

УДК 528.067

ТЕХНОЛОГИЯ СОСТАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ КАРТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ

В.М. Щербаков^a, А.И. Алтухов^b, Д.С. Коршунов^b, В.С. Воюц^c

^a Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

^b Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

^c ООО «Автодор», Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

Адрес для переписки: Korshunov.Denis@rambler.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 02.02.16, принята к печати 16.02.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-2-345-353

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Щербаков В.М., Алтухов А.И., Коршунов Д.С., Воюц В.С. Технология составления микроклиматических карт с использованием данных дистанционного зондирования Земли и моделирования тепловых полей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 2. С. 345–353. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-2-345-353

Аннотация

Предмет статьи. Предложена геоинформационная технология, обеспечивающая автоматизированное получение информативной микроклиматической карты путем совместной обработки цифровых моделей рельефа местности, архивных данных о режимных метеонаблюдениях и спутниковой регистрации вегетационного индекса растений за несколько лет. Представлено новое решение актуальной задачи по разработке микроклиматических карт по данным космической съемки и моделирования тепловых полей. **Метод.** В качестве показателей микроклиматической обстановки территорий выбраны инсоляция и вегетационный индекс растительности NDVI, отражающие основные микроклиматообразующие факторы, влияющие на состояние растений и динамику смены этапов их жизненного цикла. **Основные результаты.** Выполнено сопоставление сезонной ритмики изменчивости микроклиматических показателей на предмет синхронности и взаимоприуроченности. Определены индикационные свойства микроклиматических показателей, степень генерализации картографического изображения, границы микроклиматического картографирования. Приведен фрагмент микроклиматической карты, полученной с использованием предложенной геоинформационной технологии, реализованной в среде «ArcGIS». **Практическая значимость.** Предложенная технология позволяет создавать формализованные микроклиматические карты, отражающие распределение инсоляции и фотосинтетической активности листового аппарата растений на поверхности Земли с учетом особенностей рельефа местности, а также выполнять поиск местоположений, благоприятных для выращивания требуемых сельскохозяйственных культур, и решение прогнозных задач в сфере природопользования.

Ключевые слова

инсоляция, вегетационный индекс NDVI, цифровая модель рельефа, микроклиматическая карта

MICROCLIMATE CARTOGRAPHY USING DATA FROM THE EARTH REMOTE SENSING AND SIMULATION OF THERMAL FIELDS

V.M. Shcherbakov^a, A. I. Altukhov^b, D.S. Korshunov^b, V.S. Voyuts^c

^a Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

^b Mozhaiskiy Military Space Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation

^c "Avtdor", Ltd., Saint Petersburg, 197198, Russian Federation

Corresponding author: Korshunov.Denis@rambler.ru

Article info

Received 02.02.16, accepted 16.02.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-2-345-353

Article in Russian

For citation: Shcherbakov V.M., Altukhov A. I., Korshunov D.S., Voyuts V.S. Microclimate cartography using data from the Earth remote sensing and simulation of thermal fields. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 345–353. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-2-345-353

Abstract

Subject of Research. The paper proposes geoinformation technology that provides automated compiling of informative microclimatic map by co-processing of digital terrain models, historical data of meteorological observations and satellite registration of plant vegetation index for a number of years. We present a new solution for urgent task of microclimate cartography according to satellite imagery and modeling of thermal fields. **Method.** Insolation and vegetation index NDVI were selected as indicators of microclimatic environment areas, showing the main microclimate forming factors that affect the condition of plants and the dynamics of their life cycle phases change. **Main Results.** We have done the comparison of the seasonal rhythm variability of microclimatic indicators for synchronicity and their being timed to each other. We have defined indicative properties of microclimate parameters, generalization degree of cartographic image, borders for microclimatic cartography. We have presented a fragment of microclimate map obtained with the use of the proposed GIS technology implemented in "ArcGIS" environment. **Practical Relevance.** Proposed technology allows the creation of formalized microclimate maps showing the distribution of insolation and photosynthetic activity of plants foliage on the Earth surface, taking into account the features of the terrain, and the search for locations favorable for growing the required crops and forecasting solution of problems in the sphere of nature.

