

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ ТЕПЛОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

М. Ф. Курьянович, Ю. С. Давидович, Ф. Е. Шалькевич

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время материалы дистанционного зондирования нашли широкое применение в различных областях наук о Земле. Однако, если методические и технологические вопросы использования аэрокосмических снимков видимого, ближнего и среднего инфракрасного диапазона достаточно глубоко проработаны, то для инфракрасного теплового изучены недостаточно. На инфракрасных тепловых снимках отображаются тепловые свойства объектов земной поверхности, которые не находят отображения на снимках других диапазонов спектра и не воспринимаются зрительной системой человека. Вопросам получения температурных характеристик объектов из тепловых снимков посвящены ряд публикаций [1, 2]. Тепловое излучение является индикатором различных свойств объектов как на глобальном, так и региональном уровне.

Наиболее широко тепловые космические снимки низкого и очень низкого пространственного разрешения используются на глобальном уровне (вся планета, континенты, океаны) для изучения пространственно-временного распределения температур земной [3] и океанической [4–6] поверхности, состояния атмосферы [7, 8], исследования вулканической активности [9]. Лишь отдельные работы посвящены применению тепловых снимков для изучения структуры геосистем разного иерархического уровня [10, 11]. Публикации по использованию тепловых космических снимков для изучения почв фактически отсутствуют и требуют изучения.

Цель данной статьи заключается в изучении возможности использования тепловых снимков для дешифрирования почвенного покрова и растительности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом выполненных исследований послужил почвенный покров территорий Белорусского Полесья, сформированный на различных почвообразующих породах.

Предмет исследования – снимки инфракрасного теплового диапазона и возможности их использования при изучении почв.

Исследования выполнены с использованием инфракрасных тепловых космических снимков с пространственным разрешением 100 м, полученные съемочной системой Landsat 8 (в поставке мультиспектрального снимка с ресамплингом до 30 м). Для верификации результатов дешифрирования почв и растительности

на тепловых снимках использовались почвенные карты, а также инфракрасные, панхроматические и синтезированные космические снимки систем Landsat 8 (15 и 30 м), PlanetScope (4 м) и БКА (2,1 м) [12, 13].

При дешифрировании космических снимков применялись визуальный и автоматизированный методы, а также метод ключевых участков.

Компьютерная обработка космических снимков проводилась с использованием программных продуктов ENVI 5.6 и ArcGIS 10.8 на технической базе НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко», БГУ. Используемые материалы дистанционных съемок прошли радиометрическую и атмосферную коррекцию.

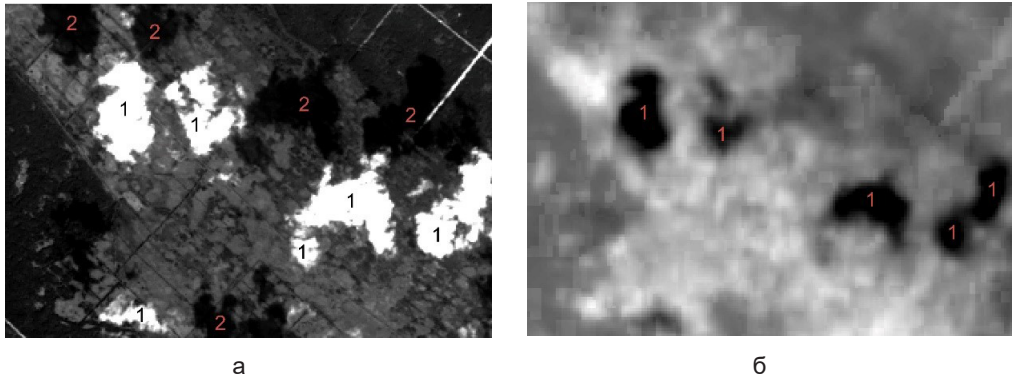
При обработке тепловых снимков был применен коэффициент масштабирования для получения значений термодинамической температуры в Кельвинах. Далее был произведен перевод значений термодинамической температуры из Кельвинов в Цельсии. Данные преобразования были произведены с помощью инструмента Band Math программного продукта ENVI 5.6.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Космические снимки, полученные в инфракрасном спектральном диапазоне, содержат информацию о собственном тепловом излучении объектов земной поверхности. Природные объекты обладают различными тепловыми и излучательными свойствами и по-разному реагируют на поступление солнечного излучения, что находит отображение в яркости их изображения на тепловых снимках. По тепловому режиму можно выделить объекты земной поверхности с температурой, обусловленной внутренним теплом (вулканы, термальные воды и др.), и нагреваемые Солнцем (растительность, почвы и др.). Наиболее динамичный температурный режим у объектов второй группы, который зависит от их физических и химических свойств, а также интенсивности солнечного излучения. Поэтому максимальные температурные контрасты природных объектов наблюдаются около полудня, они меньше вечером и значительно сглаживаются ночью, достигая минимума в предутренние часы.

