

УДК 528.873.041.3

С. А. Буторина, М. Ю. Грищенко

МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики

## ИССЛЕДОВАНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СТРУКТУРЫ ТРОИЦКОГО И НОВОМОСКОВСКОГО АДМИНИСТРАТИВНЫХ ОКРУГОВ Г. МОСКВЫ

Тепловые космические снимки содержат качественную информацию о географических объектах, которая пока ещё недостаточно широко применяется в географической науке. Представляется эффективным использование разносезонных тепловых снимков для извлечения такой информации. Она может быть представлена в виде карт тепловой структуры. Под тепловой структурой авторы понимают обусловленное неравномерностью теплового поля сочетание участков местности, характеризующихся различными типами сезонной динамики интенсивности теплового излучения. Работа выполнена на примере новых территорий Москвы, представляющих интерес для географов как район перспективного развития современной городской инфраструктуры.

**Ключевые слова:** тепловые космические снимки, тепловая структура, новые территории Москвы, эколого-географическая оценка земельных ресурсов.

Butorina S. A., Grishchenko M. Y.

### STUDYING AND MAPPING OF THE THERMAL STRUCTURE OF TROITSKY AND NOVOMOSKOVSKY ADMINISTRATIVE OKRUGS OF MOSCOW

Thermal satellite imagery provides qualitative information about geographic features, but they are still not widely used in geographic science. It seems effective to use multiseasonal thermal imagery to extract such information. It can be represented in the form of the thermal structure maps. The thermal structure is considered as combination of terrain compartments characterized by different types of seasonal thermal radiation intensity changes caused by the thermal field irregularity. The study is based on the new territories of Moscow; area is interesting to geographers as a zone of a prospective development of modern urban infrastructure.

**Keywords:** thermal infrared images, thermal structure, new territories of Moscow, ecological and geographical land resource evaluation.

Буторина С. А., Грищенко М. Ю.

### ДОСЛІДЖЕННЯ І КАРТОГРАФУВАННЯ ТЕПЛОЇ СТРУКТУРИ ТРОЇЦЬКОГО І НОВОМОСКОВСЬКОГО АДМІНІСТРАТИВНИХ ОКРУГІВ М. МОСКВИ

Теплові космічні знімки містять якісну інформацію про географічні об'єкти, яка поки що недостатньо широко застосовується в географічній науці. Вважається ефективним використання різносезонних теплових знімків для отримання такої інформації. Вона може бути представлена у вигляді карт теплової структури. Під тепловою структурою автори розуміють обумовлене нерівномірністю теплового поля поєднання ділянок місцевості, які характеризуються різними типами сезонної динаміки інтенсивності теплового випромінювання. Робота виконана на прикладі нових територій м. Москви, що представляють інтерес для географів як район перспективного розвитку сучасної міської інфраструктури.

**Ключові слова:** теплові космічні знімки, тепла структура, нові території Москви, еколого-географічна оцінка природних ресурсів.

**Исходные предпосылки.** Снимки в тепловом инфракрасном диапазоне (тепловые снимки) являются особым источником информации о географических объектах. На таких снимках находит отображение тепловое излучение объектов земной поверхности — явление, которое невозможно зафиксировать с помощью других типов данных дистанционного зондирования.

В настоящее время использование тепловых космических снимков ведется преимущественно на глобальном уровне с применением данных метеорологических спутников [2, 3, 8]. Исследования на уровне геосистем регионального уровня (площадь до 1 млн. км<sup>2</sup>, например, речных бассейнов, горных систем, городских агломераций) развиты в существенно меньшей степени, хотя такие исследования не менее важны для географической науки. Структура геосистем такого уровня проявляется на космических снимках, характеризующихся пространственным разрешением не ниже 250 м (исходя из размеров элементарных геосистем — в среднем, не более 1 км<sup>2</sup> [10]; на 1 элементарную геосистему должно приходиться несколько пикселей для устранения влияния яркостей пикселей, относящихся

к соседним геосистемам). Стоит также отметить, что в настоящее время тепловые снимки используются в первую очередь для извлечения количественных характеристик [12], таких как температура объектов, однако они содержат большой объем качественной информации о географических объектах. Поскольку единичный тепловой снимок представляет одномоментный срез динамичного теплового поля местности, целесообразно использовать снимки за несколько временных срезов [1]. Для равнинных территорий умеренных широт наибольшие амплитуды интенсивности теплового излучения наблюдаются в сезонном ходе, в связи с чем наиболее эффективным является использование массива разновременных снимков, отражающего сезонную динамику интенсивности теплового излучения, т. е. разносезонных [4]. При использовании разновременных тепловых снимков каждой точке земной поверхности можно поставить в соответствие не одно значение яркости снимка, а массив значений, в котором количество значений определяется количеством исходных снимков. Такой массив значений носит название «временной образ» (по аналогии со спектральным образом) [5].

