Опыт оценочного геоинформационного картографирования состояния ландшафтных ресурсов по материалам спутникового зондирования на примере провинции Ирана Хузестан

С. Зареи¹, В.А. Малинников¹, В.М. Щербаков², А. Насири³

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии Москва, 105064, Россия E-mail: zareie_sajad@yahoo.com ² Санкт-Петербургский государственный университет Санкт-Петербург, 199034, Россия E-mail: vs1570@yandex.ru ³ Государственный университет по землеустройству, Москва, 105064, Россия E-mail: abuzarnasiri@gmail.com

Геоинформационные технологии оценочного картографирования, предусматривающие использование материалов спутниковой съемки, независимо от тематики анализа исходных данных кардинально повышают информативность и объективность представления географической информации. Оценочная карта, являющаяся результирующей частью базы геоданных, служит документом, удостоверяющим результаты природопользования и состояние природно-ландшафтных ресурсов, наблюдаемых из космоса. К достаточно распространенным характеристикам земной поверхности, фиксируемым спутниковой аппаратурой, относятся радиационная полуденная температура земной поверхности t и растительный индекс NDVI. В работе рассматривается геоинформационная технология составления синтетических оценочных карт, основу которых составляют многокритериальный анализ и расчет интегрального показателя в качестве средневзвешенной суммы параметров t и NDVI, которые фиксируются для определенных типов элементарных участков земной поверхности во время десяти сеансов космической съемки в соответствующем году мониторинга. Представленное оценочное картографирование предусматривает векторное полигональное моделирование рельефа и формализованную типизацию элементарных поверхностей, соответствующих, как правило, элементарным морфологическим единицам ландшафтов (фациям) с детализацией их пригодности для эксплуатации сельскохозяйственной техники. Создаваемые оценочные карты предназначаются для обоснования инвестиций, например, при территориальном планировании эксплуатации природных ресурсов.

Ключевые слова: геоинформационное оценочное картографирование, многокритериальный анализ, радиационная полуденная температура земной поверхности, растительный индекс NDVI

Одобрена к печати: 15.09.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-119-127

Введение

Геоинформационные технологии картографирования, благодаря постоянно расширяющемуся набору инструментов моделирования природных явлений, представляют все больше возможностей для составления оценочных карт. В проведенных исследованиях опробована последовательность выполнения ряда процедур в системе ArcGIS, предназначенных для обработки материалов спутниковой съемки, моделирования рельефа земной поверхности, параметризации элементарных поверхностей и их формализованной классификации (типизации). Работа проведена с целью картографирования территории провинции Ирана Хузестан, представленной как землями, отнесенными к отдельным административным единицам, так и природными территориальными образованиями, обладающими определенным состоянием природных ресурсов. Методика такого оценочного геоинформационного картографирования должна служить основой технологии создания документов, удостоверяющих результаты существующего природопользования, а так же служащих обоснованием для планирования предстоящей эксплуатации земель.

Провинция Хузестан является типичным примером экстремально засушливых районов мира. На данной территории широко представлены как гористые, так и равнинные ландшафты (в том числе пустынные и полупустынные). Нередко наблюдаются солонцы, солончаки и соляные купола. С точки зрения продуктивности выращиваемых агрокультур, летние температуры земной поверхности являются фактором, скорее препятствующим насыщению корнеобитаемого слоя влагой. Количество осадков, накапливаемых за год, на севере и северовостоке территории достигает 995–1100 мм, на юге и юго-западе не превышает 150–250 мм, в то время как испаряемость в разные годы колеблется от 2000 до 4000 мм.

Формализованное представление земной поверхности и параметризация элементарных поверхностей по данным космических съемок

Исходными данными для подготовки картографической основы по территории Хузестана послужили архивные топографические карты масштаба 1:200 000. Слой специального содержания, представляющий рельеф, создан моделированием полигонов, построенных стандартными функциями ArcGIS. Для чего, используя характерные высотные отметки, указанные на топографической основе, выполнены следующие процедуры: 1) создание растровой модели земной поверхности (Arc Toolbox → Инструменты 3D Analyst → Интерполяция растра → Сплайн с барьерами); 2) построение растров уклонов и экспозиций с указанием номеров диапазонов значений (Arc Toolbox → Инструменты 3D Analyst → Растровая модель поверхности → Уклон или Экспозиция); 3) переклассификация растров уклонов и экспозиций (Arc Toolbox - Инструменты 3D Analyst - Переклассификация растра - Переклассифицировать); 4) наложение моделей уклонной и экспозиций (Arc Toolbox → Инструменты Spatial Analyst → Алгебра карт → Калькулятор растра). Полигональная модель представляет собой совокупность элементарных участков земной поверхности, характеризующихся диапазонами значений уклона (до 1°, от 1 до 3°, от 3 до 6°, от 6 до 10°, от 10 до 15°, от 15 до 20°, от 20 до 30°, выше 30°) и экспозиции (Север, Запад или Восток, Юг). Данная совокупность формализовано типизированных полигонов, как правило, соответствует элементарным морфологическим единицам ландшафтов (фациям) с детализацией их пригодности для эксплуатации сельскохозяйственной техники. Статистика элементарных поверхностей представлена в *табл*. 1.