При тематическом дешифрировании качество и количество полезной информации, извлекаемой из материалов дистанционной съемки (МДС), в значительной мере зависит от их правильного выбора. Подбор сезона съемки осуществляется в соответствии с разработанными оптимальными сроками дистанционных съемок для Республики Беларусь [14]. Использование снимков с пространственным разрешением 100 м обусловлено техническими возможностями съемочной системы Landsat 8. Выбор спектрального диапазона съемки 10–12 мкм объясняется максимумом теплового излучения в данном окне прозрачности. Наличие облачности может привести к ложному опознаванию объектов, поэтому съемку необходимо проводить при безоблачной погоде. Влияние облачности на дешифрируемость космических снимков наглядно демонстрирует рис. 1. На панхроматическом снимке (рис. 1, а) дешифрируемые объекты скрывают облака и их тени, на тепловом (рис. 1, б) – только облака.

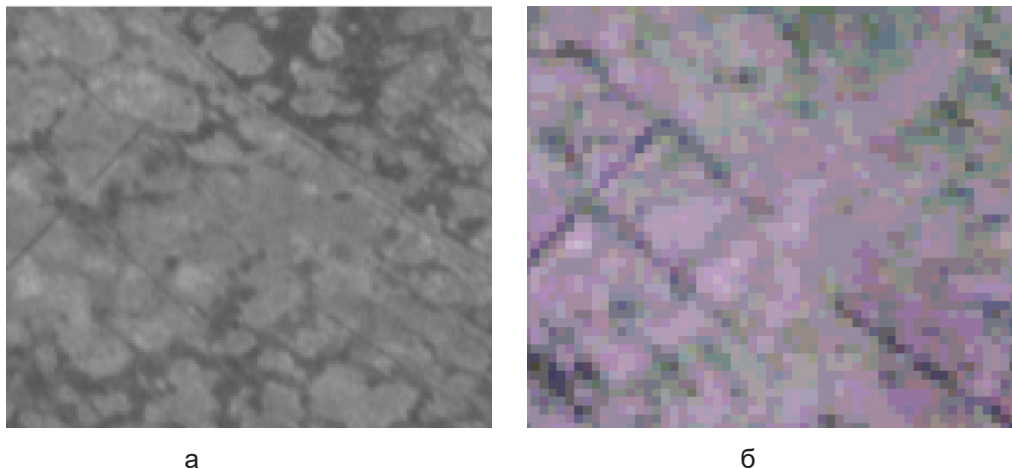
Для изучения особенностей дешифрирования почв на тепловых космических снимках было заложено три ключевых участка на различных почвообразующих породах.



а
 б
 Рис.1. Изображение облаков (1) и их теней (2) на панхроматическом (а) и тепловом (б) снимках

Исследования теплового поля мелиорированных торфяно-болотных почв проводились в пределах глубокой долинообразной депрессии [15], на территории Брагинского района Гомельской области. Территория преимущественно распахана, рельеф в целом выровненный, по всей территории распространены микроповышения, различные по площади и конфигурации, формирующие пятнистый рисунок изображения. Наглядное представление о пестроте почвенного покрова и его генерализации дают сканерные панхроматические космические снимки с пространственным разрешением 2,1 м, полученный с БКА (рис. 2, а) и космический снимок с пространственным разрешением 30 метров (рис. 2, б).