Временной образ может быть дешифровочным признаком географических объектов. Авторы предлагают анализировать пространственно-временные неоднородности сезонной динамики интенсивности теплового излучения некоторой территории по картам тепловой структуры. Под тепловой структурой авторы предлагают понимать обусловленное неравномерностью теплового поля сочетание участков местности, характеризующихся различными типами сезонной динамики интенсивности теплового излучения.

Для изучения динамики интенсивности теплового излучения оптимальными являются снимки со спутников серии Landsat (съёмочные системы TM, ETM+, TIRS), имеющиеся в открытом доступе, и со спутника Terra (съёмочная система ASTER).

**Цель исследования.** В настоящее время в различных областях науки активно ведутся работы по исследованию Новой Москвы — территории, вошедшей в состав столицы в 2012 году [6, 7]. Ее изучение обусловлено необходимостью разработки грамотной стратегии освоения — проведения ее функционального зонирования и ландшафтного планирования. В качестве объекта исследования в данной работе выбрана основная часть присоединенных территорий Москвы — Троицкий и Новомосковский административные округа (ТиНАО). Целью работы является составление карты тепловой структуры этой территории и её анализ.

*Краткая географическая характеристика ТиНАО.*

Территория, занимаемая ТиНАО г. Москвы, простирается к юго-западу от московской кольцевой автодороги (МКАД) вплоть до границы с Калужской областью. Рассматриваемая территория располагается в центральной части Восточно-Европейской равнины в бассейне р. Москвы в подзоне хвойно-широколиственных лесов со сравнительно влажным умеренно-континентальным климатом. Участок, занимаемый ТиНАО, занимает площадь более 146 тыс. гектаров и лежит на территории двух физико-географических (ландшафтно-геоморфологических) районов: западные и северо-западные районы располагаются на Смоленско-Московской моренной возвышенности, остальная часть территории принадлежит Москворецко-Окской моренно-эрозионной равнине, преимущественно району Теплостанской останцовой эрозионной возвышенности.

Основным типом рельефа данной местности являются слабоволнистые равнины. Абсолютные отметки высот находятся в диапазоне от 100 до 250 метров, понижения приурочены к долинам рек. Климат характеризуется морозной, снежной зимой и влажным теплым летом, а также хорошо выраженными переходными сезонами. Главные водотоки на территории ТиНАО — р. Пахра и ее притоки р. Десна (с притоками р. Сосенка, р. Незнайка) и р. Моча (с притоками р. Лубянка, р. Поляница). Реки относятся к типу равнинных рек с преимущественно снеговым питанием. Основным видом почв является дерново-подзолистый. По долинам крупных рек — полосы аллю-

виальных почв различной ширины. Большая часть территории ТиНАО (около 70%) покрыта лесом. Леса являются хвойно-широколиственными с преобладанием березы, ели, сосны. Животный мир — типичный для данной природной зоны [11].

Выбор территории ТиНАО для присоединения к столице объясняется оптимальным местоположением для выполнения столичных функций, а также слабой урбанизацией этого участка, где в настоящее время проживает менее 250 тыс. человек. С включением новых территорий в состав г. Москвы вошло 21 муниципальное образование, в том числе 2 городских округа, 19 городских и сельских поселений. В состав Новомосковского административного округа (НАО), площадь которого составляет 360 кв. км, входит 10 поселений и городской округ Щербинка. На территории НАО проживает 114 тыс. человек. Троицкий административный округ (ТАО) включает 9 поселений и городской округ Троицк общей площадью 1060 кв. км. Его населяет 93 тыс. человек. Наиболее крупными населёнными пунктами ТиНАО являются г. Троицк (40 тыс. человек), г. Щербинка (33 тыс. человек) и г. Московский (17 тыс. человек). Главные автомагистрали — Калужское и Киевское шоссе. В ТиНАО активно разрабатывается транспортная инфраструктура: прорабатываются и внедряются новые направления общественного транспорта, проектируются автомобильные дороги и связи [9].