Keywords

insolation, vegetation index NDVI, Digital Elevation Model (DEM), microclimate map

Введение

В настоящее время для оценивания результатов природопользования и управления эксплуатацией ландшафтных ресурсов широко применяются данные дистанционного зондирования Земли и геоинформационные методы их обработки. Например, путем преобразования фиксируемых сигналов по отдельным каналам в интегральный показатель – вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – можно оценить фотосинтетическую активность листового аппарата растений на поверхности Земли [1–4]. Результаты анализа данных космической съемки и данных о солнечной радиации, получаемых современными техническими средствами наблюдения за климатической обстановкой, позволяют сделать вывод о возможности создания микроклиматических карт путем их совместной обработки. Для обработки данных можно использовать геоинформационные методы и получить результирующую карту в камеральных условиях без выполнения полевых работ.

Современные подходы к составлению микроклиматических карт основаны, как правило, на натурных наблюдениях и регистрации достаточно большого набора метеопараметров. Данные наблюдений фиксируются в стандартизированных таблицах и используются для оформления аналитических карт, отражающих отдельные натуральные показатели микроклимата некоторой местности. Применение геоинформационных технологий сводится к автоматизации классических способов построения картографических изображений [5–7]. Наличие цифровых моделей рельефа местности [8], архивных данных режимных метеонаблюдений и спутниковой регистрации вегетационного индекса растений за ряд лет, а также современный уровень развития вычислительной техники позволяют разработать ГИС-технологии составления микроклиматических карт с использованием данных дистанционного зондирования Земли и результатов моделирования тепловых полей, отражающих распределение солнечной радиации на поверхности Земли. Для создания такой технологии необходим алгоритм моделирования тепловых полей с учетом особенностей рельефа местности, реализуемый средствами геоинформационных систем (ГИС), а также подход к решению задачи сопоставления элементарных склоновых поверхностей рельефа, параметризованных сезонной ритмикой инсоляции и вегетационным индексом растительности.

**Алгоритм геоинформационного моделирования тепловых полей
с учетом особенностей рельефа местности**

Для оценивания радиационных характеристик в целях микроклиматического картографирования можно использовать данные режимных наблюдений государственной сети метеорологических и актинометрических станций. Наличие таких данных позволяет провести моделирование инсоляционного эффекта для склоновых поверхностей цифровой модели рельефа. Дальнейшая совместная обработка результатов моделирования тепловых полей и архивных данных спутниковой регистрации нормализованного вегетационного индекса растений за представительный ряд лет позволяет получить информацию о микроклиматической обстановке и представить ее в виде цифровой формализованной карты [9–12]. В процессе моделирования расчет инсоляционного эффекта производится для каждой элементарной ячейки растровой модели рельефа согласно алгоритму, представленному на рис. 1.

Исходными данными являются режимные наблюдения: общая Q_s^m , прямая S_s^m и рассеянная D_s^m радиации. Для вычислений используются аналитические выражения, отражающие значимость учета географической широты и облачности для актинометрической и метеорологической станции. Суточная сумма прямой радиации на горизонтальную поверхность в районе метеостанции S_g^m определяется с использованием выражения

$$S_g^m = S_R^m - S_R^m (1 - S_g^a / S_R^a) (n^m / n^a),$$

где S_R^m – теоретическая прямая радиация при абсолютной прозрачности атмосферы на широте

метеостанции; S_g^a – прямая радиация на актинометрической станции, полученная вычитанием измеренной рассеянной радиации из измеренной общей радиации; S_R^a – теоретическая прямая радиация при абсолютной прозрачности атмосферы на широте актинометрической станции; n^m – измеренная облачность на метеостанции; n^a – измеренная облачность на актинометрической станции.