Космические снимки с различным пространственным разрешением (рис. 2) наглядно демонстрируют степень генерализации почвенного покрова. Если на космическом снимке с пространственным разрешением 2,1 метра выразительно изображаются микроповышения с минеральными почвами на общем фоне торфяных почв, то на снимке с разрешением 30 метров изображение генерализованно, значительное количество контуров объединены в отдельные контуры.



а
 б
 Рис.2. Изображение мелиорированной территории на космическом снимке с пространственным разрешением 2,1 м (а) и 30 м (б)

Для изучения взаимосвязи пространственного распределения теплового поля исследуемой территории и свойствами почв был заложен ключевой участок «Мелиорация» площадью 135,4 га, а также был заложен ключевой участок, на территорию которого была составлена почвенная карта масштаба 1 : 10 000 на основе аэрофотоснимка (рис. 3, 4).

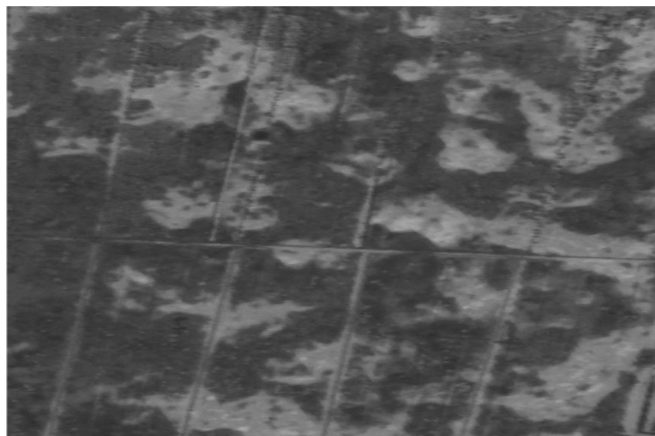


Рис.3. Фрагмент панхроматического снимка ключевого участка «Мелиорация»

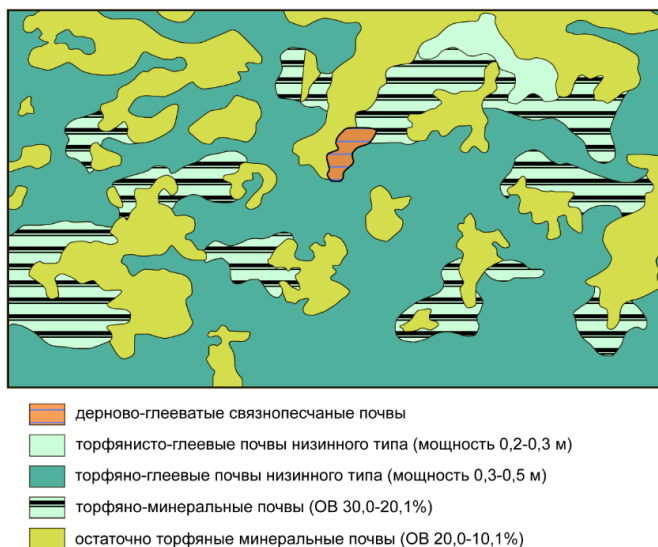


Рис.4. Фрагмент почвенной карты ключевого участка «Мелиорация» (масштаб 1 : 10 000)

Анализ изображений космических снимков, полученных в видимом (рис. 2) и тепловом (рис. 5) диапазоне электромагнитного спектра, а также почвенных карт (рис. 4) показало, что существует взаимосвязь между тоном изображения почв на панхроматических снимках и формированием теплового поля на тепловых снимках. Однако, невысокие изобразительные свойства теплового снимка данного пространственного разрешения потребовало проведения преобразования его

изображения с использованием ресамплинга, кластеризации и квантования. Кластеризация и квантование изображения теплового снимка было выполнено для повышения дешифрируемости изучаемых объектов. Все пиксели по их яркости изображения опробованным путем на основе анализа панхроматического космического снимка очень высокого разрешения (2,1 м) и почвенной карты в автоматизированном режиме были дифференцированы в 7 кластеров. Путем квантования каждая ступень кластера была окрашена в определенный цвет (рис. 6).