Важность изучения территории ТиНАО обуславливается с необходимостью ее освоения в ближайшее время. Только после исследования данной местности станет возможным создание грамотной стратегии освоения.

*Используемые материалы.*

Главным исходным материалом для выполнения работы является набор разносезонных тепловых космических снимков. Было отобрано 6 снимков, полученных со спутника Landsat-5 в 2006-2010 годах, съёмочная система TM. Данная съёмочная система работала до лета 2012 года и получала изображения в семи каналах электромагнитного спектра: 1—0,45—0,52 мкм; 2—0,52—0,6 мкм; 3—0,63—0,69 мкм; 4—0,76—0,9 мкм; 5—1,55—1,75 мкм; 6—10,40—12,50 мкм; 7—0,08—2,35 мкм. В ходе работы был использован только тепловой инфракрасный канал с длиной волны 10,4—12,5 мкм, соответствующий максимальной интенсивности теплового излучения Земли. Пространственное разрешение снимков составляет 120 м.

При выборе снимков учитывалось несколько факторов. В связи с тем, что поток теплового излучения, регистрируемый на спутнике, сильно зависит от состояния атмосферы, отбирались снимки без облаков, тумана и дымки. Учитывалось также то, что набор разносезонных снимков должен наиболее репрезентативно отражать сезонные изменения природных комплексов. К сожалению, в архиве Геологической службы США на зимний период нет снимков, удов-

летворяющих критериям, однако зимой различия в интенсивности теплового излучения объектов весьма малы, поэтому недостаток зимних снимков не оказывает большого влияния на результат.

Таким образом, было отобрано 6 снимков за следующие даты: 20 мая 2007, 29 июня 2010, 15 июля 2010, 28 августа 2011, 22 сентября 2006, 19 октября 2010.

#### *Методика работы.*

Составление карты тепловой структуры осуществлялось в несколько этапов.

На первом этапе проведён отбор подходящих снимков, их предварительная обработка и формирование многовременного снимка. Снимки были размещены в порядке смены сезонов без учета года съёмки. На втором этапе проведена кластеризация многовременного снимка методом ISODATA при разных параметрах. Были получены варианты кластеризации с различным количеством кластеров. Осуществлено соотнесение выделенных кластеров в каждом из полученных вариантов с объектами территории с помощью снимка SPOT-6 и данных интернет-ресурса Викимания (<http://wikimania.org>), после чего вариант с 8 кластерами выбран в качестве оптимального. Критериями служили: возможность отнесения однородных участков территории к одному кластеру, низкая дробность контуров. На следующем этапе проведена разработка легенды. Для каждой из восьми выделенных в результате кластеризации групп объектов были изучены особенности сезонного изменения интенсивности теплового излучения. Сравнение этих особенностей позволило дать название каждой группе объектов, отражающее характер сезонной динамики интенсивности теплового излучения. Завершающим этапом было оформление карты: нанесение главных автодорог и подписей крупных населенных пунктов, зарамочное оформление.

#### *Результаты и их обсуждение.*

Таким образом, на территории ТиНАО было выделено 8 тепловых зон: зона экстремально высокой интенсивности теплового излучения, зона очень высокой интенсивности теплового излучения, зона высокой интенсивности теплового излучения, зона средней интенсивности теплового излучения с повышенной интенсивностью в мае и пониженной в июне, а также 4 зоны пониженной интенсивности теплового излучения (рис. 1).

При сопоставлении выделенных зон со снимком SPOT-6 и данными интернет-ресурса Викимания удалось соотнести их с некоторыми группами природных и антропогенных объектов на территории ТиНАО. Так, зоне экстремально высокой интенсивности теплового излучения соответствуют промышленные объекты и крупные торговые центры. Объекты этой зоны занимают не более 1–2% площади на карте. К ней относятся, например, такие объекты как ТЦ Мега Теплый Стан, а также крупные складские помещения в г. Щербинка и рядом с пос. Крёкшино.