Слои специального содержания, представляющие результаты космической съемки, созданы обработкой спутниковых данных (Ярыгина, 2011; Jinqu et al., 2006; Johnson et al., 2012; Qihao et al., 2004; Ulivieri et al., 1994; Zareie et al., 2016), взятых с сайта https://earthexplorer.usgs. gov/. Изображения, получаемые бортовым сканером, подвергались соответствующим коррекциям, компоновались в мозаики, регистрировались в картографической проекции UTM (36-й зоны северного полушария) в системе координат WGS-1984. Материалы дистанционного мониторинга включены в геобазу данных ArcGIS в качестве библиотеки из 60 растровых изображений радиационной температуры *t* земной поверхности и 60 растровых изображений

растительного индекса *NDVI*. Изображения получены со спутников Landsat-7 и Landsat-8 в 2011–2016 гг. и датированы числами 16.04; 02.05; 18.05; 03.06; 19.06; 05.07; 21.07; 06.08; 22.08; 07.09.

Nº muna	Индекс формализо- ванного типа	Уклон	Экспозиция	Полигонов	Площадь, км ²	%
1	11	Равнина	Равнина	54685	488,2	0,76
2	22		Север	306 895	7 022,7	10,97
3	23	до 1° или до 1,75%	Восток, Запад	322714	15879,4	24,80
4	24	1,7570	Юг	324 579	7 903,5	12,34
5	32	от 1 ло 3° или	Север	125 188	2 586,8	4,04
6	33	от 1,75° до 5,24%	Восток, Запад	246845	6080,1	9,50
7	34		Юг	148557	3 4 7 4,4	5,43
8	42	от 3до 6° или от 5,24 до	Север	58489	1170,4	1,83
9	43		Восток, Запад	123 429	2781,8	4,34
10	44	10,51%	Юг	71241	1 567,6	2,45
11	52	от 6 до 10° или от 10,51 до 17,63%	Север	46 568	870,8	1,36
12	53		Восток, Запад	99 572	2 0 2 8,2	3,17
13	54		Юг	56838	1 1 3 4,4	1,77
14	62	от 10 до 15° или от 17,63 до	Север	37724	725,1	1,13
15	63		Восток, Запад	80137	1655,5	2,59
16	64	26,79%	Юг	45 169	904,2	1,41
17	72	от 15 до 20°	Север	28901	519,0	0,81
18	73	или от 26,79 до	Восток, Запад	62690	1 198,7	1,87
19	74	36,40%	Юг	34093	633,3	0,99
20	82	от 20 до 30°	Север	19553	749,2	1,17
21	83	или от 36,40 до 57,74%	Восток, Запад	40171	1 674,2	2,61
22	84		Юг	21 576	879,9	1,37
23	92	200	Север	5 4 5 8	500,9	0,78
24	93	выше 30° или выше 57 74%	Восток, Запад	11 495	1067,3	1,67
25	94		Юг	6169	535,5	0,84
	64031,1	100,00				

Таблица 1. Типизация и статистика элементарных поверхностей

Пользуясь стандартным средством ArcGIS (Arc Toolbox \rightarrow Инструменты Spatial Analyst Arc Toolbox \rightarrow Зональные Arc Toolbox \rightarrow Зональная статистика в таблицу), каждому типу элементарных поверхностей для соответствующих дат были присвоены значения радиационной температуры и индекса *NDVI*. Таким образом, по шести годам космического мониторинга получено шесть сценариев динамики состояния ландшафтов Хузестана в период с апреля по сентябрь. Динамика *t* указывает на микроклиматические особенности местообитания растений, динамика индекса *NDVI* — на изменчивость фотосинтетической активности листового

аппарата растительных сообществ, что является индикатором определенной фенофазы развития фитопродукции (Калинин и др., 2010; Лиджиева и др., 2012).

Обобщенный учет параметров *NDVI* и *t*° проведен расчетом средневзвешенного значения интегрального показателя в качестве балльной оценки (индикатора *lind*) состояния природно-ландшафтных ресурсов по формуле:

$$Iind = \sum C_m t'_m + \sum C_n NDVI_n,$$

где $\sum C_m + \sum C_n = 1$ — сумма коэффициентов взвешивания; *m*, *n* — номера сеансов космической съемки, меняющиеся от 1 до 10; *t*' — нормированная специальным образом полуденная радиационная температура земной поверхности.

