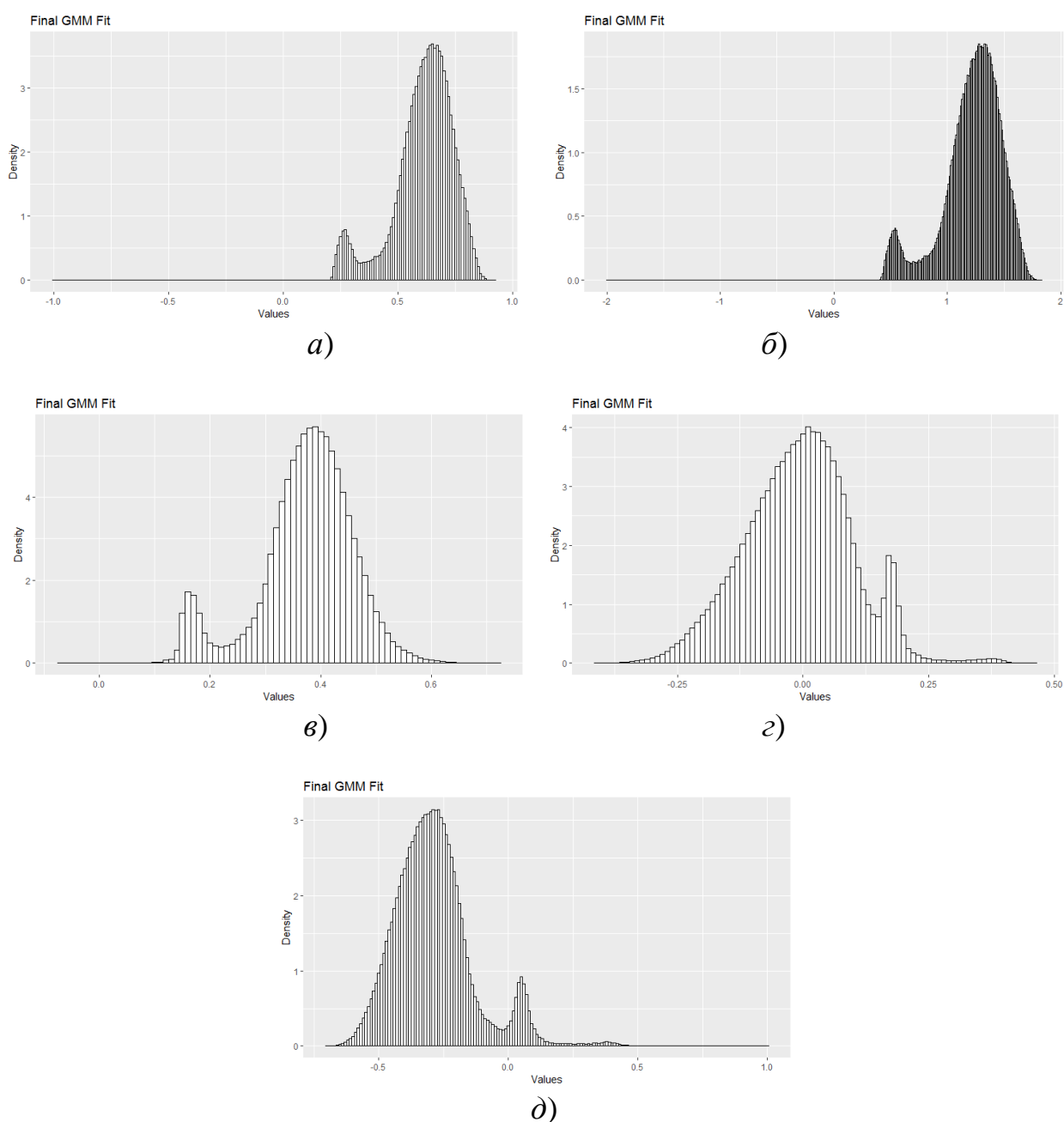


Рис. 1. Гистограммы распределения значений индекса на 17.05.2016:
 а) NDVI; б) ASVI; в) SAVI; з) BI; д) UI

