

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский федеральный университет
Институт космических и информационных технологий

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края,
Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта:
«Проект организации V Международной научной конференции
"Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли"»*

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Материалы V Международной научной конференции
Красноярск, 11–14 сентября 2018 г.

Научный редактор
Е.А. Ваганов

Красноярск
СФУ
2018

УДК 528.8
ББК 40.6-01
P326

Редакционная коллегия:

Е.А. Ваганов (науч. ред.), доктор биологических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель СФУ; *Г.М. Цибульский* (отв. ред.), доктор технических наук, профессор, директор ИКИТ СФУ, заведующий кафедрой СИИ ИКИТ СФУ; *М.В. Носков*, доктор физико-математических наук, профессор; *В.Б. Кашкин*, доктор технических наук, профессор; *В.И. Харук*, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой Б-ГИС ИКИТ СФУ; *Ю.А. Маглинец*, кандидат технических наук, профессор, руководитель НУЛ «ИПКМ» ИКИТ СФУ

P326 Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы V Междунар. науч. конф., Красноярск, 11–14 сентября 2018 г. / науч. ред. Е. А. Ваганов ; отв. ред. Г. М. Цибульский. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. – 444 с.

ISBN 978-5-7638-3978-4

Представлены современные и перспективные системы регионального дистанционного зондирования, рассмотрены модели и методы обработки данных дистанционного зондирования Земли, приведены результаты мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов и явлений. Обсуждена проблематика построения и развития региональных систем дистанционного зондирования Земли из космоса и показана их роль в решении социально-экономических задач регионов.

Предназначены для специалистов в области дистанционного зондирования Земли, ГИС-технологий, аспирантов, студентов, обучающихся по соответствующим профилям подготовки.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

**УДК 528.8
ББК 40.6-01**

**Электронный вариант издания
см.: <http://catalog.sfu-kras.ru>**

ISBN 978-5-7638-3978-4

© Сибирский федеральный университет, 2018

**М.Р. Шаяхметов¹, В.Е. Приходько²,
В.В. Горбунов³, А.А. Тишкин³**

¹Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина,
Омск, Россия, e-mail: schayakhmetov.marat@yandex.ru

²Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН, Пушкино, Россия, e-mail: kpve00@mail.ru

³Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия,
e-mail: gorbunov@hist.asu.r, tishkin210@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СРЕДНЕВЕКОВОЙ СРОТКИНСКОЙ КУЛЬТУРЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Использование ГИС-технологий, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и тематических карт (ландшафтной почвенной, полезных ископаемых) показало, что памятники средневековой сроткинской культуры Алтайского края располагались на черноземах в пределах Западно-Сибирского подтаежно-лесостепного района. Поселения локализовались на относительно выровненных площадках с небольшими перепадами высот, вблизи крупных рек: Обь, Катунь, Алей – и широких долин при слиянии рек; ряд поселений были в ~30–70 км от месторождений полезных ископаемых (медь, золото, цинк, железо).

Ключевые слова: археология, пространственная локализация поселений и курганов.

Введение. ГИС-технологии и дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) используются при исследовании археологических памятников. Проанализированы возможности дистанционного зондирования Земли из космоса для археологических исследований у нас в стране и за рубежом и дана методика проведения изучения [1–8]. С использованием методов компьютерного дешифрирования аэрокосмоснимков реконструирована схема внутренней застройки средневекового Маяцкого городища (VIII в.), выявлена динамика его развития [9]. Применение этих методов при изучении палеолитических стоянок Горного Алтая показало, что большое значение для их локализации имели наличие пологих площадок, расстояние до ближайшей реки (менее 400 м для 77 % изученных памятников) и точки слияния водотоков (менее 2 км, 88 %), близость к источникам каменного сырья, освещенность территории [10]. Выявлены закономерности приуроченности 1 015 памятников культурного наследия Сургутского Приобья к различной географической обстановке для ряда хроноperiodов: 76 памятников эпохи неолита, 136 – бронзы, 391 – раннего железного века, 300 – Средневековья и 112 – Нового времени [11].

С применением ГИС технологий проведено разграничение ареалов проживания абашевских и синташтинских сообществ, показана их приуроченность к разным экологическим нишам (лесостепной и степной) [12]. С помощью методов ГИС и ДЗЗ выявлены пространственная структура сохранившихся античных агроландшафтов и контуры древних полей земледелия, идентифицировано их расположение около каждого поселения на территории Крыма, особенно информативным оказалось использование разновременных и разносезонных космоснимков [13].