В зоне очень высокой интенсивности теплового излучения находятся преимущественно городские

районы, плотно застроенные коттеджные поселки и развязки крупных автодорог.

К зоне высокой интенсивности теплового излучения отнесена жилая застройка в дачных поселках, а также городская застройка с высокой степенью озеленения или в непосредственной близости к лесным массивам, оказывающим охлаждающий эффект.

В зоне средней интенсивности теплового излучения с повышенной интенсивностью в мае и пониженной в июне расположены земли сельскохозяйственного назначения и безлесные пространства (луга и пустыри). Характер изменения интенсивности теплового излучения объектов этой зоны отличается от характера изменения интенсивности теплового излучения других зон (в целом, схожих), что отражено в ее названии. Подобный ход интенсивности теплового излучения объясняется тем, что в мае безлесные пространства прогреваются быстрее других объектов. Поскольку открытый грунт обладает низкой теплоёмкостью, следовательно, он интенсивно излучает. В июне, когда безлесные пространства уже зарастают, наблюдается резкое понижение интенсивности теплового излучения.

Зоны пониженной интенсивности теплового излучения являются схожими по динамике и незначительно различающимися по интенсивности излучения, в связи с чем они были помещены в одну группу. От первой к четвертой зоне интенсивность теплового излучения равномерно понижается. В первую зону этой группы попали дачные участки и соседствующие с ними безлесные пространства. Ко второй зоне были отнесены открытые участки, находящиеся в непосредственной близости от леса. Третья зона пониженной интенсивности теплового излучения включает в себя опушки леса, а также участки леса вдоль железных и автомобильных дорог. К четвертой зоне, зоне самой низкой интенсивности теплового излучения, были отнесены лесные массивы и водоемы; эта зона охватывает более половины площади исследуемой территории.

**Выводы.** Полученная карта тепловой структуры отражает неравномерность распределения интенсивности теплового излучения по территории ТиНАО. На карте прослеживается тенденция понижения интенсивности теплового излучения при движении от МКАД в юго-западном направлении, т. е. при удалении от центральной части г. Москвы. Стоит также отметить, что в целом повышенная интенсивность теплового излучения характерна для антропогенных объектов, пониженная — для природных объектов. Все географические объекты территории достаточно четко распределены по выделенным зонам. Три зоны наиболее высокой интенсивности теплового излучения приурочены к антропогенным территориям, четыре зоны пониженной интенсивности излучения — к природным территориям, зона средней интенсивности включает возделываемые земли, а также безлесные участки, не подвергаемые интенсивному антропогенному воздействию. К участкам

экологической напряженности относятся объекты, попавшие в зоны экстремально высокой и очень высокой интенсивности теплового излучения, они формируют локальные тепловые аномалии повышенной интенсивности теплового излучения. Это может быть связано с влиянием производственного тепла, наличием крупных объектов, сделанных из материалов с низкой теплоёмкостью (например, камень, бетон), интенсивно поглощающих солнечное излучение (и, следовательно, интенсивно излучающих), с общей низкой озеленённостью территорий.

Данная работа демонстрирует применение карт тепловой структуры как карт нового содержания. Исследование доказало, что используемая методика позволяет изучить динамику теплового излучения

географических объектов и получить качественную информацию о них.

Карта составлена в рамках серии карт по эколого-географической оценке земельных ресурсов новых территорий Москвы. В дальнейшем она будет использоваться как один из материалов для выявления экологической напряженности на территории ТиНАО. Повышенная интенсивность теплового излучения некоторых участков свидетельствует о необходимости дополнительных полевых обследований с целью выявления её причин.