NDVI используется для мониторинга типов и состояния растительности, в том числе для разделения типов пахотных земель. Он обладает широким динамическим диапазоном и хорошей чувствительностью к изменениям растительности, что позволяет отделить открытый грунт от растительности. В основе расчета положена зависимость от высокой фотосинтетической активности густой растительности, наличие которой приводит к уменьшению отражательной способности в красной зоне спектра и ее увеличению в зоне ближнего инфракрасного излучения:

$$\text{NDVI} = \left(\frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \right), \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

ASVI описан в работе [15]. Этот индекс является суммой двух известных индексов – NDVI и нормализованного разностного инфракрасного индекса (NDII):

$$\text{ASVI} = \left(\frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \right) + \left(\frac{\text{NIR} - \text{SWIR1}}{\text{NIR} + \text{SWIR1}} \right), \quad (2)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра;

SWIR1 – отражение коротковолновой инфракрасной области спектра.

SAVI применяется для разреженной растительности и является устойчивым к влиянию почвы. Для данного индекса вносится корректирующий коэффициент, который может варьироваться от 0 для очень густой растительности, до 1 для очень разреженной:

$$\text{SAVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})(1 + L)}{\text{NIR} + \text{RED} + L}, \quad (3)$$

где L – коэффициент линии почв, принятый за 0,5;

NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

В большинстве приложений для промежуточных плотностей растительности используется стандартное значение 0,5. Данный индекс слабо чувствителен к изменениям растительного покрова древесно-кустарникового типа. Однако он имеет чувствительность для территорий с малыми запасами фитомассы [11]. Также были использованы индексы (BI, NDBI, UI), разработанные Jean A. V. Doumit в рамках исследования территории долины Бекаа [14]. Данные индексы позволяют отделить открытый грунт от территорий с застройкой и растительностью. Однако результаты индекса BI не очень надежны

на территориях с густой растительностью. UI, по данным автора, отображает плотность агломераций:

$$BI = \frac{(NIR + SWIR1) - (NIR + BLUE)}{(NIR + SWIR1) + (NIR + BLUE)}; \quad (4)$$

$$UI = \frac{(SWIR2 - NIR)}{(SWIR2 + NIR)}, \quad (5)$$

где BLUE – отражение в синей области спектра;

NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

SWIR1 и SWIR2 – отражение в коротковолновой инфракрасной области спектра.

Поскольку распределение перечисленных индексов является двухмодальным, потребовалось провести операцию разделения распределений так, чтобы одно распределение соответствовало участкам открытой почвы, а другое – участкам с наличием растительного покрова. Данная операция была реализована средствами языка программирования R. Также выполнена оценка нормальности для полученных распределений.

В большинстве случаев распределение значений индексов является нормальным, что позволяет использовать параметрические критерии для определения пороговых значений. В качестве порога для отделения распаханых земель было использовано значение $\mu \pm 2\sigma$ для распределения, соответствующего открытой почве. Следует отметить, что для индексов NDVI, ASVI, SAVI открытой почве соответствуют низкие значения, а для индексов BI и UI – высокие значения (см. рис. 1).

Результат представлен в табл. 1.

Таблица 1

Пороговые значения индексов для пахотных земель (min/max)

	NDVI	ASVI	SAVI	BI	UI
17.05.2016	0,183/0,419	0,365/0,837	0,113/0,249	0,063/0,283	-0,133/0,267
02.06.2016	0,202/0,494	0,406/0,986	0,127/0,327	-0,013/0,235	-0,246/0,166
04.07.2016	0,205/0,601	0,406/1,206	0,164/0,432	-0,107/0,137	-0,368/0,052
21.08.2016	0,227/0,525	0,489/1,049	0,077/0,273	0,019/0,211	-0,282/0,230

В дальнейшем по данным пороговым значениям производилась переклассификация растров со значениями индексов, где в результате получены бинарные растры (значение 1 – пахотные земли, 0 – непахотные земли) на каждую дату. После этого создавался бинарный растр для всего вегетационного сезона по каждому индексу, где 1 присваивалась тем ячейкам, которые хотя бы один раз были отнесены к пахотным землям.

