

УДК912.43:004.94:621.311.243+622.271.33(477.75)

ОПЫТ МУЛЬТИКРИТЕРИЙНОГО ГИС МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА КАРЬЕРАХ КРЫМА

Соловьёв А. М.¹, Шумских Н. Н.², Драган Н.А.³

¹*Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa,
Lisboa, Portugal*

²*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: Nik-shum24@yandex.ru*

³*Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Украина*

Выявлены основные предпосылки развития солнечной энергетики в Крыму. Раскрыты проблемы рекультивации открытых разработок. Проведена оценка пригодности карьеров для размещения солнечных электростанций с использованием мультикритерийного ГИС моделирования, в котором использовались следующие критерии: величины солнечной радиации, количества часов солнечного сияния; местоположения карьеров, линий электропередач, автомобильных дорог, природоохранных территорий и растительности.

Ключевые слова: мультикритерийное ГИС моделирование, солнечная электростанция (PV), карьер, рекультивация.

ВВЕДЕНИЕ

Экстенсивная эксплуатация полезных ископаемых Крыма с интенсивным энерго- и ресурсопотреблением сопряжена с рядом негативных экологических последствий. Процесс добычи полезных ископаемых приводит к механическому разрушению почвенно-растительного покрова, нарушению естественного рельефа, химическому загрязнению поверхностных и подземных вод, изменению их режима.

Согласно Земельному Кодексу Украины [1], после завершения срока эксплуатации, открытые разработки подлежат рекультивации. К сожалению, в Крыму в настоящее время рекультивация проводится крайне неэффективно, с нарушением порядка, установленных правил и стандартов. В основном, причиной этого является несовершенство законодательной системы Украины, отсутствие интереса и экономической выгоды горнодобывающих предприятий. В итоге, карьеры забрасываются и переходят в категорию земель запаса. Возникает вопрос о дальнейшем использовании карьеров, представляющие собой нарушенные ландшафты.

Одним из путей экономически и экологически рационального природопользования является использование территорий отработанных и брошенных карьеров для размещения солнечных электростанций и производства электроэнергии.

Крым обладает условиями солнечной энергии близкими Северной Италии и Испании, с общей годовой солнечной радиацией земной поверхности в пределах 1400 кВт/м² в год (5200 МДж/м² в год) [2].

Солнечная энергетика в Украине и в Крыму в настоящее время получает активное развитие благодаря ряду причин:

1) Правовые – принятие Закона Украины «О внесении изменений в некоторые законы Украины относительно установления «зелёного» тарифа» [3].

2) Экономико-политические – солнечная энергетика позволяет обеспечить энергетическую независимость Украины от внешних поставщиков энергоресурсов.

3) Экологические – солнечные электростанции стали экологически чистой альтернативой традиционным источникам энергии, образующим большое количество вредных выбросов в окружающую среду и потенциально опасным для здоровья населения.

По данным директора компании «Activ Solar» Е. Варягина [4], почти 40% электричества, поступающего в Крым, теряется при передаче; он также отмечает что, из-за притока туристов и интенсивного использования кондиционеров потребности в электричестве в течение летних месяцев особенно высокие, что создает отличные предпосылки для развития солнечной энергетики.

Целью данной работы была оценка пригодности карьеров для размещения солнечных электростанций с использованием мультикритерийного ГИС моделирования. Решались следующие задачи: выбор приоритетных критериев для ГИС моделирования; выявление перспективных участков для размещения солнечных электростанций; итоговая оценка пригодности карьеров.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выбора критериев в исследованиях использовались следующие материалы:

- 1) Карта высоковольтных линий электропередач, оцифрованная на основе топографической карты Крыма масштаба 1:100000;
- 2) карта автомобильных дорог Крыма [5];
- 3) карта солнечной радиации – растровый слой, отражающий поступление солнечной радиации на земную поверхность, измеряемое в кВт-ч*м²/год. Эта карта была рассчитана авторами в ArcGIS 10.0 с помощью инструмента Area Solar Radiation tool (Spatial Analyst) на основе данных SRTM с разрешением 90 м. Каждая ячейка карты sol_map_c содержит информацию о солнечной радиации, выраженной в кВт-ч*м²/год;
- 4) карта количества солнечных часов [6];
- 5) размещение внутренних водоемов Крыма [5];
- 6) карта природоохранных территорий и территорий с высоким биоразнообразием [7];
- 7) карты растительности, застройки, промышленности, аэропортов [5];
- 8) местоположения карьеров Крыма – векторный слой, составленный авторами по данным КП «Южэкогеоцентр» [8].