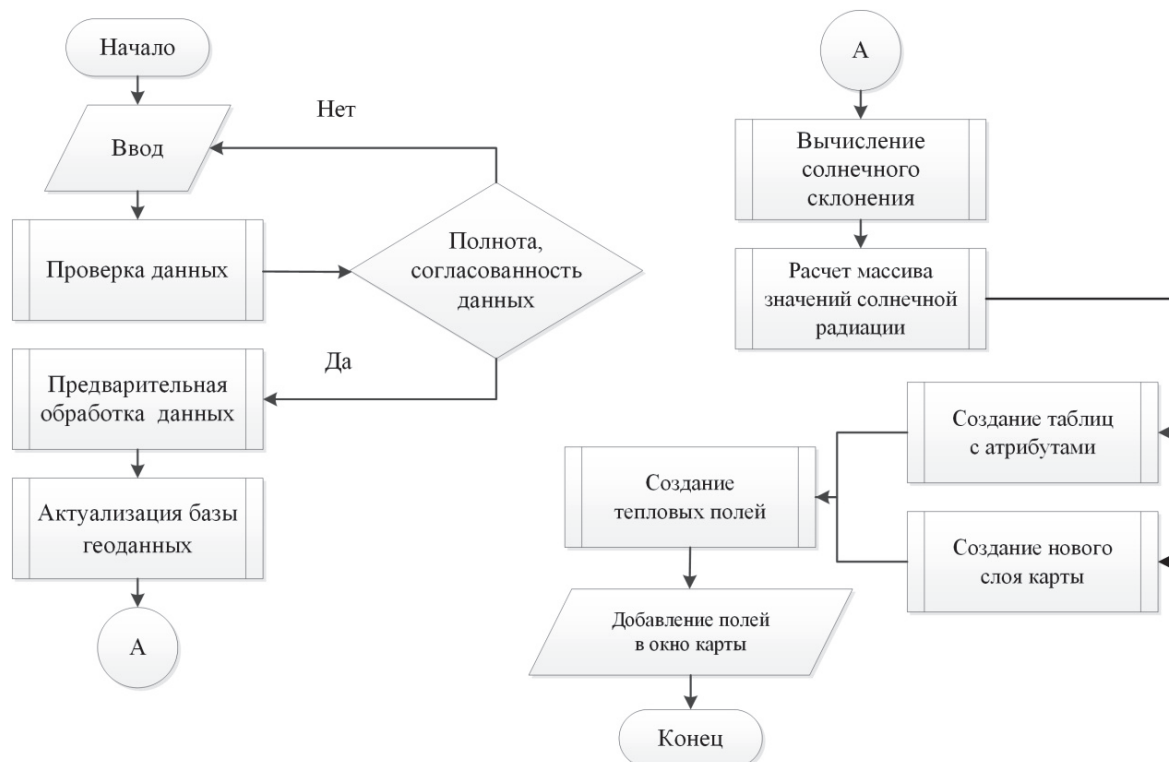


Рис. 1. Блок-схема алгоритма моделирования тепловых полей

Суточная сумма прямой радиации на склон в районе метеостанции S_s^m находится по формуле

$$S_s^m = S_g^m \cdot (\cos(\alpha) + \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \delta)), \quad (1)$$

где α – угол склона; β – экспозиция склона; φ – географическая широта; δ – солнечное склонение.

Суточная сумма рассеянной радиации на склон в районе метеостанции D_s^m определяется выражением

$$D_s^m = S_g^m \cdot (1 + \cos(\alpha)/2). \quad (2)$$

Суточная сумма общей радиации на склон в районе метеостанции Q_s^m равна

$$Q_s^m = S_s^m + D_s^m.$$

Номер типа	Индекс склона	Уклон	Экспозиция
1	11	Равнина	Равнина
2	$n12$	до $n1^\circ$	Север (2)
3	$n13$		Восток, Запад (3)
4	$n14$		Юг (4)
5	$n22$	от $n1^\circ$ до $n2^\circ$	Север (2)
6	$n23$		Восток, Запад (3)
7	$n24$		Юг (4)
...	Север (2)
...	...		Восток, Запад (3)
...	...		Юг (4)
...	$nm2$	Выше nm	Север (2)
...	$nm3$		Восток, Запад (3)
k	$nm4$		Юг (4)

Таблица. Формализованная типизация рельефа

По результатам вычислений строятся тепловые поля, создаваемые за счет прямой, рассеянной и общей радиации. Отображение результатов моделирования выполняется с использованием ГИС в виде векторных полигональных объектов, совокупность которых образует картографический слой карты микроклиматической обстановки. Далее с использованием типовых инструментов геообработки выполняется

совместная обработка слоев карты: тепловых полей и рельефа местности, представленного полигональной и изолинейной моделями. Результатом совместной обработки является получение карты тепловых контрастов склоновых поверхностей для определенного сезона года.

