

Выявление разновозрастных залежей на эрозионно-опасных территориях юга Западной Сибири с применением геоинформационных технологий

Е. А. Сайб, А. Н. Безбородова, С. В. Соловьев, Г. Ф. Миллер, Д. А. Филимонова

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: sajb@issa-siberia.ru*

Рациональное использование почвенного потенциала страны — основа её благосостояния, и поэтому первостепенной задачей государственного управления земельными ресурсами является организация мониторинга земель. Наиболее важный инструмент мониторинга — применение данных дистанционного зондирования Земли. В настоящее время особое значение имеет обнаружение и учёт земель, находящихся в состоянии залежей. В данной работе проанализированы различные способы анализа и методы обработки космических снимков с целью обнаружения залежей и определения их возраста, такие как визуальное дешифрирование с целью выявления основных и дополнительных дешифровочных признаков; синтез различных спектральных каналов; расчёт вегетационного индекса NDVI. Изучены разновозрастные залежи эрозионно-опасных территорий Западной Сибири, расположенные в Тогучинском и Искитимском районах Новосибирской обл. Выявлено, что снимки Landsat-8 OLI с разрешением 30 м на пиксель не подходят для подобных изысканий, по причине того что участки залежных земель зачастую имеют небольшую площадь. В работе обосновано использование снимков Sentinel-2A с разрешением 10 м на пиксель. Сравнительный анализ различных комбинаций спектральных каналов (Color Infrared, Agriculture, Vegetation Analysis, Healthy Vegetation, Shortwave Infrared) показал их недостаточную информативность для выявления залежных земель и установления их возраста. Использование же индекса NDVI позволило выявить характерные особенности разновозрастных залежей, целины и пашни и предложить шкалу для определения возраста залежей. Этот инструмент может быть использован на первичном этапе работы с данными дистанционного зондирования Земли и картографическим материалом, а также для контроля целевого использования земель при кадастровом учёте.

Ключевые слова: почва, залежь, пашня, данные дистанционного зондирования Земли, вегетационный индекс NDVI, ГИС-технологии

Одобрена к печати: 16.06.2020
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-129-136

Введение

Повышение благосостояния общества зависит от его умения эффективно использовать незаменимый природный ресурс — земельный. Земли сельскохозяйственного назначения являются стратегическим ресурсом государства, от рационального использования которого зависит функционирование всех отраслей сельского хозяйства и экономики в целом. Учётом таких земель занимается государственный кадастр.

Необходимо признать, что государственный кадастр недвижимости не может предоставить исчерпывающие данные по рациональному использованию земель в сельскохозяйственной деятельности. В результате происходит их нерациональное использование, что приводит к деградации, захламлению, зарастанию древесно-кустарниковой растительностью сельскохозяйственных площадей; данные процессы приводят к тому, что плодородные земли переходят в состояние залежи (Сетуридзе, 2014). Таким образом, первостепенной задачей государственного управления земельными ресурсами является организация мониторинга земель, и в первую очередь — сельскохозяйственных.

Для повышения качества мониторинга внедряются новые средства и технологии, системы наблюдений, сбора и обработки информации на основе данных дистанционного зондирования

Земли (ДЗЗ) как наиболее объективного и оперативного в применении метода. Это позволяет вести регулярное наблюдение за состоянием земель и актуализировать имеющуюся информацию (Кривоконева, Гончарова, 2011).

Кроме того, особое значение имеет обнаружение и учёт земель, находящихся в состоянии залежей. По состоянию на 01.01.2019 (<https://rosreestr.ru/site/activity/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyu-natsionalnyu-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/>) в Российской Федерации из 382,5 млн га земель 4,9 млн га составляют залежи. Имея высокое стратегическое значение, данная категория земель требует особого подхода с учётом региональных особенностей территории: как геоморфологических, так и экологических (Миллер и др., 2019). В ряде случаев это обусловлено введением в состояние залежи почв, в разной степени эродированных: без рационального подхода к возвращению залежей в сельскохозяйственный оборот высока вероятность ещё большей деградации эродированных земель, что, в свою очередь, может привести к дополнительным экономическим издержкам и ухудшению экологической ситуации.

Целью настоящей работы является определение признаков залежных земель разного возраста с применением данных ДЗЗ и геоинформационных технологий.