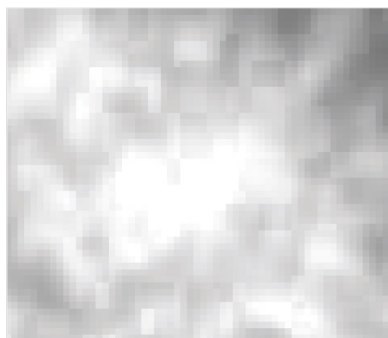


Рис.5. Фрагмент теплового снимка ключевого участка «Мелиорация»

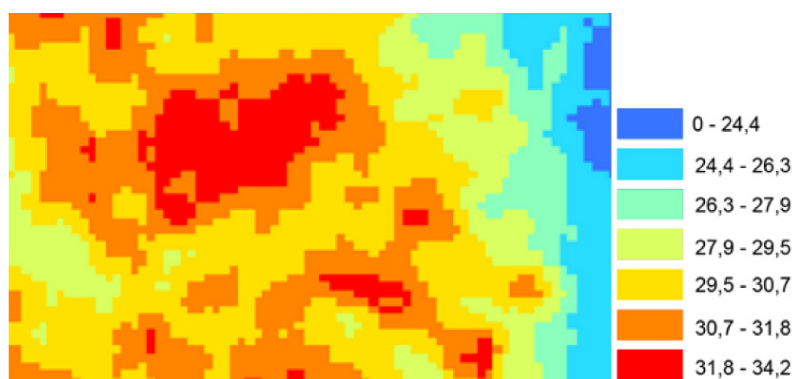


Рис.6. Квантованное изображение теплового снимка ключевого участка «Мелиорация» (в °С)

На квантованном изображении (рис. 6) красным цветом четко выделяются дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные связнопесчаные почвы, занимающие повышенные участки минеральных островов, температура которых колеблется в пределах от 31,7 °С до 34,1 °С. На плоских выровненных повышениях распространены дерново-глееватые связнопесчаные и минеральные остаточноторфяные почвы с содержанием органического вещества (ОВ) 10–5,1 %, изображенные красно-коричневым цветом (30,6–31,7 °С). Фоновой почвой для дерново-глееватых и минеральных остаточноторфяных почв являются остаточноторфяные с содержанием ОВ 20,0–10,1 %, изображенные желтым цветом (29,5–30,7 °С). Дегроторфоземы торфяно-минеральные (ОВ 30,0–20,1 %) и торфянистоглеевые почвы изображены салатovým цветом. Общая закономерность

формирования теплового поля исследуемой территории заключается в снижении интенсивности теплового излучения по мере увеличения степени увлажненности почв и мощности торфяного горизонта, от 29,5–30,7 °С у временно избыточно увлажненных до 24,4–26,2 °С у торфяно-глеевых (0,5–1,0 м).

Анализ изображений тепловых космических снимков, полученных 17.09.2020 г., ключевых участков распаханых автоморфных почв различного гранулометрического состава показал, что интенсивность теплового излучения связнопесчаной почвы на два градуса ниже, чем у связносупесчаной. Разносезонные тепловые космические снимки показывают, что интенсивность теплового излучения распаханной автоморфной связносупесчаной почвы в апреле месяце (03.04.2020 г.) на одиннадцать градусов ниже, чем в сентябре (17.09.2020 г.). Хотя сезонная динамика теплового поля изменчива, так как зависит от интенсивности солнечной радиации.

Ключевой участок «Новоселки» площадью 10 541,8 га заложен в Петриковском районе Гомельской области и характеризует почвы, занятые преимущественно лесной растительностью. Рельеф пологоволнистый, встречаются плоские грядобразные повышения, замкнутые и ложбинообразные понижения. Почвообразующей породой являются флювиогляциальные пески. Из лесной растительности преобладают сосна и береза, далее соответственно черная ольха и осина, из кустарников ива.