Полигональная модель рельефа используется для типизации земной поверхности по углу склона и по величине экспозиции, которая обусловлена поступающей солнечной радиацией, что необходимо для корректных вычислений с использованием формул (1)–(2). Результаты типизации рельефа приведены в таблице.

Графическое представление тепловых контрастов позволяет визуально оценить сезонную изменчивость отражательной способности рельефа и определить энергетический уровень соответствующих микроклиматических районов, что может быть использовано для поиска благоприятных местоположений и выращивания требуемых сельскохозяйственных культур, а также решения прогнозных задач в сфере природопользования. Наличие данных о тепловых контрастах рельефа повышает информативность результирующей карты микроклиматической обстановки.

Сопоставление элементарных склоновых поверхностей рельефа, параметризованных сезонной ритмикой инсоляции и вегетационным индексом растительности

Инсоляцию как один из показателей микроклиматических особенностей местности требуется сопоставить с другим показателем – NDVI. Такое сопоставление позволяет отобразить пригодность микроклиматических условий к возвращению растительных сообществ различных типов, а также выявить взаимосвязь в изменениях энергетического уровня земной поверхности и состоянии растительного покрова, определить степень генерализации картографического изображения и выбрать пространственные границы микроклиматического картографирования. Для решения этой задачи можно использовать результаты моделирования тепловых полей и данные спутниковой регистрации индекса NDVI. В результате корреляционного анализа сезонной ритмики фотосинтетической активности листового аппарата растений и инсоляции в пределах двух тестовых районов *B* и *C* с одинаковыми климатическими условиями получены графики (рис. 2–4), доказывающие необходимость учета обоих показателей при составлении микроклиматических карт.

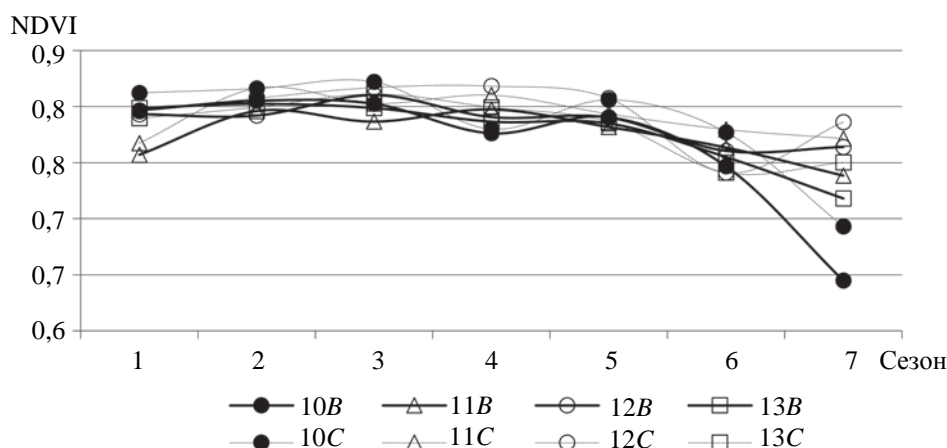


Рис. 2. Сезонная изменчивость NDVI за 2010–2013 гг. в тестовых районах № 1 (10B–13B) и № 2 (10C–13C)

На рис. 2 представлены характеристики изменения NDVI в течение семи сезонов 2010–2013 гг. Значения парной корреляции для этих лет равны 0,99, 0,94, 0,83 и 0,86. Это означает, что ежегодные изменения состояния растительного покрова в пределах сравниваемых районов практически идентичны, что объясняется одинаково меняющимися метеоусловиями. Таким образом, можно сделать вывод, что данные спутниковой регистрации NDVI следует применять при составлении микроклиматических карт, предназначенных для оценивания этапов жизненного цикла растительных культур. Границы картографирования в этом случае соответствуют границам снимка земной поверхности. Генерализация изображения выполняется для средних картографических масштабов.