*\*Работа выполнена в рамках проекта, поддержанного грантом РФФИ 13–05–41233.*

**Рецензент: кандидат географических наук, доцент Е. А. Балдина**

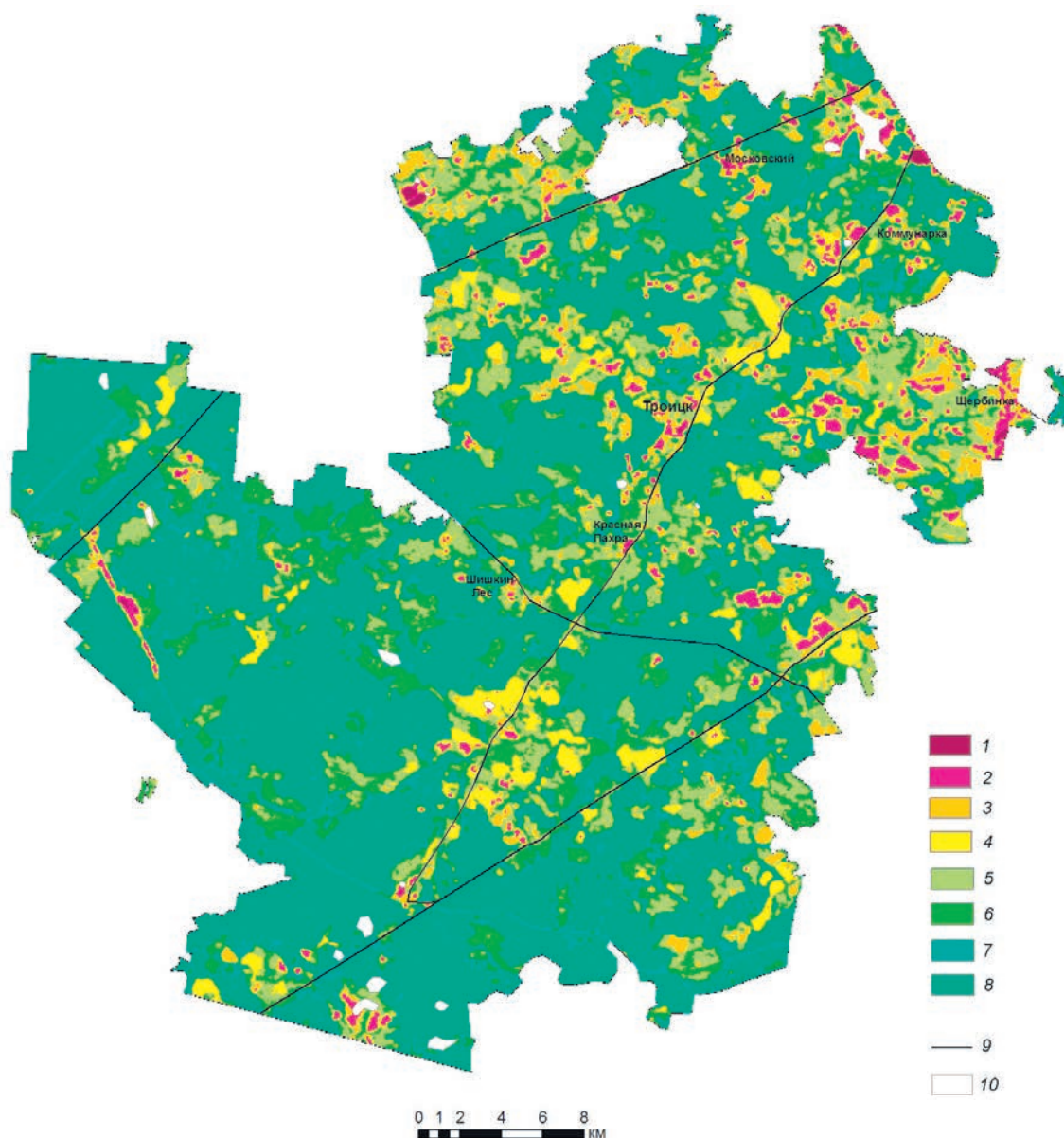


Рис. 1. Карта тепловой структуры Троицкого и Новомосковского административных округов г. Москвы. Тепловые зоны: 1 — экстремально высокой интенсивности теплового излучения; 2 — очень высокой интенсивности теплового излучения; 3 — высокой интенсивности теплового излучения; 4 — средней интенсивности теплового излучения с повышенной интенсивностью в мае и пониженной — в июне; 5, 6, 7, 8 — пониженной интенсивности теплового излучения (от большей интенсивности теплового излучения (5) к меньшей (8)). Прочие обозначения: 9 — основные автомобильные дороги; 10 — участки снимков, закрытые облачным покровом.