Результаты и их обсуждение

Ограничение территории исследования в границах муниципальных районов позволяет оценить корректность сведений из отчетов землепользователей по использованию пахотных земель. Так, при создании проверочного слоя с границами пахотных земель Уинского района была получена площадь 8 647,6 га, в то время как по данным статистических отчетов площадь пахотных угодий составляет 14 078,35 га [16].

Данный район по существующему районированию попадает на две зоны, границей между ними выступает р. Ирень. Восточная часть района представляет зону подтаежных лесов, а западная попадает в зону Кунгурской островной лесостепи [17]. Таким образом, исследование данного района позволяет оценить применимость методики выявления пахотных земель на примере различных почвообразующих условий.

Результаты, полученные путем сопоставления проверочного слоя пахотных земель и классификации спектральных индексов, представлены в табл. 2 в двух вариантах. В первом случае использованы данные, полученные на все возможные даты вегетационного сезона 2016 г. Во втором не учитывались данные, полученные в августе, поскольку обширные площади сухой растительности были ошибочно классифицированы как открытый грунт.

Таблица 2

Результат сопоставления проверочного слоя пахотных земель
и классификации спектральных индексов, га (%)

Индексы	Пахотные земли		Непахотные земли	
	Идентификация	Ошибка	Идентификация	Ошибка
даты снимков 17.05; 02.06; 04.07; 21.08				
NDVI	5 930,55 (72,37 %)	2 264,49 (27,63 %)	24 385,77 (93,42 %)	1 717,56 (6,58 %)
SAVI	6 299,28 (76,87 %)	1 895,76 (23,13 %)	21 109,05 (80,87 %)	4 993,29 (19,13 %)
ASVI	5 805,09 (70,84 %)	2 390,04 (29,16 %)	24 168,87 (92,59 %)	1 933,38 (7,41 %)
BI	7 211,34 (87,99 %)	983,70 (12,01 %)	12 336,84 (47,26 %)	13 765,5 (52,74 %)
UI	7 156,98 (87,33 %)	1 038,06 (12,67 %)	16 384,32 (62,77 %)	9 718,02 (37,23 %)
даты 17.05; 02.06; 04.07				
NDVI	4 383,00 (53,48 %)	3 812,04 (46,52 %)	25 581,87 (98,00 %)	521,46 (2,00 %)
SAVI	5 573,97 (68,02 %)	2 621,07 (31,98 %)	21 648,24 (82,94 %)	4 454,10 (17,06 %)
ASVI	4 342,14 (52,98 %)	3 853,08 (47,02 %)	25 395,84 (97,29 %)	706,32 (2,71 %)
BI	5 316,75 (64,88 %)	2 878,29 (35,12 %)	20 502,54 (78,55 %)	5 599,80 (21,45 %)
UI	5 260,68 (64,19 %)	2 934,36 (35,81 %)	23 173,11 (88,78 %)	2 929,23 (11,22 %)
	100 % – 8 195,04 га		100 % – 26 102,34 га	

Анализируя полученные результаты, можно наблюдать, что ни один из используемых индексов не обеспечивает идентификацию пахотных земель с точностью 90 % или выше. При использовании 4 снимков (за 17.05; 02.06; 04.07; 21.08) максимальные площади пахотных земель выделяются по индексам BI

и III. Однако эти же индексы дают значительные ошибки при классификации необрабатываемых земель.

При использовании 3 снимков (за 17.05; 02.06; 04.07) можно наблюдать существенное сокращение площади не только ошибочно идентифицированных залежей, но и правильно идентифицированных пахотных земель.

Для наиболее оптимального выявления распаханых земель можно выделить индексы NDVI и ASVI (рис. 2) с процентом выявленных пахотных земель в 72,37 % и 70,84 % и ошибкой идентификации залежей в 6,58 % и 7,41 % соответственно.