Следует отметить, что оценивание состояния растительного покрова не позволяет судить о причинах смены этапов жизненного цикла различных растительных культур. Определить энергетический уровень земной поверхности, влияющий на процесс созревания растений, и выбрать наиболее подходящие места для посадки, с учетом метеоусловий и различных типов культур можно, используя результаты моделирования тепловых полей. На рис. 3 представлены характеристики изменения инсоляции в течение семи сезонов 2010–2013 гг. Значения парной корреляции для этих лет равны 0,64, 0,65, 0,37 и 0,76. Это означает, что ежегодные изменения энергетического уровня земной поверхности сравниваемых районов

имеют различный характер, что объясняется индивидуальными особенностями рельефа и разным распределением тепловых полей.

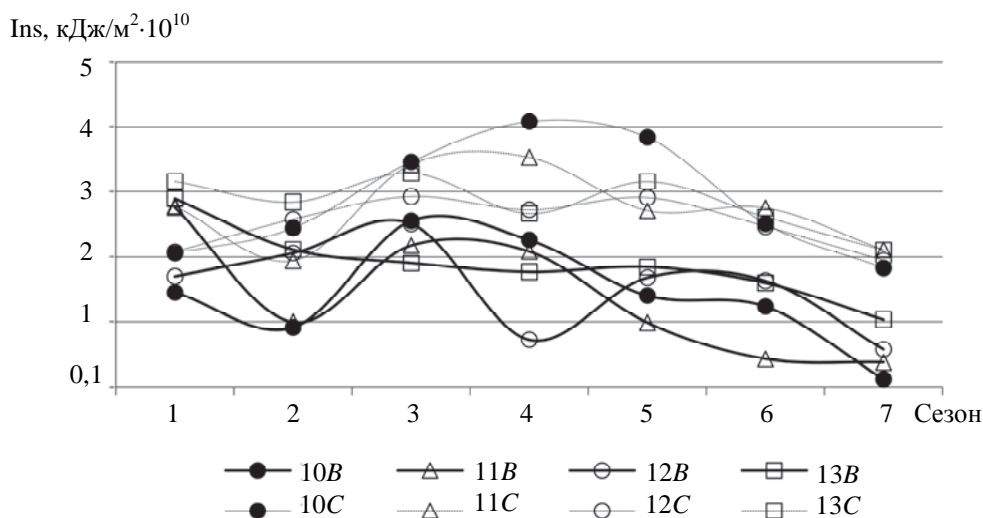


Рис. 3. Сезонная изменчивость инсоляции за 2010–2013 гг. в тестовых районах № 1 (10В–13В) и № 2 (10С–13С)

Таким образом, можно сделать вывод, что создание микроклиматических карт по данным моделирования тепловых полей и спутниковой регистрации NDVI позволяет оценить как текущее состояние растений, так и динамику смены этапов их жизненного цикла.

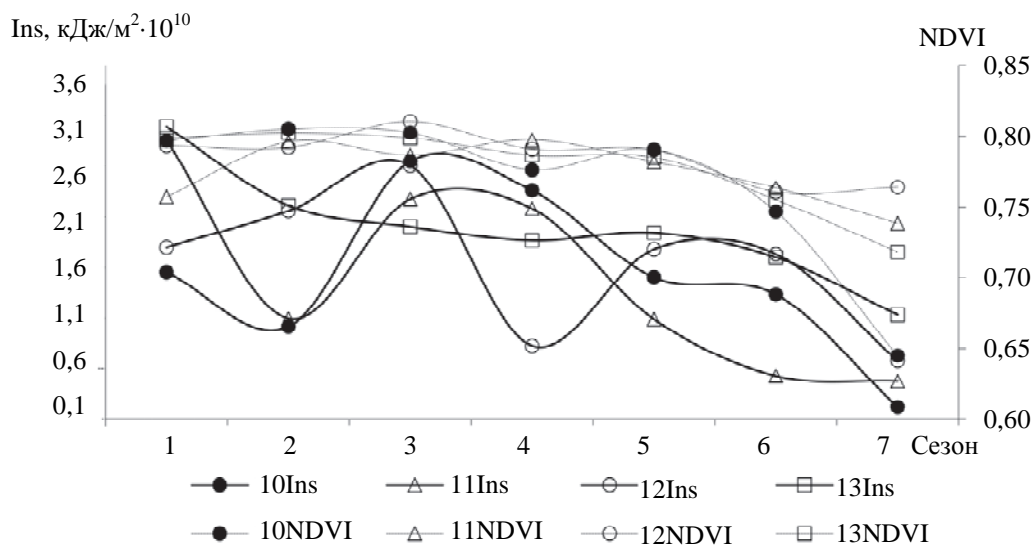


Рис. 4. Изменчивость инсоляции (10Ins–13Ins) и NDVI (10NDVI–13NDVI)