## Литература:

1. Балдина Е. А. Картографирование тепловых аномалий Москвы по разносезонным тепловым снимкам/Е. А. Балдина, М. Ю. Грищенко//Геозоологические проблемы Новой Москвы. — М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. — С. 70–76.
2. Бухаров М. В. Мониторинг осадков осеннего периода по измерениям уходящего теплового излучения Земли со спутника NOAA/М. В. Бухаров, В. И. Соловьев//Исследования Земли из космоса, 2004. — № 5. — С. 51–57.
3. Вилор Н. В. Динамика уходящего инфракрасного излучения элементов геологической структуры земной поверхности по данным съёмки со спутников NOAA и Terra/Н. В. Вилор, В. А. Русанов, Д. Ю. Шарпинский//Исследования Земли из космоса, 2009. — № 3. — С. 3–15.
4. Грищенко М. Ю. Применение тепловых инфракрасных космических снимков для картографирования структурных особенностей местности (на примере кальдеры вулкана Головнина)/М. Ю. Грищенко//Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы V Всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 19–22 сентября 2013 г.). — Воронеж: Цифровая полиграфия, 2013. — С. 45–53.
5. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений/Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова. — М., Изд-во Моск. ун-та, 1991. — 206 с.
6. Лихачева Э. А. Геоморфологические проблемы освоения территории Новой Москвы/Э. А. Лихачева, Л. А. Некрасова//Геозоологические проблемы Новой Москвы. — Медиа-ПРЕСС Москва, 2013. — С. 70–76.
7. Махрова А. Г. Новая Москва в контексте развития Московской агломерации/А. Г. Махрова, Т. Г. Нефёдова, А. И. Трейвиш//Геозоологические проблемы Новой Москвы. — Медиа-ПРЕСС Москва, 2013. — С. 76–83.
8. Новиненко Е. Г. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности Охотского моря по спутниковым данным/Е. Г. Новиненко, Г. В. Шевченко//Исследование Земли из космоса, 2007. — № 5. — С. 50–60.
9. Новая Москва [Электронный ресурс]//Режим доступа: <http://newmos.info/> (дата обращения: 12.02.2014).
10. Николаев В. А. Ландшафтоведение. Семинарские и практические занятия/В. А. Николаев. — М.: Географический факультет МГУ, 2006 — 208 с.
11. О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2012 году: информационный выпуск/Министерство экологии и природопользования Московской области. Красногорск, 2013 — 260 с.
12. Voogt J. A. Thermal remote sensing of urban climates/J. A. Voogt, T. R. Oke//Remote Sensing of Environment, 2003. — № 86. — P. 370–384.

УДК 910.27

**О. Д. Васильев, Д. С. Барышников, А. С. Репина, А. А. Сучилин**

МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ-ГЕОГРАФОВ

В статье освещены основные методики использования ГНСС и ГИС-технологий в образовательном процессе для подготовки специалистов-географов. Приведены примеры использования студентами мобильных высокоточных комплексов ГНСС (ГЛОНАСС/GPS) в полевых условиях, включая методику одновременных измерений на различных участках, их анализа и уравнивания. Показана взаимосвязь накопленных результатов наблюдений с геоинформационными системами в различных географических исследованиях. Цель статьи — опыт внедрения в учебный процесс на географическом факультете МГУ современных достижений науки и техники.

**Ключевые слова:** география, ГНСС, ГИС, ЦМР, образование

О. Д. Васильєв, Д. С. Барышніков, Г. С. Рєпіна, О. О. Сучілін

### ВИКОРИСТАННЯ ГЛОБАЛЬНИХ НАВИГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ ТА ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ-ГЕОГРАФІВ

У статті висвітлено основні методики використання ГНСС та ГІС-технологій в освітньому процесі для підготовки фахівців-географів. Наведено приклади використання студентами мобільних високоточних комплексів ГНСС (ГЛОНАСС/GPS) в польових умовах, включаючи методику одночасних вимірювань на різних ділянках, їх аналізу і вирівнювання. Показано взаємозв'язок накопичених результатів спостережень з геоінформаційними системами в різних географічних дослідженнях. Мета статті — досвід впровадження в навчальний процес на географічному факультеті МДУ сучасних досягнень науки і техніки.

**Ключові слова:** географія, ГНСС, ГІС, ЦМР, освіта