Нормирование значения t' выполнено в Excel и основано на следующем. Допущено, что при отрицательных значениях $t^{\circ} > 0$ °C вегетация растений не происходит. Вегетация на суше угасает также при t > 55 °C. При расчетах нормированной температуры земной поверхности полученная спутниковой аппаратурой радиационная температура нормировались по специальной функции. Температура до +5 °C и выше +55 °C обнулялась как экстремальная. Температура от +18 до +25 °C приравнивалась к единице как оптимальная. В диапазоне исходных значений t от +5 до +18 °C нормированная величина увеличивалась от 0 до 1 по возрастающему кубическому сплайну, в диапазоне исходных значений t от +25 до +55 °C нормированная величина уменьшалась от 1 до 0 по убывающему кубическому сплайну.

Вычисление *lind* с учетом изменений от сеанса к сеансу космической съемки t'_m и *NDVI*_n проведено в программе Признак (Авере и др., 2005). В данной программе предусмотрено преобразование значений наблюдаемых исходных величин в балльные оценки по шкале, закрытой снизу. Это означает, что наименьшее значение *lind* принято за нуль, тогда как максимальное значение определяется степенью превосходства максимума над минимумом и обычно больше единицы. Значения коэффициентов взвешивания C_m для группы температурных показателей *NDVI* представлены в *maбл. 2*.

Весовые коэффициенты определения сезонных нормированных температур земной поверхности С _{ті}										
C_{m1}	C_{m2}	<i>C</i> _{<i>m</i>3}	C_{m4}	C_{m5}	C_{m6}	<i>C</i> _{<i>m</i>7}	<i>C</i> _{<i>m</i>8}	C_{m9}	<i>C</i> _{<i>m</i>10}	Σ
0,073	0,065	0,058	0,051	0,044	0,036	0,029	0,022	0,015	0,007	0,400
Весовые коэффициенты определения сезонных NDVI C _{ni}										
C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	C_{n4}	C_{n5}	C_{n6}	C_{n7}	C_{n8}	C_{n9}	C_{n10}	Σ
0,011	0,022	0,033	0,044	0,055	0,065	0,076	0,087	0,098	0,109	0,600

Таблица 2. Сезонные весовые коэффициенты при определении *lind*

Приведенные весовые коэффициенты являются величинами, субъективно назначаемыми специалистом в области оценочного картографирования ландшафтов. В программе Признак предусмотрен механизм дисперсионного анализа, реализующего классификацию объектов, подлежащих интегральной оценке. При определении условий статистически расчетов (дисперсионного анализа) указывается: зависимы или независимы анализируемые данные, а также уровень критической вероятности, задающий критическое значение, при превышении которого сравниваемые объекты относятся к разным классам. Коэффициенты C_m и C_n подбираются пользователем программы эмпирически таким образом, чтобы в результате дисперсионного анализа объекты с близкими значениями t' и NDVI оказались в общих классах, в то время как объекты с существенно разными значениями t' и NDVI оказались в разных классах. Быстрота такого эмпирического подбора коэффициентов C_m и C_n определяется опытом эксперта. Для повышения репрезентативности оценочного картографирования методикой многокритериальной оценки предусмотрен либо ряд сценариев расчета (включая решение классификационной задачи) одним специалистом, либо привлечение ряда специалистов, использующих общий набор объектов оценивания и общее дерево признаков.

Итоговые балльные оценки элементарных морфологических единиц ландшафтов и их распределение по уровням *lind* представлены в *maбл. 3*.

lind, уровень	Номер типа	Iind, балл	Tun	Iind, уровень	Номер типа	Iind, балл	Tun
	23	1,067	92		16	0,219	64
I	20	0,946	82	IV	11	0,198	52
	24	0,929	93		12	0,158	53
	21	0,741	83		5	0,098	32
	17	0,660	72	V	13	0,094	54
II	25	0,588	94		6	0,089	33
	18	0,529	73	VI	7	0,070	34
	22	0,509	84		8	0,050	42
	1	0,466	11	V I	9	0,024	43
	14	0,418	62		10	0,000	44
	4	0,404	24		<u>^</u>		
III	3	0,398	23				
	2	0,392	22				
	19	0,353	74				
	15	0,337	63]			

Таблица 3. Типы элементарных поверхностей, ранжированных по интегральному индикатору состояния природно-ландшафтных ресурсов *lind*

Картографическое представление уровней I–VI и диапазонов значений *lind* основано на оценке сходства или различия между отдельными типами элементарных поверхностей, параметризованных величинами интегрального индикатора. Сравнительный анализ выполнен со статистической погрешностью, соответствующей 95%-й доверительной вероятности. Статистические расчеты показали, что образующиеся классы элементарных поверхностей

являются пересекающимися. Тем не менее, если все 25 типов элементарных морфологических единиц ландшафтов проранжировать по *Iind*, тогда границы классов можно установить по характерным перегибам графика *Iind* (*puc. 1*).