Анализ материалов позволил выбрать следующие критерии (табл. 1). В таблице представлены названия векторных слоёв, их формат, дано краткое описание и источник данных. В последнем столбце приведены идеальные условия, которые будут влиять на результат итоговой модели. Всего было выделено 8 критериев. Для первых четырёх, как наиболее показательных в отношении моделирования определен вес.

Таблица 1

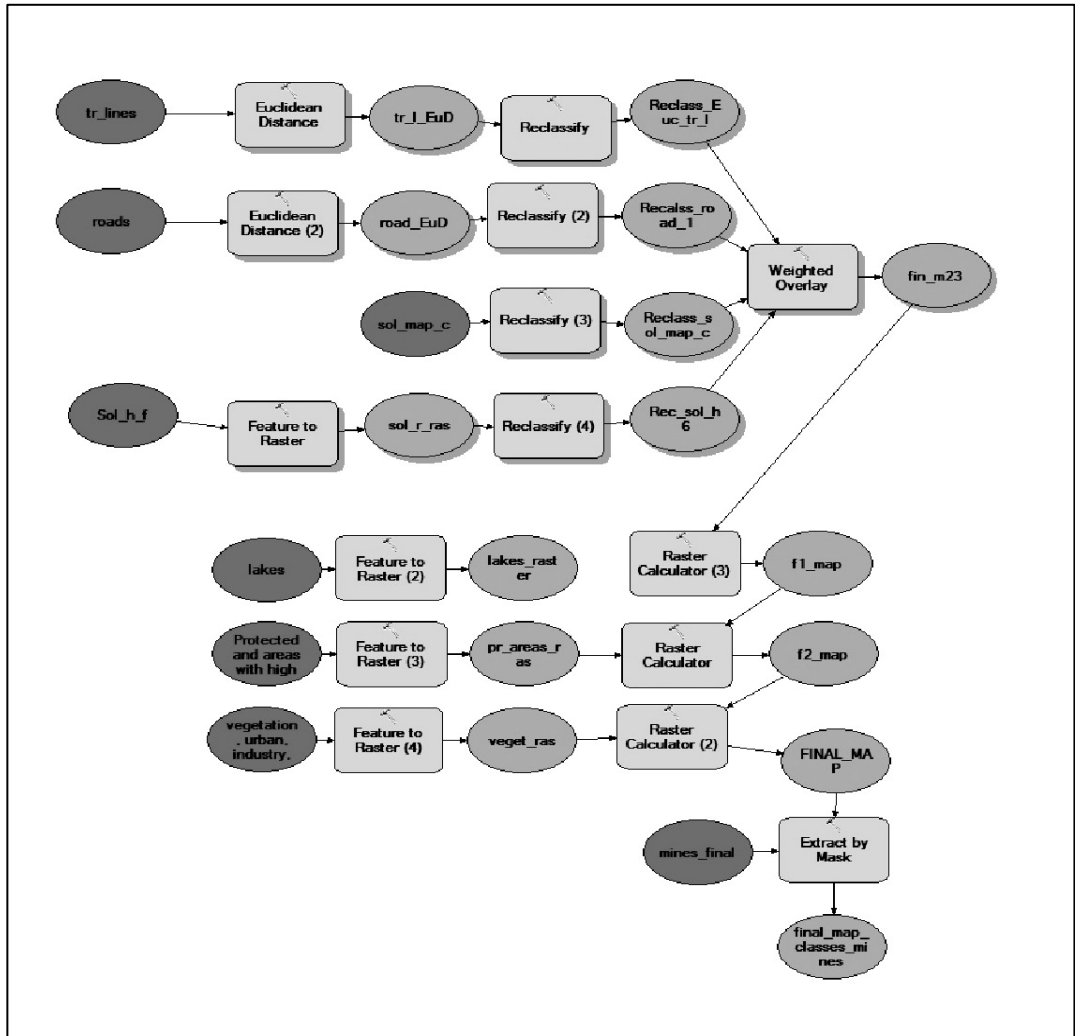
Критерии для размещения солнечных электростанций на карьерах Крыма