При дешифрировании почв лесных и луговых земель с использованием снимков видимого диапазона растительность служит их индикационным признаком. На инфракрасном космическом снимке (рис. 7) светло-серым и серым тоном изображается лиственная растительность, контрастно на ее фоне серовато-темным тоном дешифрируется сосновая растительность. На синтезированном космическом снимке (рис. 8) лиственная растительность изображается красным цветом, сосновая – темно-коричневым цветом. На крупномасштабных аэрокосмических снимках на фоне хвойного леса хорошо заметна примесь отдельных крон березы, которая на общем сером фоне изображается в виде светлого крапа. В условиях Белорусского Полесья при относительно однородных песчаных породах, лиственные породы являются хорошим индикатором степени увлажненности почв. С нарастанием степени увлажнения увеличивается доля лиственных пород [16].

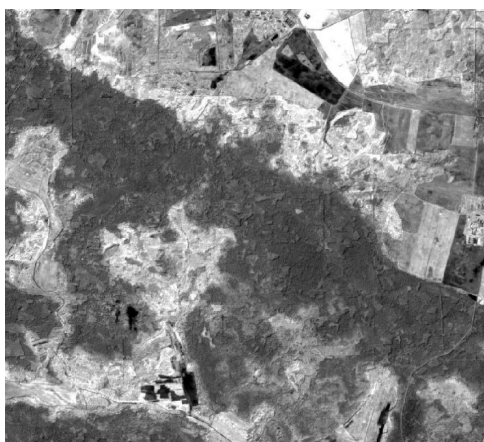


Рис. 7. Инфракрасный снимок ключевого участка «Новоселки»

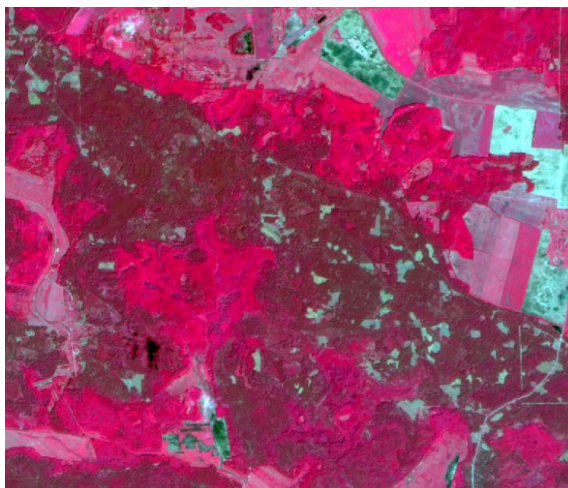
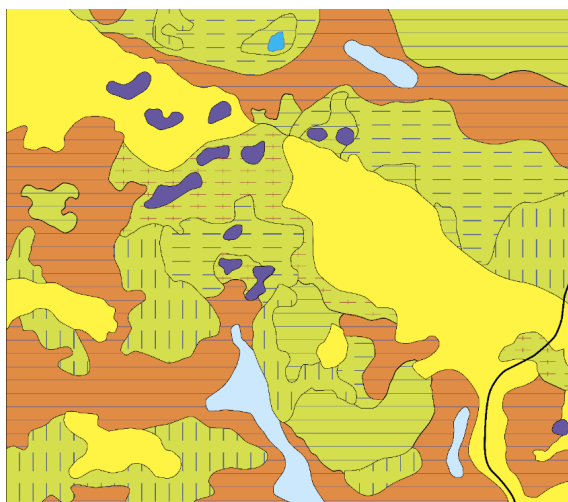


Рис.8. Синтезированный снимок ключевого участка «Новоселки»

На тепловых снимках индикатором растительности является интенсивность её теплового излучения. Совместное использование теплового снимка с инфракрасным и синтезированным, а также почвенной картой (рис. 9), позволило более детально проанализировать пространственное распределение теплового поля исследуемой территории.