В ряде работ отражены результаты дистанционных исследований для древних поселений [14] и дешифрирования культурного ландшафта – террас Кисловодской долины предгорий Северного Кавказа, где люди жили с древних времен [15].

Целью нашей работы было выявление пространственной локализации памятников культурного наследия сrostкинской культуры Алтайского края.

Методика. Использовали снимки космических аппаратов (КА) США Landsat-7 и Landsat-8 с пространственным разрешением 30 м в пикселе. Они позволяют анализировать объекты в видимом, красном и инфракрасном диапазонах от 0,45 до 0,9 мкм спектра солнечной радиации. Компьютерную обработку космоснимков проводили методом синтезирования с помощью программных комплексов ENVI 5.2, ErdasImagine, Multispec, QGIS. При этом сочетали съемки в диапазоне спектра солнечной радиации от 0,4 до 0,9 мкм и цветовые каналы в системе RGB (RED – GREEN – BLUE). При сочетании диапазона и канала (в данной работе применяли синтез каналов NIR – RED – GREEN) получали цветное синтезированное изображение, помогающее установить объективные различия изучаемых объектов. Анализ мультиспектральных космоснимков в программном комплексе ENVI проводили в несколько этапов. 1. Геопривязка изображения исходного материала методом нахождения опорных точек на исходном географически привязанном и обрабатываемом изображениях. 2. Классификация мультиспектральных снимков для выявления неоднородности и объединения кластеров изучаемых объектов. Этот этап включает в себя алгоритмы объединения одинаковых значений пикселей на изображении. В программном комплексе представлены два основных алгоритма классификации без обучения по спектральным характеристикам объектов: K-Means и ISODATA. В обоих способах требуется выбор количества кластеров, определяемых рядом заданных ограничивающих параметров: минимальное количество пикселей в классе, число итераций и порог сходимости классов.

В классификации без обучения применяются статистические методы, чтобы сгруппировать n -мерные данные в их естественные спектральные классы. K-Means использует кластерный анализ, при этом выбирается число кластеров, которые выделяются на исходных данных снимка КА Landsat-8. Затем алгоритм программы определяет местонахождение центров этих групп и многократно повторяет данную процедуру до тех пор, пока оптимальная и достаточно статистически объективная спектральная делимость (*spectral separability*) не будет достигнута. Среди классификаций без обучения по спектральным признакам часто используют самоорганизующийся способ анализа данных кластеризации IsoData. Данный способ применяют для более точной, многошаговой обработки снимков. Основным параметром при обоих вариантах кластеризации, задаваемом перед вычислениями, является число кластеров n , которое необходимо получить в итоге.

Иногда при определенном распределении значений яркости на снимке такой стабилизации не происходит, поэтому одновременно используют другой ограничивающий параметр – максимальное число итераций. За оптимальное число принимали 5–7 кластеров в пределах исследуемого полигона. После анализа методом кластеризации и установления географического положения объектов культурного наследия, используя спектральный отклик (попиксельный анализ данных), составляли «мозаику» из изображений КА Landsat-7 и Landsat-8. Сопоставляли ее с данными следующих карт: лесорастительного районирования (М1 : 2 100 000), природных зон, почвенной (М1 : 1 000 000) и полезных ископаемых (1 : 2 500 000). Для выявления геоморфологических особенностей расположения поселений и некрополей Сrostкинской культуры по оси X откладывали высоту над уровнем моря, по оси Y – расстояние, которые выставляются автоматически в зависимости от природных условий изучаемой объекта.

Использовали также метод анализа биомассы растений на основе индекса NDVI. Это безразмерный показатель отражательной способности изучаемого объекта, характеризующий активность вегетации растительности. Показатель NDVI рассчитывали по формуле: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, где NIR – инфракрасный диапазон; RED – красный диапазон спектра солнечной радиации. Данный метод позволяет анализировать территорию

и выявить наличие объектов, не относящихся к природным. Индекс NDVI строительных объектов имеет значение 1, природных объектов – от 0,1 до 1,0. После выявления географического положения объектов культурного наследия, используя программное обеспечение ENVI или ErdasImagine, Multispec, QGis, наносили их местонахождение на электронный картографический материал для последующего анализа.