Объекты исследования

Объектами исследования стали разновозрастные залежи, расположенные в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины, в Тогучинском и Искитимском районах Новосибирской обл., относящихся к Заобской геоморфологической области (возвышенная волнисто-увалистая расчленённая равнина), а именно к двум геоморфологическим районам: Буготакскому (наклонная повышенная холмистая равнина) и Черепановскому (повышенная наклонная равнина с эрозионными формами рельефа) (Природное..., 2010), а также соответствующие им по типу почв пашни (18 ключевых участков).

Характерной чертой территории является значительная вертикальная и горизонтальная расчленённость, что приводит к развитию эрозионных процессов. Величина горизонтального расчленения может составлять до 1–1,2 км/км². Эрозионные процессы протекают интенсивно, имея по большей части денудационный характер. Доля почв, подвергающихся смыву, составляет 20–30 % (Миллер и др., 2019).

Методы исследования

Для достижения поставленной цели был применён метод геоинформационного картографирования. Использовались мультиспектральные космические снимки Landsat-8 OLI, Sentinel-2A, работа с которыми производилась в программном комплексе QGIS 2.18.12. К ним применялись различные способы анализа и обработки спутниковых данных: визуальное дешифрирование, синтез различных спектральных каналов, а также расчёт индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс).

Данные изыскания проводились в сочетании с другими (полевыми) методами, выбор которых обусловлен необходимостью комплексного подхода к изучению залежей, так как определить точное время перехода земель в залежное состояние сложно, а зачастую и невозможно. Для установления возраста залежей использовалась методика, разработанная в Институте почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (Степанов и др., 2017), проводился анализ почвенных описаний хозяйств, картографического материала, данных кадастра. Отобраны образцы почв и проведены геоботанические описания растительности. Далее проводилось сравнение данных, полученных для ключевых участков, с целью выявления наиболее значимых дешифровочных признаков. Произведён расчёт индекса NDVI для всех объектов исследования за весь вегетационный период, все полученные данные были проанализированы.

Результаты и их обсуждение

Космические снимки Landsat часто используются для выявления и оценки залежных земель (Белоусова, 2018; Богданов и др., 2018; Горохова и др., 2017; Prishchepov et al., 2012). В то же время для исследуемых в работе ключевых участков, имеющих небольшую площадь, пространственного разрешения этих данных (30 м) оказалось недостаточно. В последнее время при исследовании сельскохозяйственных земель широкое применение нашли свободно распространяемые данные спутников Sentinel-2 с пространственным разрешением до 10 м (Ghosh et al., 2017; Kanjir et al., 2018). Данные такого разрешения оказались в большей степени пригодными для исследования залежных земель рассматриваемых районов Новосибирской обл.

Одним из диагностических признаков при дифференциации залежей по возрасту является растительный покров; кроме того, именно растительность даёт наибольший спектральный отклик на космических снимках. В зависимости от растительного покрова, изученного в полевых условиях (Соловьев, 2018), по возрасту залежные земли можно разделить на три категории. Первая категория — молодые залежи возрастом 1–5 лет, претерпевающие две стадии зарастания: пионерную (рудеральную) возрастом 1–2 года и длиннокорневищную (пырейную) — 3–5 лет. Вторая — средневозрастные залежи возрастом 6–15 лет, стадия зарастания — луговая (разнотравно-костровая). И третья категория — старые залежи возрастом более 15 лет, стадия дерновинных злаков (разнотравно-ковыльная) или древесно-кустарниковая.