На рис. 4 представлены результаты сопоставления сезонной изменчивости инсоляции и NDVI за 2010–2013 гг., которые показывают, что на одном временном интервале изменения энергетического уровня земной поверхности более ярко выражены, чем изменения фотосинтетической активности листового аппарата. Это доказывает, что тестовые районы необходимо отражать на разных картах, так как тепловые поля на этих территориях формируются по-разному. Границы картографирования в этом случае соответствуют административным границам исследуемых территорий. Генерализация изображения выполняется для крупных картографических масштабов. Результаты корреляционного анализа демонстрируют синхронность и взаимоприуроченность изменчивости сезонной ритмики инсоляции и вегетационного индекса растительности, а также используются для определения индикаторных свойств этих показателей, которые далее применяются для составления микроклиматических карт в ГИС.

Результаты корреляционного анализа позволяют сформулировать подход к геоинформационному картографированию на основе микроклиматического районирования попарным многокритериальным сопоставлением элементарных склоновых поверхностей, параметризованных сезонной ритмикой инсоляции и вегетационного индекса растительности. В процессе создания формирования микроклиматической карты применяются результаты моделирования тепловых полей и районирования земной поверхно-

сти по микроклиматическим показателям. Этапы формирования карты включают картометрический анализ (анализ представительности склоновых поверхностей по количеству и площади), составление паспорта слоев, упорядочивание табличной информации и картографических изображений, накопление архивной базы метеоданных и геоданных (БД) по сезонам и годам. По завершению обработки метеоданных за год строятся рабочие карты, на которых атрибутивная таблица слоя единиц районирования рельефа соединяется с таблицей, содержащей параметры инсоляции и вегетационного индекса NDVI. Схема технологического процесса изготовления микроклиматической карты с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР) приведена на рис. 5.



Рис. 5. ГИС-технология составления микроклиматических карт

В предлагаемой ГИС-технологии составления микроклиматических карт определена последовательность этапов обработки геоданных с использованием комплекса программных модулей геоинформационной системы «ArcGIS» – «ArcGIS-Insolation» и «ArcGIS-Признак», а также базы данных «Microsoft Access». Основными этапами микроклиматической карты являются:

1. создание архивной БД с метеоданными, полученными на ближайшей актинометрической станции и ближайших метеостанциях [13–15];
2. построение ЦМР в растровом и векторном представлениях с отражением типов склоновых поверхностей по углу склона и по величине экспозиции;
3. построение таблиц и графиков годовой и сезонной изменчивости, поступающей на земную поверхность солнечной радиации. Оценивание микроклиматообразующей роли рельефа по соотношению прямой и рассеянной радиации на картографируемой территории;
4. построение таблиц и графиков годовой и сезонной изменчивости состояния растительных сообществ по нормализованному индексу фотосинтетической активности листового аппарата растений NDVI в системе «ArcGIS»;
5. выполнение корреляционного анализа сезонной динамики инсоляции и вегетационного индекса NDVI для равнинных и склоновых поверхностей, используя архивную информацию с целью обоснования использования земель и оптимизации природопользования в системе «ArcGIS»;
6. выполнение микроклиматической классификации единиц формализованного районирования рельефа методом многокритериального анализа с помощью программы «ArcGIS-Признак»;
7. создание микроклиматических карт по всем периодам мониторинга в системе «ArcGIS»;
8. создание и актуализация архива картографических материалов и микроклиматических данных.

Фрагменты микроклиматических карт, показывающие распределение общей радиации на поверхности Земли и результаты районирования территорий по энергетическому уровню, представлены на рис. 6, а, б, соответственно.

Применение ГИС-технологии позволяет составить формализованные микроклиматические карты, отличающиеся от существующих карт наличием информации о распределении инсоляции и фотосинтетической активности листового аппарата растений на поверхности Земли с учетом особенностей рельефа местности, что делает ее более информативной и обеспечивает достижение поставленной цели. Предложенный подход к микроклиматическому картографированию обеспечивает взаимодействие геоинформатики, картографии и аэрокосмического зондирования и позволяет получить геоданные, необходимые для поиска мест выращивания сельскохозяйственных культур и решения прогнозных задач в сфере природопользования.