Анализ картографического материала сrostкинской культуры Алтая. Изучено местоположение 130 курганных некрополей и 21 поселение средневековой сrostкинской культуры Алтайского края [16]. На основе 21 мультиспектрального снимка среднего разрешения КА Landsat-8 составлена общая «мозаика» на территорию Алтайского края. Для наиболее корректного сшивания данных использовали принцип триангуляции Делоне. На полученный синтезированный мультиспектральный снимок (синтез каналов *Nir – Red – Green*) наложили все памятники древностей с точной географической привязкой.

Для каждого археологического памятника построили геоморфологические профили с использованием ГИС, характеризующих мезорельеф. Установлено, что поселения располагались на относительно выровненных площадках с небольшими перепадами высот (2–7 м). Ойкумена большинства памятников древностей локализована в Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе лесостепной зоны. Девять курганных некрополей находились в Алтае-Саянском горнотаежном районе Южносибирской горной зоны. Большинство памятников расположено на черноземах, в ареале сосредоточено семь дерново-слабоподзолистых почв, два вида темно-серых лесных почв.

Большинство поселений находилось вблизи озер и в поймах больших рек Обь, Бия, Алей и при впадении в них более мелких рек. Благодаря тому, что здесь имеются широкие долины и не заливаемые водой останцы, ряд поселений располагается в 5–10 и 20–30 км от мест с залеганием полезных ископаемых, однако многие поселения локализируются вдали от таких мест.

Ранее также показано, что основные из 1 500 археологических комплексов Тоболо-Ишимского региона Западной Сибири находятся около крупных рек, особенно в широких долинах при их слиянии [17].

Заключение. На основании применения мультиспектральных космических снимков с разрешением 30 пикселей и ГИС технологий выявлено, что средневековая сrostкинская культуры располагала собственной ойкуменой с акцентированным центром и относительно четкими рубежами, которые распространялись на плодородных черноземах в пределах Западно-Сибирского подтаежно-лесостепного района лесостепной зоны. Установлено, что поселения локализовались на относительно выровненных площадках с небольшими перепадами высот (3–10 м), вблизи озер и крупных рек, а также в широких долинах при их слиянии. Некоторые поселения находились от месторождений полезных ископаемых (медь, золото, цинк, железо) на расстоянии ~30–70 км, большинство – на расстоянии 100 и более км.

Работа выполнена в рамках Госзадания № АААА-А18-118013190175-5 «Развитие почв в условиях меняющегося климата и антропогенных воздействий» и проектов РФФИ 17-05-01151 (химические анализы) и РНФ 16-18-10033 «Формирование и эволюция систем жизнеобеспечения у кочевых социумов Алтая и сопредельных территорий в поздней древности и средневековье: комплексная реконструкция» (полевые работы, анализы).

Список литературы

1. Гарбузов Г. П. Археологические исследования и дистанционное зондирование Земли из космоса // Рос. археология. 2003. № 2. С. 45–55.