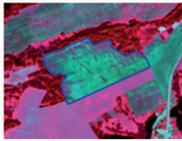
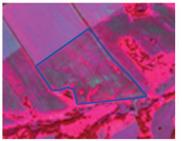
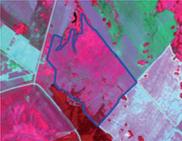
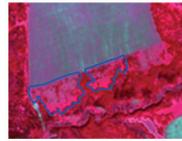
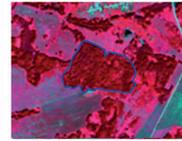
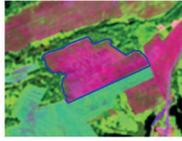
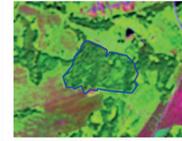
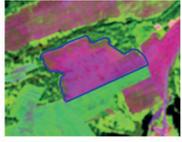
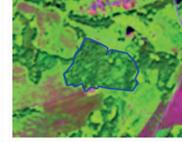
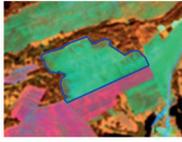
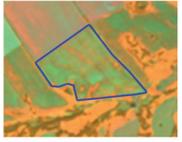
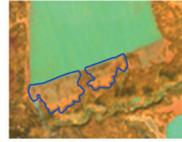
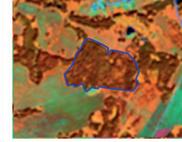
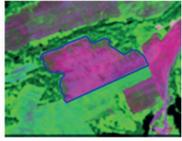
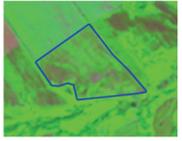
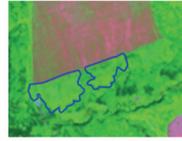
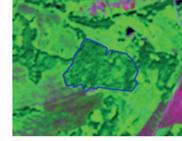
Комбинация спектральных каналов	Пашня	Молодая залежь	Средняя залежь	Старые залежи	Целина
Color Infrared (Vegetation) B08, B04, B03					
Agriculture B11, B8A, B02					
Vegetation Analysis B11, B8A, B04					
Healthy Vegetation B8A, B11, B02					
Shortwave Infrared B12, B8A, B04					

Рис. 1. Комбинация различных спектральных каналов (снимки Sentinel-2, 22–27 июня 2019 г.) на примере разновозрастных залежей, пашни и целины

Визуальное изучение космических снимков показало, что молодые залежи почти не отличаются от полей, вовлечённых в сельскохозяйственный оборот. Старые залежи (20–30 лет), в свою очередь, трудно отделить от целинных (никогда не распаханых) участков. В некоторых случаях при появлении подроста древесно-кустарниковой растительности средне-

возрастные и переходные залежи становятся наиболее распознаваемыми объектами на снимке, благодаря тому что это создаёт характерный спектральный отклик. Для выявления характерных особенностей залежей разного возраста были применены различные комбинации каналов (рис. 1, см. с. 131).

В число рассматриваемых комбинаций вошли следующие: Color Infrared (Vegetation) — ложная цветопередача «с красной растительностью» (комбинации каналов для Sentinel-2: B08, B04, B03), достаточно популярна и часто используется при изучении состояния растительного покрова, изучения агрокультур и почвенной мозаики; Agriculture — сельское хозяйство (B11, B8A, B02), подходит для анализа состояния сельскохозяйственных культур; Vegetation Analysis — анализ растительности (B11, B8A, B04), очень удобна для изучения растительного покрова, также даёт возможность анализировать сельскохозяйственные угодья; Healthy Vegetation — здоровая растительность (B8A, B11, B02), добавление среднего инфракрасного канала в этой комбинации позволяет добиться хорошей различимости растительности; Shortwave Infrared — коротковолновый инфракрасный (B12, B8A, B04), подходит именно для изучения состояния растительности, типа почвы, нарушений почв, обнаружения изменений (Жилнев, 2009; <https://eos.com/make-an-analyses>).

Применение данных комбинаций к объектам исследования первоначально рассматривалось как перспективное направление: визуально почти все комбинации дали совершенно разные изображения. Но дальнейшее детальное их изучение и сравнение этих комбинаций друг с другом для выявления возможных различий, по которым можно было бы определить возраст залежей, показало, что все они схожи и не дают принципиально новой информации. Таким образом, установление возраста залежных земель с помощью комбинаций каналов представляется затруднительным.

Следующим подходом к решению поставленной задачи стало использование индекса NDVI. Данный индекс позволяет сгенерировать изображение, которое отражает относительное распределение фотосинтетически активной биомассы. Такой метод обработки космических снимков часто используется при мониторинге и прогнозировании сельскохозяйственного производства (Черепанов, Дружинина, 2009). В качестве примера использования вегетационного индекса NDVI приведены результаты обработки снимков (Sentinel-2, 22–27 июня 2019 г.) залежей разного возраста (рис. 2). Данная иллюстрация наглядно демонстрирует отличие разновозрастных залежей друг от друга, а также от целины и пашни.