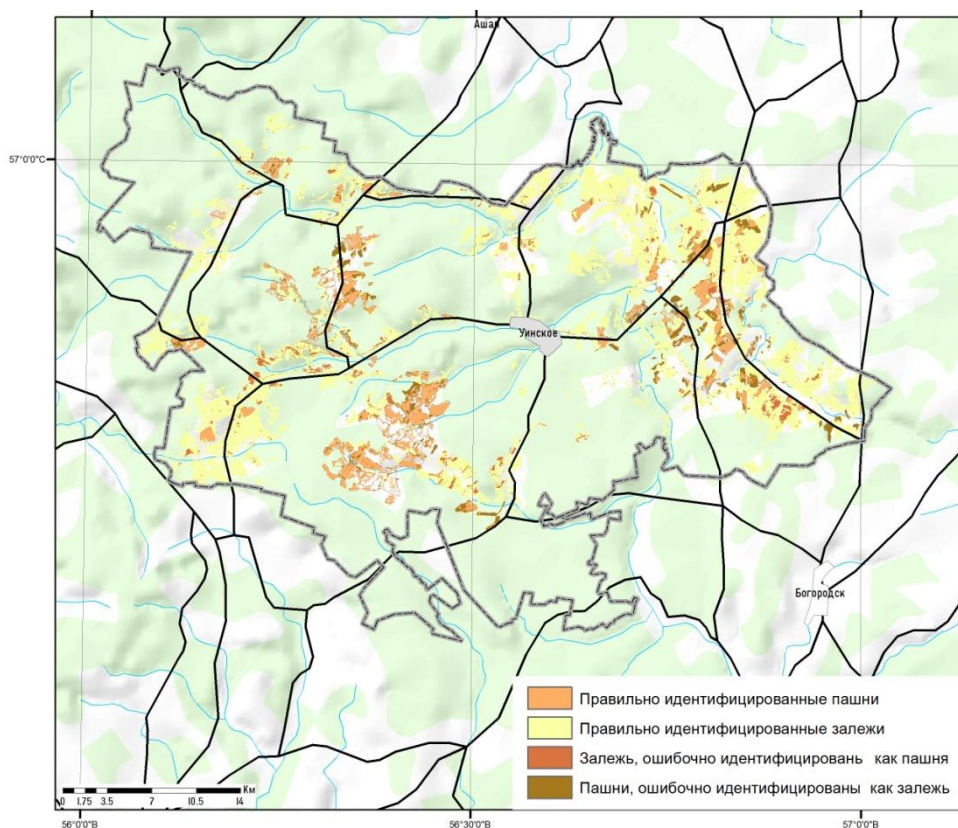


Рис. 2. Результат классификации индекса NDVI (за 17.05; 02.06; 04.07; 21.08)

Заключение

Статистические данные о площади обрабатываемых земель, основанные на отчетах сельскохозяйственных производителей, считаются существенно завышенными. При использовании спутниковых данных и результатов полевых обследований площадь пахотных земель Уинского района оценена в 8 647,6 га, что на 38,6 % меньше, чем по отчетам сельхозпроизводителей (14 078,35 га).

Существующие методики дает возможность определять границы пахотных земель с высокой достоверностью, однако для этого требуется существенное