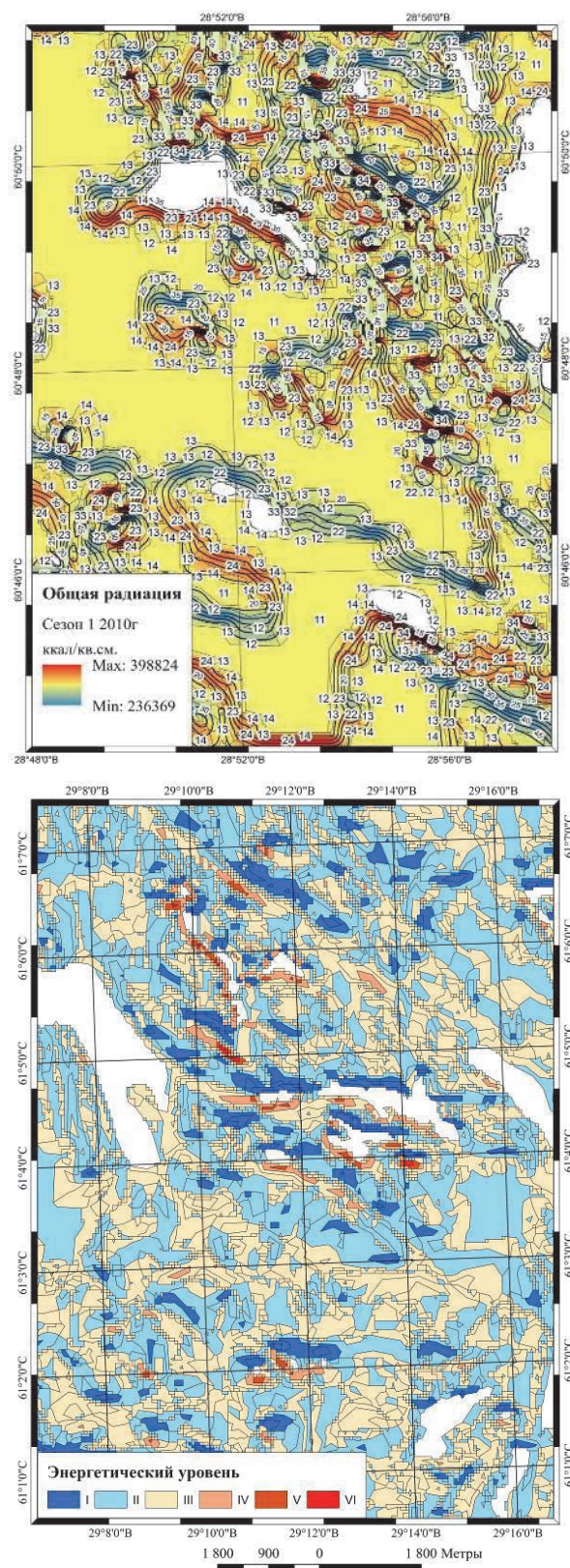


Рис. 6. Слои микроклиматической карты, отражающие тепловые контрасты рельефа (а); результирующая микроклиматическая карта (б)

Заключение

В работе предложена ГИС-технология, которая обеспечивает в высокой степени автоматизированное решение задачи получения информативной микроклиматической карты путем совместной обработки геоинформационными методами цифровых моделей рельефа местности, архивных данных режим-

ных метеонаблюдений и спутниковой регистрации вегетационного индекса растений за ряд лет. Новизна предлагаемой ГИС-технологии обусловлена возможностью использования индикационных свойств полей солнечной радиации и вегетативного индекса растительности для составления карт микроклиматической обстановки. Для подтверждения данного предположения выполнено сопоставление сезонной ритмики изменчивости инсоляции и NDVI на предмет синхронности и взаимоприуроченности. Результаты корреляционного анализа позволили определить индикационные свойства микроклиматических показателей, степень генерализации картографического изображения и выбрать пространственные границы микроклиматического картографирования. Практическое применение предложенной ГИС-технологии позволило получить фрагменты микроклиматических карт в среде «ArcGIS».