Название векторного слоя	Формат	Описание	Источник	Идеальные условия
tr_lines	shapefile	Высоковольтные линии электропередач	Топографическая карта Крыма 1:100000	Близость к линиям электропередач
Roads	shapefile	Автомобильные дороги	Open source data ¹	Близость к дорогам
sol_map_c	TIFF	Карта солнечной радиации (кВт·ч/м²/год)	Построена на основе SRTM 90 м)	Максимальное значение
sol_h_f	shapefile	Количество часов солнечного сияния	Климатический атлас Крыма, 2000	Максимальное значение
Lakes	shapefile	Внутренние водоемы	open source data ¹	Исключение данных
Protected land	shapefile	Заповедники и территории с высоким биоразнообразием	Атлас Крыма, 2003	Исключение данных
vegetation, urban, industry	shapefile	Растительность, функциональные территории	open source data ¹	Исключение данных
mines_final	shapefile	Карта карьеров Крыма	КП "Южэкогеоцентр"	-

Примечание: ¹ – с изменениями авторов.

Вес компонентов модели в инструменте «Наложение по весу» был присвоен на основании работ авторов Janke J., 2010 [9], и Cabral P., 2012 [10]. Результат оценки пригодных участков для размещения солнечных электростанций (рис.2) зависит от веса критериев (табл. 1). Так для солнечной радиации вес критерия составляет 50%, для высоковольтных линий электропередач и количества часов солнечного сияния значение веса принято по 20%, вес в модели для автомобильных дорог принят за 10%. Под форматом в табл. 1 понимается спецификация структуры данных, записанных в компьютерном файле.

Для оценки пригодности карьеров с точки зрения размещения солнечных электростанций использовалось мультикритерийное ГИС моделирование. Этот метод может быть определен как набор различных ГИС инструментов для анализа географических явлений, где результаты принятия решений зависят от пространственного расположения этих явлений. Пространственный мультикритерийный анализ является частью широко известного пространственного анализа [11].



Примечание: все надписи представлены на английском языке, так как расчёты производились в оригинальной версии программы ArcGIS 10.

Рис. 1. Схема мультикритерийного ГИС моделирования размещения солнечных электростанций (PV) на карьерах Крыма

На схеме (рис.1) продемонстрированы последовательные этапы моделирования оценочной карты пригодности карьеров для размещения в них солнечных электростанций. Схема наглядно отражает процесс мультикритерийного ГИС моделирования. Применялся ряд инструментов ГИС: feature to raster (вектор в растр), Euclidean distance (Эвклидово расстояние), reclassify (переклассификация), weighted overlay (наложение по весу) extract by mask (извлечение по маске), raster calculator (калькулятор растра).

Инструмент «Вектор в растр» применяется для обработки и преобразования векторных данных (полигон, точка или полилиния) в растровые.

Инструмент «Эвклидово расстояние» предоставляет возможность рассчитать расстояние от каждой ячейки в растре к ближайшему источнику (например, расстояние к ближайшему населённому пункту).

Инструмент «Переклассификация» применяется для изменения значений в растре.

Инструмент «Наложение по весу» используется для наложения (объединения) нескольких растров на основании общей измерительной шкалы и «взвешивает» каждый растр по его значимости.

Инструмент «Извлечение по маске» применяется для извлечения тех ячеек растра, которые соответствуют областям, определяемым маской.

Инструмент «Калькулятор растра» позволяет производить элементарные математические действия между двумя растрами.