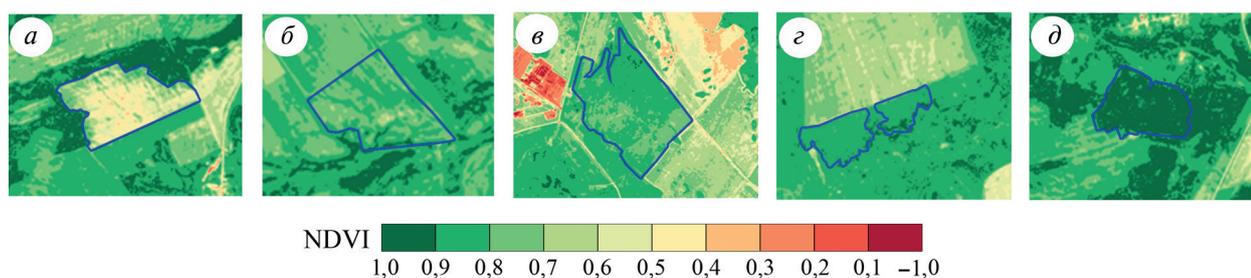


Рис. 2. Индекс NDVI на примере разновозрастных залежей в сравнении с пашней и целиной: а — пашня; б — молодая залежь; в — средняя залежь; г — старые залежи; д — целина

В ходе анализа полученных значений индекса NDVI в течение всего вегетационного периода по залежам всех возрастов (рис. 3) было выявлено, что на пике вегетационной активности растительного покрова (июнь, июль) даже по усреднённым значениям индекса NDVI залежи достаточно хорошо различаются по возрастам. Наивысшие значения имеет целина (0,85), наименьшие — пашня (0,58).

При этом диапазон значений индекса NDVI различен не только для целины и пашни, но и для залежей разного возраста. Ранее отмечалось, что старые залежи и целина визуально не различимы, так как растительность старых залежей достаточно приближена к целинной.

Однако полученные значения индекса NDVI, представленные на *рис. 3*, показывают, что в течение большей части вегетационного периода целинные участки и старые залежи имеют разные значения и лишь к концу вегетационного периода (август – сентябрь) их значения становятся очень схожими.

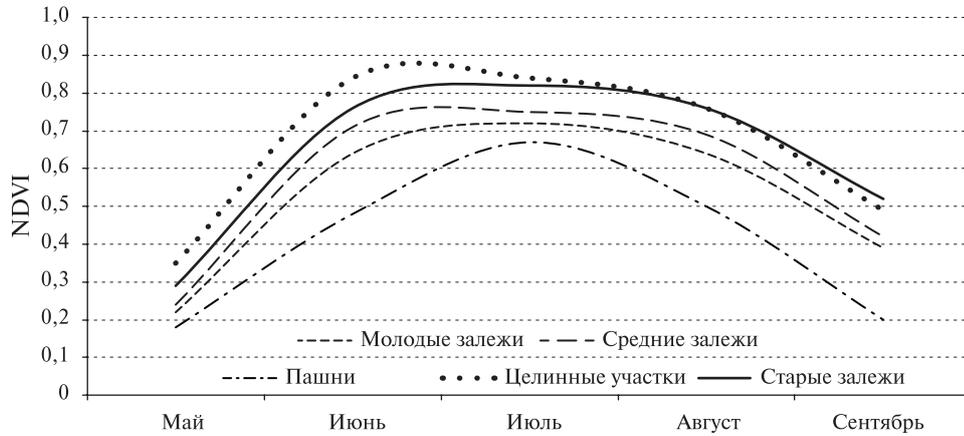


Рис. 3. Усреднённые значения индекса NDVI по месяцам за весь вегетационный период

По результатам проведённых исследований и статистической обработки полученных данных предлагается шкала для определения возраста залежей по индексу NDVI (*рис. 4*). Первоначально шкала была ранжирована по данным индекса NDVI, полученным за июнь, так как согласно графику именно в этом месяце наблюдается наибольший разброс значений по выделяемым категориям. Но проверка показала, что данные за один месяц достаточно часто выбиваются из предложенных рамок, тогда как усреднённые данные за весь летний сезон, а именно с июня по август, сглаживают эти расхождения и повышают вероятность правильного определения категории возраста.