- дерново-подзолистые связнопесчаные почвы, развивающиеся на мощных рыхлых песках
- дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,4-0,5 м рыхлым песком
- дерново-подзолистые глееватые связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,4-0,5 м рыхлым песком
- дерново-подзолистые глееватые с иллювиально-гумусным горизонтом связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,5-0,6 м рыхлым песком
- дерново-подзолистые глеевые связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,4-0,5 м рыхлым песком
- дерново-глееватые связнопесчаные почвы, сменяемые с глубины 0,4-0,5 м рыхлым песком
- торфяно-глеевые (0,3-0,5 м) почвы переходного типа, подстилаемые песком
- торфянисто-глеевые почвы низинного типа, развивающиеся на древесно-осоковых торфах, подстилаемые песком

Рис.9. Почвенная карта ключевого участка «Новоселки» (масштаб 1 : 100 000)

Тепловое поле лесной и луговой растительности характеризуется выраженной пространственной изменчивостью, обусловленной её видовым составом и проективным покрытием. На тепловом снимке (рис. 10) растительность отображена различной плотностью тона изображения, как сочетание участков с различной интенсивностью теплового излучения. На квантованном снимке (рис. 11) выразительно синим цветом изображаются березовые насаждения, произрастающие на дерново-подзолисто глееватых и глеевых почвах, а также черноольховые – на дерново-глееватых, с самой низкой интенсивностью теплового излучения (9,5–16,5 °С). Это объясняется тем, что в период активной вегетации лиственные древесные породы как максимально накапливают, так и испаряют влагу, тем самым понижая свою температуру. Более высокая интенсивность теплового излучения (16,5–20,5 °С) у сосняков-долгомошников на дерново-подзолисто с иллювиально-гумусовым горизонтом и глеевых почвах, изображающиеся светло-синим цветом (рис. 11). Следует отметить, что такая же интенсивность теплового поля и у дерново-глееватых связнопесчаных почвах занятых луговой растительностью.

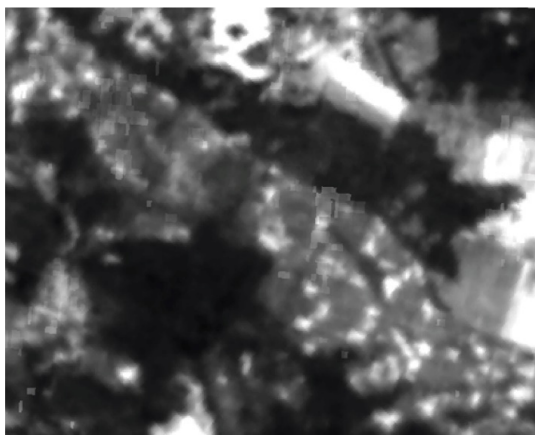


Рис. 10. Тепловой снимок ключевого участка «Новоселки»

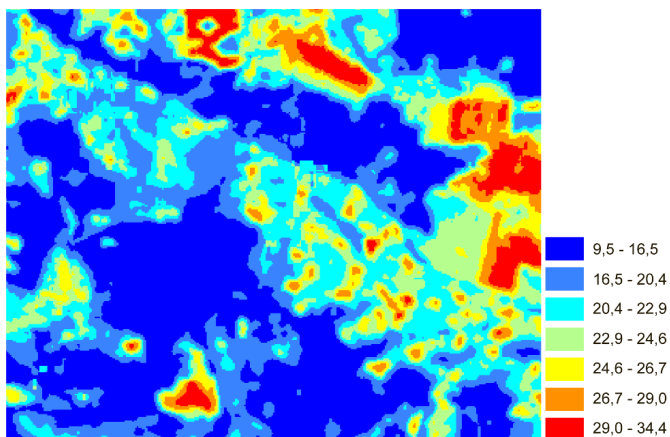


Рис. 11. Квантованное изображение теплового снимка ключевого участка «Новоселки» (в °С)