Один из широко известных способов преобразования лучистой энергии Солнца называется фотовольтаикой или PV. Этот метод заключается в выработке электрической энергии путем использования фоточувствительных элементов для преобразования солнечной энергии в электричество [12].

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результатом мультикритерийного ГИС моделирования является оценочная карта Крыма, показывающая нахождение территорий в разной степени подходящих для размещения солнечных электростанций (рис.2).

Белым цветом обозначены территории, для которых расчеты не производились, т.к. данные территории не соответствуют требованиям установки солнечных батарей (густота древесной растительности, сложность рельефа, наличие природоохранных территорий и др.). Для некоторых территорий (например, район г. Армянска), расчеты не производились, так как отсутствуют спутниковые данные. Разрешение растрового изображения пригодных участков для размещения солнечных электростанций (рис.2) составляет 600 метров.

Согласно данным КП «Южэкогеоцентр» [8], на территории Крыма находится 175 месторождений твердых полезных ископаемых. При сопоставлении пригодных участков для размещения солнечных электростанций (рис.2) и векторного слоя местоположений карьеров Крыма была получена итоговая модель распределения карьеров по классам пригодности для развития солнечной энергетики (рис. 3).

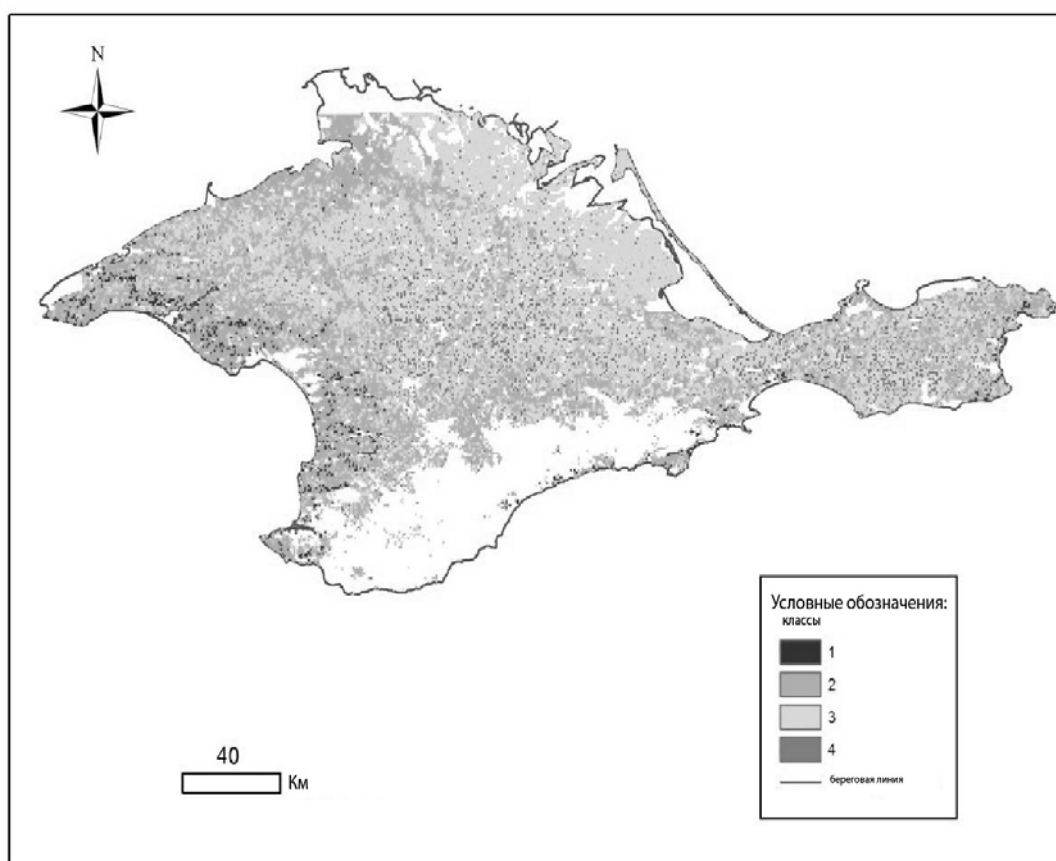


Рис. 2. География пригодных участков для размещения солнечных электростанций

Модель создана автоматически с помощью инструмента «Наложение по весу». Она имеет 4 качественно различающихся класса, которые располагаются в порядке убывания пригодности и соответствуют уменьшению интенсивности окраски на рис.2. Территории, отвечающие, классу 1, являются наиболее пригодными, т. к. соответствуют самым высоким значениям поступающей солнечной радиации, количеству солнечных часов, близости к линиям электропередачи и дорогам.