2. Сизов О.С., Кушнырь О.В. Анализ подходов к систематизации тематических задач, решаемых с помощью данных ДЗЗ // Исследование Земли из космоса. 2018. № 2.
3. Смекалов С.Л., Федоров Д.Л. Геоинформационные технологии в археологических исследованиях. СПб., 2004. 104 с.
4. Шаяхметов М.Р., Шойкин О.Д., Федяева Е.Ю. Изучение особенностей дешифрирования почвенного покрова степной зоны Западной Сибири на основе материалов дистанционного зондирования земли // Омск. науч. вестн. 2015. № 1 (138). С. 191–194.
5. Шмидт И.В. Охранная археология в Германии. Часть вторая – тезисы о сложении новой культуры научного исследования и становлении археологической ГИС Саксонии // Вестн. Омск. ун-та. Серия «Исторические науки». 2017. № 4 (16). С. 235–241.
6. Parcak S. *Satellite Remote Sensing for Archaeology: Handbook* / Teylor & Francis Group London and New York. 2009. 286 P.
7. Lasaponara R., Masini N. (Eds.) *Satellite Remote Sensing. A New Tool for Archaeology*. 2012. URL: <http://www.springer.com/gp/book/9789048188000>.
8. Neubauer W. GIS in archaeology – the interface between prospection and excavation // *Archaeological Prospection*. 2014. № 11(3). P. 159–166.
9. Афанасьев Г.Е., Зотько М.Р., Коробов Д.С. Первые шаги «космической археологии» в России (к дешифровке Маяцкого селища) // *Росс. археология*. 1999. № 2. С. 106–123.
10. ГИС-моделирование условий обитания, благоприятных для проживания древнего человека в горах Алтая / И.Д. Зольников, А.В. Постнов, В.А. Лямина [и др.] // *Археология, этнография и антропология Евразии*. 2013. № 3 (55). С. 40–47.
11. Зайцева Е.А. Методика камерального зонирования территории в системе охраны объектов археологии Ханты-Мансийского автономного округа Югры (некоторые итоги и перспективы) // *Урал. ист. вестн. Екатеринбург*, 2010. № 2 (27). С. 120–124.
12. Епимахов А.В., Чуев Н.И. Абашевские и синташтинские памятники: предварительные результаты пространственного анализа // *Вестн. археологии, антропологии и этнографии*. 2011. № 2 (15). С. 47–56.
13. Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А., Буряк Ж.А. *Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма*. Воронеж: Издат. дом ВГУ, 2017. 432.
14. A 3D digital workflow for archaeological intra – site research using GIS / M. Katsianis, S. Tshipidis, K. Kotsakis, A. Kousoulakou // *J. of Archaeological Science*. 2008. 35. P. 655–667.
15. Reinhold S., Korobov D.C. The Kislovodsk basin in the North Caucasian piedmonts – archaeology and GIS studies in a mountain cultural landscape // *Preistoria Alpina*. 2007. Vol. 42. P. 181–207.
16. Тишкин А.А., Горбунов В.В., Горбунова Т.Г. Алтай в эпоху средневековья: Иллюстрированный исторический атлас: учеб. пособие / под общ. ред. А.А. Тишкина. Барнаул: ООО «Печатная компания АРТИКА», 2011. 136 с.
17. Зах В.А. Динамика заселения территории лесного Тоболо-Ишимья в голоцене // *Вестн. археологии, антропологии и этнографии*. 2013. № 4 (23). С. 4–12.

<i>Раевич К.В., Зеньков И.В., Нефедов Б.Н.</i> Информационное обеспечение для выполнения дистанционного мониторинга детектирования нарушенных земель угольными разрезами	373
<i>Раевич К.В., Зеньков И.В., Нефедов Б.Н.</i> Применение космических технологий при оценке земель угольных разрезов	380
<i>Раевич К.В., Зеньков И.В., Нефедов Б.Н.</i> Результаты исследования экосистемы угольных разрезов с использованием ресурсов дистанционного зондирования Земли	388
<i>Ромасько В.Ю., Гордеев И.Н., Бураков Д.А.</i> Оценка снегозапасов по данным прибора AMSR-2	396
<i>Свердлик Л.Г.</i> Многолетняя изменчивость аэрозольной оптической толщи над северным Тянь-Шанем по данным наземных и спутниковых измерений.....	400
<i>Содномов Б.В., Аюржанаев А.А., Цыдыпов Б.З., Гармаев Е.Ж.</i> Аналитическая аппроксимация внутригодовой динамики NDVI для оценки фенологических параметров лесной растительности	404
<i>Тадырова С.Р., Кулик Е.Н.</i> Роль космического мониторинга при комплексной оценке особо охраняемых природных территорий Республики Алтай.....	407
<i>Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Подлесный С.В.</i> Контроль прозрачности атмосферы Земли с помощью статистических методов обработки данных ПЗС камеры	410
<i>Томишин О.А., Соловьев В.С.</i> Особенности сезонного хода природных пожаров в азиатской части России.....	413
<i>Фарбер С.К., Кузьмик Н.С., Данилин И.М.</i> Картографирование разнообразия растительности по материалам лесоустройства.....	417
<i>Федотова Е.В.</i> Восстановление лесного покрова после повреждения его сибирским шелкопрядом.....	422
<i>Шаяхметов М.Р., Приходько В.Е., Горбунов В.В., Тишкин А.А.</i> Применение данных ГИС-технологий и дистанционного зондирования Земли при изучении средневековой сrostкинской культуры Алтайского края	426
<i>Яценко А.С., Яценко Ю.И., Кривальцевич С.В.</i> Тематическое картографирование сельхозугодий по радиолокационным данным Sentinel-1	430
СПИСОК АВТОРОВ.....	434