С юго-востока на северо-запад по территории ключевого участка простирается плоское грядобразное повышение, покрытое сосняками-лишайниковыми, реже мшистыми на дерново-подзолистых связнопесчаных оглеенных внизу почвах, контур которого отчетливо дешифрируется среди теплового поля участка с температурой от 20,5 до 22,9 °С (рис. 11). Правильность идентификации данного типа леса подтверждает изображение инфракрасного и синтезированного снимков (рис. 7, 8). Характерной особенностью изображения данных почв является пятнистый рисунок изображения, который формируют вырубки лесной растительности. Интенсивность теплового излучения вырубок зависит от степени покрытия травянистым покровом. На квантованном снимке (рис. 11) контрастно выделяются участки не покрытые растительностью с температурой в пределах 26,7–34,3 °С и покрытых – 22,9–26,7 °С. Отдельными контурами встречаются сосняки вересковые, произрастающие на дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных связнопесчаных почвах с теми же показателями интенсивности теплового излучения, что и у оглеенных внизу.

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследований возможности использования тепловых космических снимков съемочной системы Landsat 8 с пространственным разрешением 100 м для изучения почв территорий, сформированных различными почвообразующими породами показали, что данные материалы после предварительной обработки (ресамплинг, кластеризация, квантование), направленной на повышение изобразительных свойств снимков, могут использоваться для среднemasштабного дешифрирования почв и растительности. Для крупномасштабного дешифрирования необходимы снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

2. В результате анализа изобразительных и информационных свойств разносезонных тепловых космических снимков установлено, что для изучения почв пахотных земель наиболее информационными являются снимки ранневесенних сроков съемки, лесных земель – весенне-летних во время формирования полного листа у березы или дуба, полученные в спектральном диапазоне 10–12 мкм, при безоблачной погоде с максимально высоким пространственным разрешением.

3. Полученные результаты показывают, что интенсивность теплового излучения почв пахотных земель снижается с увеличением степени увлажненности почв и содержанием в них ОВ. Формирование теплового поля лесных земель зависит от разнообразия видового состава лесной растительности и его проективного покрытия. Наиболее высокая интенсивность теплового излучения у сосняков-лишайников и мшистых на дерново-подзолистых оглеенных внизу почвах (20,5–22,9 °С), наиболее низкие у черноольховых на дерново-глеевых почвах (9,5–16,5 °С). Эффективность дешифрирования тепловых космических снимков возрастает с совместным использованием панхроматических снимков при дешифрировании почв пахотных земель и инфракрасных или синтезированных – лесных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sobrino, J. A. Land surface temperature retrieval from Landsat-5 TM / J. A. Sobrino, J. C. Jimenez-Munoz, L. Paolini // Remote Sensing of Environment. –*

2004. – Vol. 90. – P. 434–440.

2. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives / Z.-L. Li [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2013. – Vol. 131. – P. 14–37.

3. Соловьев, В. И. Мониторинг температуры поверхности суши по данным геостационарных метеорологических спутников нового поколения / В. И. Соловьев, С. А. Успенский // *Исследование Земли из космоса*. – 2009. – № 3. – С. – 79–89.

4. Никитин, А. А. Основные черты пространственного распределения поверхностных термических фронтов в водах Японского моря и их изменчивость / А. А. Никитин // *Исследование Земли из космоса*. – 2006. – № 5. – С. 49–62.

5. Покровский, О. М. Объективный анализ полей температуры для поверхностей морей России по данным MODIS/Terra / О. М. Покровский // *Исследование Земли из космоса*. – 2005. – № 3. – С. 53–65.

6. Картирование температуры поверхности Мирового Океана по данным геостационарных ИСЗ / В. И. Соловьев [и др.] // *Исследование Земли из космоса*. – 2001. – № 3. – С. 10–15.

7. Поляков, А. В. Температурно-влажностное зондирование атмосферы по данным спутникового ИК-зондировщика высокого спектрального разрешения ИКФС-2 / А. В. Поляков, Ю. М. Тимофеев, А. Б. Успенский // *Исследование Земли из космоса*. – 2009. – № 5. – С. 3–10.