Территории класса 2 – являются пригодными, 3 – менее пригодными, 4 – малопригодными для размещения солнечных электростанций.

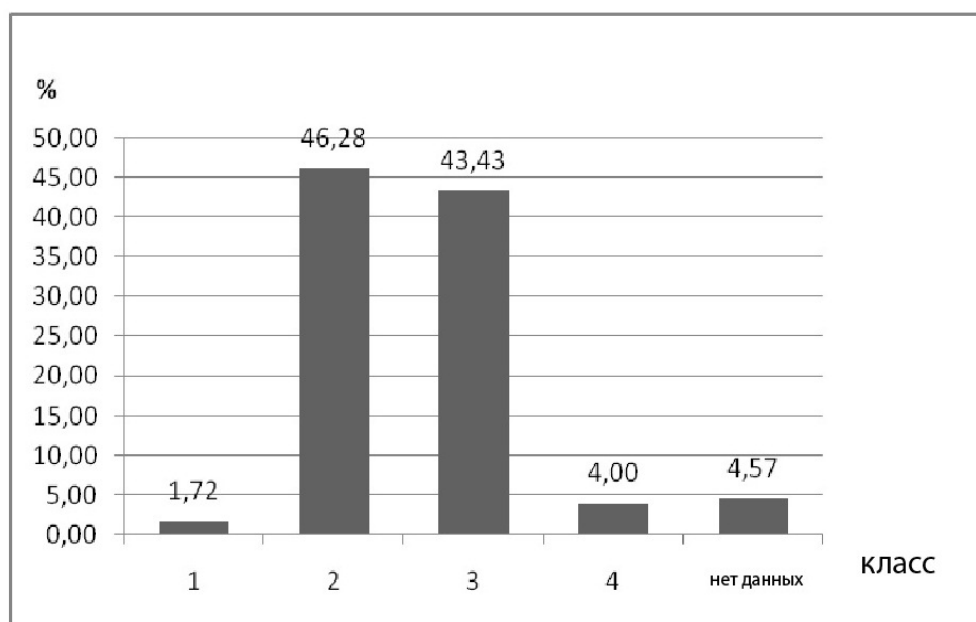


Рис. 3. Процентное распределение карьеров Крыма по классам пригодности для развития солнечной энергетики

На рис. 3 представлено соотношение карьеров разных классов пригодности для размещения в них солнечных электростанций по их количеству и в %%. К классу 1 (наиболее пригодные) относится всего 3 карьера (1,72%). К классу 2 (пригодные) принадлежит 81 карьер (46,28%). Класс 3 (менее пригодные) включает 76 карьеров (43,43%). Класс 4 представлен 7 карьерами (4%). По 8 карьерам (4,57%) отсутствуют данные для расчёта оценки.

В качестве примера на рис. 4 показано нахождение месторождений с карьерами разных классов.

Оленевское и Кадыковское месторождения соответствуют классу 1, Наумовское – классу 2, Степновское и Семь Колодезей – классам 3 и 4.

В табл. 2 представлены данные по площадям некоторых карьеров, общей годовой солнечной радиации, поступающей на поверхность карьеров и состоянию современной промышленной освоенности.