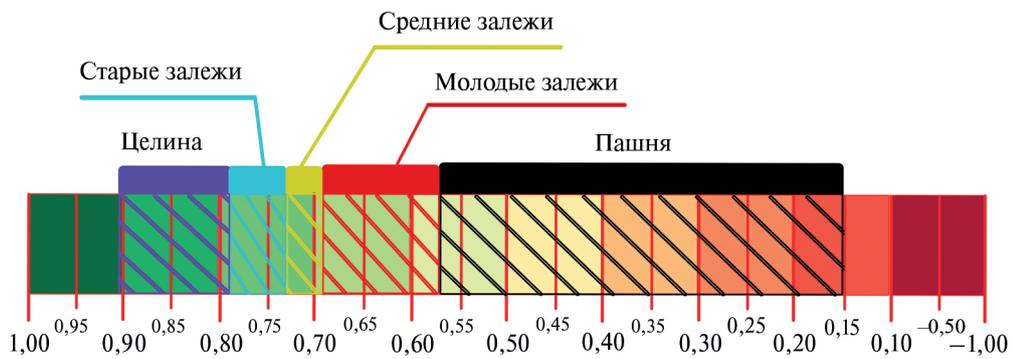


Рис. 4. Шкала для определения возраста залежи по усреднённым значениям индекса NDVI за период с июня по август

Эта шкала может быть использована на первичном этапе работы с данными ДЗЗ и картографическим материалом. Разумеется, более точно определить возраст залежи можно только по результатам полевых исследований. При работе с данной шкалой необходимо учитывать возможность отклонений, обусловленных антропогенной нагрузкой (сенокосение, выпас скота), интенсивными эрозионными процессами, пирогенным воздействием. Вследствие подобных явлений изменяется видовой состав растительности и общее проективное покрытие, что влияет на отклик по индексу NDVI и приводит к неверному определению возраста залежи.

Выводы

Диагностирование залежей и их возраста является важной комплексной задачей, которая требует применения как ГИС-технологий (ГИС — геоинформационные системы), так и традиционных полевых и лабораторных методов. Настоящее исследование показало, что разрешение снимков Landsat-8 OLI для работы с небольшими площадями не является достаточным и следует использовать снимки с разрешением не ниже 10 м на пиксель, которые предоставляет, например, Sentinel-2. Использование различных комбинаций каналов снимков также не является достаточно информативным для выявления залежных земель и определения их возраста. Наиболее достоверную информацию удалось получить, используя значения индекса NDVI, по которым разновозрастные залежи, пашни и целинные участки имеют отличия друг от друга, при этом следует учитывать, что на территориях с другими экологическими особенностями данный метод может не быть столь информативным.

Кроме того, существуют дополнительные признаки при определении залежей и их возраста по космическим снимкам. Для целины это могут быть значения индекса NDVI за май и за сентябрь — начало октября — данный показатель у целинных участков выше, чем у залежей любых возрастов. Для некоторых залежей среднего возраста одним из отличительных признаков является наличие подроста древесно-кустарникового яруса, который хорошо распознается на спутниковых снимках. Для выделения молодых залежей единственно возможный вариант — это анализ разновременных снимков, существующая в общем доступе база космических снимков позволяет это сделать.

На основании полученных данных разработана шкала, которая предлагается в качестве инструмента для предполетных исследований при выявлении и выборе ключевых участков. Шкала может быть применена к участкам залежных земель лесостепной зоны Западной Сибири для контроля целевого использования земель при кадастровом учёте.

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук.