8. Детектирование и оценка балла облачности по данным атмосферных ИК-зондировщиков высокого разрешения / А. Н. Рублев [и др.] // *Исследование Земли из космоса*. – 2004. – № 3. – С. 43–51.

9. Козлов, Д. Н. Тепловизионная съемка активных вулканов Курильских островов в 2009–2011 гг. / Д. Н. Козлов, Р. В. Жарков // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2012. – № 1. – Вып. 19. – С. 231–239.

10. Горный, В. И. О возможности картографирования физико-географических зон тепловой космической съемкой / В. И. Горный, С. Г. Крицук // *Доклады Академии Наук. География*. – 2006. – Т. 411. – № 5. – С. 684–686.

11. Southworth, J. An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analyzing land cover in tropical dry forest regions / J. Southworth // *International Journal of Remote Sensing*. – 2004. – Vol. 25, №4. – P. 689–706.

12. USGS Earth Explorer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earth-explorer.usgs.gov/>. – Дата доступа: 04.03.2022.

13. PLANET imagery product specifications. – Planet Labs Inc., 2021. – 100 p.

14. Курьянович, М. Ф. Влияние погодных условий и сезонных факторов на дешифрируемость аэрокосмических снимков / М. Ф. Курьянович, Ф. Е. Шалькевич // *Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века: материалы Международной практической конференции*. – Минск, 2013. – С. 280.

15. Романова, Т. А. Методика составления карт СПП и их востребованность в Беларуси / Т. А. Романова, Ч. А. Романовский // *Материалы Международной научной конференции «Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты (1–3 сентября 2007 г. Санкт-Петербург)»* / под ред. Б. Ф. Апарина (председатель). – Санкт-Петербург, 2007. – С. 671.

16. Шалькевич, Ф. Е. Особенности дешифрирования лесной растительности по материалам многозональной съемки / Ф. Е. Шалькевич, М. Е. Фейгельман // *Вестник Беларус. Дзярж. Ун-та. Сер.2. Хімія. Біялогія. Геаграфія*. – 1991. – № 1. – С. 66–69.

OF USING INFRARED THERMAL SPACE IMAGES TO STUDY THE SOIL COVER

M. F. Kuryanovich, Y. S. Davidovich, F. E. Shalkevich

Summary

The possibilities of using infrared thermal images with a spatial resolution of 100 m obtained by the Landsat 8 survey system for soil interpretation are shown. On the example of key plots of arable and forest lands, the influence on the formation of the thermal field of soils of arable lands of their granulometric composition, degree of moisture content and content of organic matter is demonstrated, for forest lands – types of forest vegetation and its projective cover.

Поступила 04.05.2022

УДК 633.2:631.459:631.445.2

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-31-39](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-31-39)

ПРОДУКТИВНОСТЬ ОДНОЛЕТНИХ И МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ЭРОДИРОВАННОСТИ (результаты длительных полевых опытов)

Н. Н. Цыбулько, А. М. Устинова, А. В. Юхновец, В. Б. Цырибко,
И. И. Касьяненко, С. Д. Воронович

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси 473,3 тыс. га сельскохозяйственных земель подвержено водной эрозии. Эродированные почвы сконцентрированы в основном на пахотных землях – 361,7 тыс. га. Почвы с намытым верхом занимают на пашне 52,4 тыс. га [1]. При проведении крупномасштабных почвенных исследований эродированные почвы выделяются самостоятельными контурами. Это позволяет определить их площадь и учесть при кадастровой оценке земель.

Смыв гумуса и элементов минерального питания, ухудшение водно-физических и биологических свойств эродированных почв приводят к деградации их плодородия и снижению производительной способности. Отмечается, что потеря 1 см гумусового горизонта уменьшает потенциальную урожайность зерновых культур на 0,5–2,0 ц/га [2]. По литературным данным снижение урожайности сельскохозяйственных культур на эродированных почвах по отношению к неэродированным следующее: на слабоэродированных почвах – на 10–30 %; на среднеэродированных – на 30–60; на сильноэродированных почвах – на 60–80 %. Продуктивность в наибольшей мере снижают пропашные культуры, а в меньшей – многолетние травы [3].