Таблица 2

Характеристика некоторых карьеров с разными классами пригодности

№	Название карьера	Площадь (м²)	Класс	Общая годовая солнечная радиация (кВт*м²/год)	Степень освоенности
1	Оленевское	63856,1	1	1131	нет данных
2	Кадыковское	931140,4	1	1094	отработанный
3	Наумовское	801597,4	2	1135	отработанный
4	Степновское	104420,7	3	1089	отработанный
5	Семь Колодезей	40544,6	4	1121	нет данных

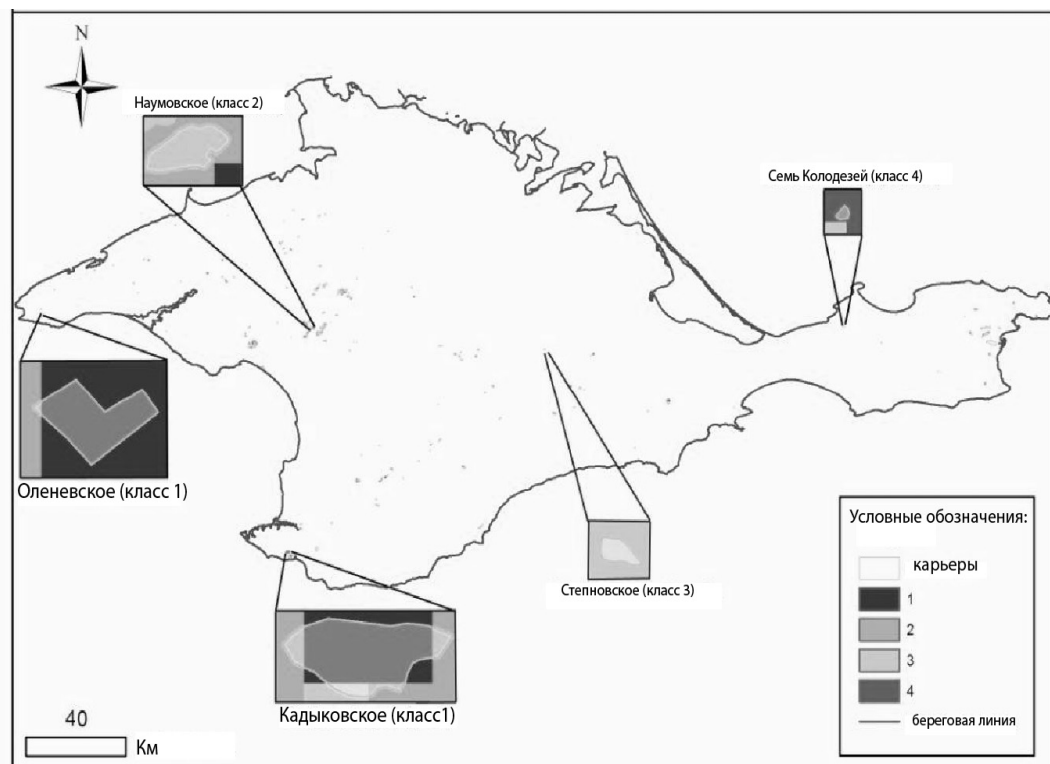


Рис. 4. Примеры размещения некоторых карьеров согласно классам пригодности к использованию в солнечной энергетике

ВЫВОДЫ

Мультикритерийное GIS моделирование было использовано с целью оценки пригодности карьеров для размещения солнечных электростанций.

Результаты исследования показали, что наиболее пригодными территориями для размещения солнечных электростанций в основном является западное побережье Крыма (от г. Севастополя до полуострова Тарханкут (см. рис. 2)). Согласно разработанной оценке наиболее пригодными для установки PV являются Кадыковское, Оленевское, Баксинское месторождения (класс 1), составляющие 2% от общего количества карьеров. Около 90% всего числа карьеров почти в равных долях относятся к классам 2 и 3. Из них к слабопригодным принадлежат карьеры Кипчакского, Каменского месторождений (класс 2), Камышинское, Белогорское, Семь Колодезей, Гришинское, Медведевское (класс 4).

Вместе с тем, очевидно, что для каждого карьера следует проводить дополнительные исследования. В перспективе для более точной оценки пригодности карьеров необходимо вводить дополнительные критерии в ГИС моделировании (экспозиция и крутизна склонов, расстояние до городов, средняя температура, тип землепользования, гидрогеологические и геодинамические

процессы и др.). Кроме мультикритерийного анализа необходим учёт экономических показателей: стоимостной оценки и рентабельности размещения солнечных батарей.