Литература

1. Белоусова А. П. Анализ использования пахотных земель по спутниковым снимкам Landsat на примере Кунгурской лесостепи // Географический вестн. 2018. № 4(47). С. 133–143.
2. Богданов А. П., Карпов А. А., Демина Н. А., Алешко Р. А. Совершенствование мониторинга лесов путем использования облачных технологий как элемента устойчивого лесопользования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 89–100
3. Горохова И. Н., Панкова Е. И., Шишконова Е. А. Опыт использования космических снимков для составления карты землепользования орошаемых и залежных земель Светлоярской оросительной системы // Бюл. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. 2017. Вып. 89. С. 68–89.
4. Жилнев М. Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке // Геоматика. 2009. № 3. С. 56–64.
5. Кривоконова Е. Ю., Гончарова И. Ю. Мониторинг земель с применением ГИС-технологий // Науч. журн. Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. № 4. С. 1–4.
6. Миллер Г. Ф., Филимонова Д. А., Безбородова А. Н., Соловьев С. В. Почвенно-экологическая оценка эрозионно-опасных почв под молодыми и средневозрастными залежами юго-востока Западной Сибири // Международ. журн. приклад. и фундам. исслед. 2019. № 11. С. 26–29.
7. Природное районирование и современное состояние почв Новосибирской области: атлас / под ред. К. С. Байкова. Новосибирск, 2010. 20 с.
8. Сетуридзе Д. Э. Землеустройство и обоснование вовлечения в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных угодий: дис. ... канд. экон. наук. Пермь, 2014. 162 с.
9. Соловьев С. В., Миллер Г. Ф., Безбородова А. Н., Филимонова Д. А. Сукцессия на молодых и средневозрастных залежах лесостепной зоны западной Сибири в пределах Новосибирской области // Международ. журн. приклад. и фундам. исслед. 2018. № 10. С. 116–120.
10. Степанов М. И., Сысо А. И., Чумбаев А. С., Миронычева-Токарева Н. П. Методические рекомендации по определению сроков пребывания земельных участков сельскохозяйственного назначения Новосибирской области в залежном состоянии. Новосибирск: Наука, 2017. 20 с.

11. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3. С. 28–32.
12. Ghosh S. M., Saraf S., Behera M. D., Biradar C. Estimating Agricultural Crop Types and Fallow Lands Using Multi Temporal Sentinel-2A Imageries // Proc. National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences. 2017. V. 87. P. 769–779.
13. Kanjir U., Đurić N., Veljanovski T. Sentinel-2 Based Temporal Detection of Agricultural Land Use Anomalies in Support of Common Agricultural Policy Monitoring // ISPRS Intern. J. Geo-Information. 2018. No. 7. Art. 405. 24 p.
14. Prishchepov A., Radeloff V. C., Dubinin M., Alcantara C. The effect of Landsat ETM/ETM+ image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe // Remote Sensing of Environment. 2012. V. 126. P. 195–209.

Identification of different age fallows on erosion-hazardous territories of the south of Western Siberia using geo-information technologies

E. A. Sajb, A. N. Bezborodova, S. V. Solov'ev, G. F. Miller, D. A. Filimonova

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk 630090, Russia
E-mail: sajb@issa-siberia.ru*

Rational use of the country's soil potential is the basis of its well-being, and therefore the organization of land monitoring is the primary task of state land management. The most important monitoring tool is the use of Earth remote sensing data. Currently, the identification and accounting of lands that are in conditions of fallows are of particular importance. In this paper, various methods for processing satellite images are analyzed in order to identify fallows and determine their age, such as: visual decoding of satellite images aimed at identifying the main and additional interpretation characteristics; synthesis of various spectral channels; calculation of the vegetation index (NDVI). Different age fallows of erosion-hazardous territories of Western Siberia located in the Toguchin and Iskitim districts of the Novosibirsk Region were studied. It was revealed that satellite images Landsat-8 with a resolution of 30 m are not suitable for such research, because the areas of fallow lands are often too small. A comparative analysis of various combinations of channels (Color Infrared, Agriculture, Vegetation Analysis, Healthy Vegetation, Shortwave Infrared) showed that none of them provides sufficient information for identification of fallow lands and their age. Using NDVI made it possible to identify the unique characteristics of different age fallows, virgin lands and tilled fields and to propose a scale for determining the age of fallows. This scale can be used at the initial stage of work with remote sensing data and cartographic material, as well as for monitoring the targeted use of land in cadastral registration.

Keywords: soil, fallow, tilled fields, multispectral satellite images, vegetation index NDVI, geo-information technologies

Accepted: 16.06.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-129-136

References

1. Belousova A. P., Analiz ispol'zovaniya pakhotnykh zemel' po sputnikovym snimkam Landsat na primere Kungurskoi lesostepi (The analysis of the use of agricultural lands based on Landsat images on the example of Kungur forest-steppe), *Geograficheskii vestnik*, 2018, No. 4(47), pp. 133–143.
2. Bogdanov A. P., Karpov A. A., Demina N. A., Aleshko R. A., Sovershenstvovanie monitoringa lesov putem ispol'zovaniya oblachnykh tekhnologii kak elementa ustoichivogo lesoupravleniya (Improving forest monitoring by using cloud technologies as an element of sustainable forest management), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 1, pp. 89–100.