экспертное участие. Применение индексов дает возможность автоматизировать выявление границ пахотных земель, однако данные методы не позволяют обеспечить требуемую точность разделения пашен и залежей. При использовании индексов участки залежей с сухой растительностью частично были отнесены к пашням. Точность выделения самих пахотных земель составляет 70–90 % при использовании 4 снимков одного вегетационного периода. Исходя из полученных данных, оптимальными индексами можно считать NDVI и ASVI, которые обеспечивают идентификацию пахотных земель на 72,37 % и 70,84 % от их общей площади. При этом ошибка идентификации залежей составляет 6,58 % и 7,41 % соответственно. Таким образом, использование данных индексов без внесения каких-либо дополнительных условий не позволяет оценивать площади пахотных земель с приемлемой точностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экологическая безопасность и проблемы адаптации сельского хозяйства центра черноземной зоны России к изменяющимся погодным ситуациям / В. В. Ковалёв, Н. Д. Хоменко, С. В. Рыков, Н. Е. Рязанова, В. В. Соколов // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 3. – С. 28–33.
2. Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe / A. V. Prishchepov, V. C. Radeloff, M. Baumann, T. Kuemmerle, D. Müller // Environ Res Lett. – Vol. 7 (2). – P. 024021.
3. Underlying Drivers and Spatial Determinants of post-Soviet Agricultural Land Abandonment in Temperate Eastern Europe / A. V. Prishchepov, D. Müller, M. Baumann, T. Kuemmerle, C. Alcantara, V. C. Radeloff [Electronic resource]. – Mode of access: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-42638-9_5.
4. Земельный кодекс Российской Федерации : федер. закон РФ № 136-ФЗ от 25.10.2001. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Об обороте земель сельскохозяйственного назначения : федер. закон от 24.07.2002 № 101-ФЗ (ред. от 03.08.2018). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Единая федеральная информационная система земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://efis.mcx.ru/opendata>.
7. Методика картографирования динамики пахотных угодий в бассейнах рек Европейской территории России за период 1985–2015 гг. / М. А. Иванов, А. В. Прищепов, В. Н. Голосов, Р. Р. Залялиев, К. В. Ефимов, А. А. Кондратьева, А. Д. Киняшова, Ю. К. Ионова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 5. – С. 161–171.
8. Стыщенко Е. А. Возможности распознавания сельскохозяйственных угодий с использованием методики совместной автоматизированной обработки разносезонных многозональных космических изображений. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 5. – С. 172–183.
9. The effect of Landsat ETM/ETM+ image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe / A. V. Prishchepov, V. C. Radeloff, M. Dubinin, C. Alcantara // Remote Sensing of Environment – 2012. – Vol. 126. – P. 195–209;
10. Терехин Э. А. Методические основы оценки площади чистых паров на основе данных дистанционного зондирования. // Научные ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». – 2014. – № 3 (174), вып. 26. – С. 148–156.
11. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – Вып. 2. – С. 98–102.

12. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа / В. В. Братков, И. В. Кравченко, Г. А. Туаев, З. В. Атаев, А. А. Абдулжалимов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2016. – Т. 10, № 4. – С. 97–111.

13. Официальный сайт геологической службы США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/>.

14. Doumit J. A. V., Sakr S. C. La cartographie du sol nu dans la vallee de la Bekaa a partir de la tetedetection // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС». – 2016. – Т. 1, №. 21. – С. 19–24.

15. Каркон В. М. М. Геоэкологический мониторинг природных и антропогенных ландшафтов западного Ирана на основе данных дистанционного зондирования : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2018 – 26 с.

16. Посевные площади сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс] : ЕМИСС Государственная статистика. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 14.06.2018).

17. Атлас Пермского края [Электронный ресурс] / Под общ. ред. А. М. Тартаковского. – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. – 124 с. – Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/atlas/Atlas_Permian.pdf.

Получено 06.06.2019

© А. П. Белоусова, 2019

APPLICATION OF VEGETATION INDEXES IN THE ANALYSIS OF ARABLE LAND USE (ON THE EXAMPLE OF UINSKY DISTRICT OF PERM KRAI)

Anna P. Belousova

Perm State University, 15, Bukireva St., Perm, 614990, Russia, Assistant, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (982)476-76-26, e-mail: uran399@mail.ru

Analysis of arable land use is an urgent task for many regions of Russia due to the lack of objective data on their areas and location. Determination of arable land boundaries by existing methods allowed to identify significant inconsistencies in their claimed area. However, such methods require a lot of expert participation. The article considers the applicability of such indexes as NDVI, ASVI, SAVI, BI, UI. The results of the study demonstrate that none of the indices used provides identification of arable land with an accuracy of more than 90 %. At the same time, the indexes give significant errors in the classification of uncultivated lands, identifying them as cultivated. The NDVI and ASVI indexes with the percentage of identified arable land in 72.37 % and 70.84 %, and the error of identification of deposits in 6.58 and 7.41 % of the total area of arable land and deposits, respectively, are optimal for solving the task. Thus, the use of these indexes without making any additional conditions does not allow to estimate the area of arable land with appropriate accuracy.