Литература

1. Сквазников М.А., Алтухов А.И., Дудин Е.А., Октябрьский В.В. Решение задач экологического мониторинга с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Метеорологический вестник. 2013. Т. 5. № 2. С. 16–22.
2. Алтухов А.И., Коршунов Д.С., Шабakov Е.И. Метод повышения качества снимков космических объектов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 4 (92). С. 35–40.
3. Chertov A.N., Gorbunova E.V., Korotaev V.V., Peretyagin V.S., Serikova M.G. Simulation of the multicomponent radiation source with the required irradiance and color distribution on the flat illuminated surface // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2012. V. 8429. Art. 84290D. doi: 10.1117/12.922104
4. Korotaev V.V., Timofeev A.N., Ivanov A.G. Problems in the development of optoelectronic systems for monitoring displacements of large-sized objects // Journal of Optical Technology. 2000. V. 67. N 4. P. 336–339.
5. Алтухов А.И., Дудин Е.А., Титков Б.В. Технология компрессии изображений больших размеров // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. Т. 1. № 72. С. 46–51.
6. Геня М.Д., Кузнецов А.Д., Мельникова И.Н., Гатебе Ч. Результаты обработки самолетных измерений интенсивности рассеянной солнечной радиации в облачной атмосфере // Ученые записки РГГМУ. 2013. № 27. С. 77–93.
7. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. 278 с.
8. Алтухов А.И., Коршунов Д.С., Семенюта Д.А. Автоматизация процесса векторизации изолиний высот // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2010. № 629. С. 134–138.
9. Воюц В.С., Коршунов Д.С., Сюткин В.В., Щербаков В.М. Зависимость между инсоляцией и вегетационным индексом растительности // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 38. С. 209–214.
10. Воюц В.С., Щербаков В.М. Мониторинг и картографирование пожароопасности природных объектов по показателям температуры приземной атмосферы и показателям тепловых полей // Труды II Всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева. СПб., 2015. С. 411–418.
11. Коршунов Д.С., Воюц В.С. Геоинформационное микроклиматическое картографирование по данным космической съемки и моделирования тепловых полей // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 648. С. 78–83.
12. Воюц В.С., Зарем С., Сюткин В.В., Щербаков В.М. Оценка сезонной изменчивости инсоляции, сумм активных температур и индекса NDVI при агроклиматическом картографировании Выборгского района Ленинградской области // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры, от идеи до внедрения». СПб., 2015.
13. Сюткин В.В., Щербаков В.М. Создание и управление базой метеоданных при моделировании инсоляционного эффекта рельефа // Современные проблемы географии и геоэкологии: материалы международной научной конференции. СПб., 2012. С. 403–410.
14. Суворова В.С., Доронин А.П., Дидык О.И., Шмалько С.А. Методика расчета параметров операции по рассеянию переохлажденных внутримассовых слоистообразных облаков в интересах проведения аэрокосмического мониторинга // Труды I Всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева. СПб., 2014.
15. Суворова В.С., Доронин А.П., Дидык О.И., Шмалько С.А. Повышение оперативности проведения авиа космического мониторинга в северных районах России за счет рассеяния облаков // Труды I Всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева. СПб., 2014.

- Щербаков Владимир Модестович* – кандидат технических наук, доцент, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация, vs1670@yandex.ru
- Алтухов Александр Иванович* – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, aai_51@mail.ru
- Коршунов Денис Сергеевич* – кандидат технических наук, старший преподаватель, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, Korshunov.Denis@rambler.ru
- Воюц Вероника Станиславовна* – инженер-картограф, ООО «Автотор», Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, voyuts.v@gmail.ru
- Vladimir M. Shcherbakov* – PhD, Associate professor, Associate professor, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation, vs1670@yandex.ru
- Alexander I. Altuchov* – PhD, Associate professor, Head of Chair, Mozhaiskiy Military Space Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, aai_51@mail.ru
- Denis S. Korshunov* – PhD, Senior lecturer, Mozhaiskiy Military Space Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, Korshunov.Denis@rambler.ru
- Veronica S. Voyuts* – engineer-cartographer, "Avtodor", Ltd., Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, voyuts.v@gmail.ru