Эта статья может быть полезна инвесторам и всем, кто интересуется развитием солнечной энергетики в Крыму.

Список литературы

1. Земельний Кодекс України: за станом на 25 жовт. 2001 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Відомості Верховної Ради України від 25. 01. 2002 — 2002, № 3, ст. 27.
2. Боков В.А. Климат Крыма / В. А. Боков, Г. К. Гушин // Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма. Симферополь : Доля, 2009. – С. 49-54.
3. Закон України про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення «зеленого» тарифу: за станом на 25 вер. 2008 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Відомості Верховної Ради України від 27.03.2009 — 2009, № 13, Ст. 155, С. 446.
4. Large-scale PV comes to the Ukraine: Active Solar's Ohotnikovo and Perovo PV plants [Electronic resource] / Christian Roselund // Solar Server. Global Solar Industry Website. – Available at: <http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-energy-system-of-the-month/large-scale-pv-comes-to-the-ukraine-activ-solars-ohotnikovo-and-perovo-pv-plants.html>.
5. Cloud Made: Open source edited data. [Electronic resource]. – 2011. – Available at: http://downloads.cloudmade.com/europe/eastern_europe/ukraine/crimea#downloads_breadcrumbs.
6. Ведь И. П. Климатический атлас Крыма: приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику "Вопросы развития Крыма". – Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. – 120 с.
7. Атлас. Автономная Республика Крым / [под ред. Н. В. Багрова, Л. Г. Руденко]. – К. — Симферополь, 2003. – 76 с.
8. Минеральная сырьевая база Автономной Республики Крым по состоянию на 01.01.2012 года (месторождения твёрдых полезных ископаемых): фондовые материалы. – Симферополь: КП Южэкогеоцентр, 2012.
9. Janke J. R. Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado / J. R. Janke. // Renewable Energy. 2010. – No 35. – P. 2228-2234.
10. Cabral P. Modeling ideal areas for solar development in Alentejo / P. Cabral, S. Rodrigues , M. Valverde // 2nd International Workshop on Renewable Energy, Azores: Universidade dos Acores. – 2012.
11. Malczewski J. GIS and Multicriteria Decision Analysis / J. Malczewski. – John Wiley & Sons, Inc., 1999. – 342 p.
12. Photovoltaics: Wikipedia. [Elektronic resource]. – 2013. – Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic>.

Соловйов О. М. Досвід мультикритерійного ГІС моделювання розміщення сонячних електростанцій на кар'єрах Криму / О. М. Соловйов, М. М. Шумських, Н. О. Драган // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія. – 2013. – Т. 26 (65), № 2. – С. 97–106.

Виявлені головні передумови розвитку сонячної енергетики в Криму. Розкриті проблеми рекультивації відкритих розробок. Проведена оцінка придатності кар'єрів для розміщення сонячних електростанцій з використанням мультикритерійного ГІС моделювання, в якому були використані наступні критерії: величини сонячної радіації, кількості годин сонячного сяйва, місцезнаходження кар'єрів, лінії електропередач, автомобільні шляхи, природоохоронні території та рослинність.

Ключові слова: мультикритерійне ГІС моделювання, сонячна електростанція (PV), кар'єр, рекультивація.

Soloviov A. M. Experience of Multicriteria GIS Modeling of Solar Farms Distribution on Quarries of the Crimea / A. M. Soloviov, N. N. Shumskikh, N. A. Dragan // Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2013. – V. 26 (65), No 2. – P. 97–106.

Prerequisites for the development of solar energy in the Crimea were defined. The problems of open mines restoration were considered. Suitability of open mines for distribution of solar farms was estimated using GIS multicriterial analysis. For this method the following criteria was used: solar radiation values, number of solar hours, distribution of the open mines, transmission lines, roads, protected areas and vegetation.

Keywords: multicriterial GIS modeling, solar power (PV), quarry, restoration.

Поступила в редакцию 03.04.2013 г.