Key words: thematic spatial data processing, agriculture, arable land, agricultural land use, space survey data, Landsat, vegetative indexes.

REFERENCES

1. Kovalev, V. V., Khomenko, N. D., Rykov, S. V., Ryazanova, N. E., & Sokolov, V. V. (2010). Ecological safety and agriculture adaptation problems center of the non-chernozem zone of Russia to changing weather situations. *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Vestnik RUDN. Series: Ecology and Life Safety]*, 3, 28–33 [in Russian].

2. Prishchepov, A. V., Radeloff, V. C., Baumann, M., Kuemmerle, T., & Müller, D. (2012). Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe. *Environ. Res. Lett.*, 7(2), P. 024021.
3. Prishchepov, A. V., Müller, D., Baumann, M., Kuemmerle, T., Alcantara, C., & Radeloff, V. C. *Underlying Drivers and Spatial Determinants of post-Soviet Agricultural Land Abandonment in Temperate Eastern Europe*. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-42638-9_5.
4. The Land Code of the Russian Federation of October 25, 2001 No. 136–FZ. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
5. The Federal Law of July 24, 2002 No. 101–FZ (ed. August 03, 2018). On the turnover of agricultural land. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
6. Unified Federal Information System for Agricultural Lands. Retrieved from <http://efis.mcx.ru/opendata> [in Russian].
7. Ivanov M. A., Prishchepov A. V., Golosov V. N., Zalyaliev R. R., Efimov K. V., Kondrat'eva A. A., Kinyashova A. D., & Ionova Yu. K. (2017). Method of croplands dynamics mapping in river basins of the European part of Russia for the period of 1985–2015. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space]*, 14(5), 161–171 [in Russian].
8. Stytsenko, E. A. (2017). Evaluation of the possibilities to classify agricultural lands using multi-seasonal satellite data processing. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space]*, 14(5), 172–183 [in Russian].
9. Prishchepov, A. V., Radeloff, V. C., Dubinin, M., & Alcantara, C. (2012). The effect of Landsat ETM/ETM+ image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe. *Remote Sensing of Environment*, 126, 195–209.
10. Terekhin, E. A. (2014). Methodical basis for estimating the area of pure vapor based on remote sensing data. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki [Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences]*, Vol. 26, No. 3(174), 148–156 [in Russian].
11. Cherepanov, A. S. (2011). Vegetation Indexes. *Geomatika [Geomatics]*, 2, 98–102 [in Russian].
12. Bratkov, V. V., Kravchenko, I. V., Tuaeov, G. A., Ataev, Z. V., & Abdulzhalimov, A. A. (2016). Application of Vegetation Indexes for Mapping Landscapes of the Greater Caucasus. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki [Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences]*, 10(4), 97–111 [In Russian].
13. The official website of the US Geological Survey. (n. d.). Retrieved from <https://www.usgs.gov/>.
14. Doumit, J. A. V., & Sakr, S. C. (2016). La cartographie du sol nu dans la vallee de la Bekaa a partir de la tetedetection. *Proceeding of the International Conference "InterCarto/InterGIS"*, 1(21), 19–24.
15. Karkon, V. M. M. (2018). Geocological monitoring of natural and anthropogenic landscapes of western Iran based on remote sensing data. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow, 26 p. [in Russian].
16. Sown areas of agricultural crops: EMISS State statistics. (n. d.). Retrieved from <https://www.fedstat.ru> (accessed 14.06.2018) [in Russian].
17. Tartakovskiy A. M. (Ed.). (2012). *Atlas Permskogo kraja [Atlas of Perm region]*. Permian: Perm State University, 124 p. Retrieved from http://www.psu.ru/files/docs/science/books/atlas/Atlas_Permian.pdf.

Received 06.06.2019

© A. P. Belousova, 2019