3. Gorokhova I. N., Pankova E. I., Shishkonakova E. A., Opyt ispol'zovaniya kosmicheskikh snimkov dlya sostavleniya karty zemlepol'zovaniya oroshaemykh i zaleznykh zemel' Svetloyarskoi orositel'noi sistemy (The experience of application of space images for creation of the land use map of irrigated lands and laylands of Svetloyarsk irrigation system), *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*, 2017, Vol. 89, pp. 68–89.
4. Gilani M. Yu., Obzor primeneniya mul'tispektral'nykh dannykh DZZ i ikh kombinatsii pri tsifrovoi obrabotke (Review of the use of multispectral remote sensing data and their combinations in digital processing), *Geomatika*, 2009, No. 3, pp. 56–64.
5. Krivokoneva E. Yu., Goncharova I. Yu., Monitoring zemel' s primeneniem GIS-tekhnologii (Land Monitoring with application of GIS-technologies), *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*, 2011, No. 4, pp. 1–4.
6. Miller G. F., Filimonova D. A., Bezborodova A. N., Solov'ev S. V., Pochvenno-ekologicheskaya otsenka erozionno-opasnykh pochv pod molodymi i srednevoznostnyimi zalezhami yugo-vostoka Zapadnoi Sibiri (Soil and environmental assessment of erosion-hazardous soils under young and middle-aged fallows of the South-East of Western Siberia), *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2019, No. 11, pp. 26–29.
7. Baykov K. S., *Prirodnoe raionirovanie i sovremennoe sostoyanie pochv Novosibirskoi oblasti, Atlas* (Natural zoning and the current state of the soils of the Novosibirsk region, Atlas), Novosibirsk, 2010, 20 p.
8. Seturidze D. E., *Zemleustroystvo i obosnovanie vovlecheniya v oborot neispol'zuemykh sel'skokhozyaystvennykh ugodiy: Diss. kand. ekon. nauk* (Land Management and justification for involving unused agricultural land in agriculture, Cand. econ. sci. thesis), Perm, 2014, 162 p.
9. Solov'ev S. V., Miller G. F., Bezborodova A. N., Filimonova D. A., Suktsessiya na molodykh i srednevoznostnykh zalezkhakh lesostepnoi zony zapadnoi Sibiri v predelakh Novosibirskoi oblasti (Succession on young and middle-aged fallows of the forest-steppe zone of Western Siberia within the Novosibirsk region), *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2018, No. 10, pp. 116–120.
10. Stepanov M. I., Syso A. I., Chumbaev A. S., Mironycheva-Tokareva N. P., *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu srokov prebyvaniya zemel'nykh uchastkov sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Novosibirskoi oblasti v zalezhnom sostoyanii* (Methodological recommendations for determining the terms of stay of agricultural land in the Novosibirsk region in the fallow state), Novosibirsk: Nauka, 2017, 20 p.
11. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G., Spektral'nye svoystva rastitel'nosti i vegetatsionnye indeksy (Spectral properties of vegetation and vegetation indexes), *Geomatika*, 2009, No. 3, pp. 28–32.
12. Ghosh S. M., Saraf S., Behera M. D., Biradar C., Estimating Agricultural Crop Types and Fallow Lands Using Multi Temporal Sentinel-2A Imagery, *Proc. National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, 2017, Vol. 87, pp. 769–779.
13. Kanjir U., Đurić N., Veljanovski T., Sentinel-2 Based Temporal Detection of Agricultural Land Use Anomalies in Support of Common Agricultural Policy Monitoring, *ISPRS Intern. J. Geo-Information*, 2018, Vol. 7, Art. 405. 24 p.
14. Prishchepov A., Radeloff V. C., Dubinin M., Alcantara C., The effect of Landsat ETM/ETM+ image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe, *Remote Sensing of Environment*, 2012, Vol. 126, pp. 195–209.