Рис. 1. Ранжирование элементарных поверхностей земной поверхности по интегральной оценке состояния природно-ландшафтных ресурсов Iind

Технология построения оценочных карт

Картографическая иллюстрация элементарных поверхностей земной поверхности, параметризованных интегральной характеристикой состояния природно-ландшафтных ресурсов *lind*, реализовано способом картограммы. Для этого в атрибутивной таблице слоя *lind*, отражающей отдельными записями типы элементарных морфологических единиц ландшафтов, в полях «Уровень» и «Балл» требуется занести соответствующие значения (*puc. 2*).

Не менее важной частью изображения на карте являются границы административных районов провинции. При крупномасштабном картографировании аналогичное отражение должны найти и границы хозяйствующих субъектов, эксплуатирующих земельные угодья в качестве средств сельскохозяйственного производства. Как единицы административного деления территории, так и лесохозяйственные, пастбищные, пропашные или другие агропроизводственные землевладения (или территории, выделенные соответствующими кадастровыми классификационными показателями) также могут быть параметризованы изменчивостью отдельных и комплексных показателей состояния компонентов ландшафта.

Результаты сбора и обработки материалов космической съемки, моделирования земной поверхности, многокритериального оценочного анализа элементарных морфологических единиц ландшафтов сохраняются в ГИС как база геоданных. Накопление рядов данных производится до достижения статистически обоснованных значений средних величин, соответствующих критериальным характеристикам случайных отклонений. Показатели динамики состояния природно-ландшафтных ресурсов *lind* служат основанием ранжирования единиц деления картографируемой территории по задаваемой балльной шкале продуктивности биогенных и значимости абиогенных компонентов природно-территориальных образований. В соответствии с установленными рангами осуществляются инвестиции в территории при территориальном планировании природопользования и оптимизации эксплуатации природных ресурсов.



Рис. 2. Фрагмент карты провинции Хузестан. Слои элементарных поверхностей земной поверхности и административных районов. Масштаб 1: 100 000

Заключение

Из приведенных результатов среднемасштабного оценочного картографирования формализовано выделенных элементарных поверхностей земной поверхности следует:

1) представляемый интегральный показатель *lind* служит балльной оценкой динамики состояния природно-ландшафтных ресурсов в периоды между сеансами спутникового мониторинга территории картографирования, рассчитанной при шести сценариях статистического анализа:

2) поверхности с уклоном до 1°, составляющие 49% территории провинции, относятся к элементарным морфологическим единицам ландшафтов, обладающим балльной оценкой III уровня. Поверхности с уклоном от 1 до 3° составляют 19% территории и относятся к малопродуктивным землям (V и VI уровни балльной оценки). Наибольшими баллами состояния природно-ландшафтных ресурсов (I уровень) характеризуются относительно крутосклоновые поверхности, которые занимают 3,6% от всей площади провинции;

3) управление весовыми коэффициентами, используемыми при расчете lind, следует рассматривать как способ экспертного учета значимости отдельных факторов, слагаемых в интегральный параметр и как способ учета их влияния в отдельные временные периоды.

Литература

- 1. Авере Д., Афанасьев В.А., Васильев П.С., Паниди Е.А., Щербаков В.М. Методика и вычислительные средства экспертно-оценочного картографирования результатов комплексной оценки городских почв // Теория и практика эколого-географических исследований: сб. ст. / под ред. В.В. Дмитриева и др. СПб.: ТИН, 2005. C. 571–591.
- 2. Калинин Н.А., Пьянков С.В., Свиязов Е.М., Смирнова А.А. Технология комплексной оценки фитомассы сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования земли // Вестн. Удмуртского ун-та. Биология. Науки о Земле. 2010. Вып. 4. С. 11-18.
- 3. Лиджиева Н.Ц., Уланова С.С., Федорова Н.Л. Опыт применения индекса вегетации (NDVI) для определения биологической продуктивности фитоценозов аридной зоны на примере региона Черные земли // Известия Саратовского ун-та. 2012. Т. 12. Сер. Химия. Биология. Экология. Вып. 2. С. 94–96.
- 4. Ярыгина Н.Б. Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства // Геоматика. 2011. № 3. С. 34-39.
- 5. Jingu Z., Yunpeng W., Yan L. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ ETM+ band 6 // Computers and Geosciences. 2006. No. 32. P. 1796-1805.
- Johnson B., Tateishi R., Kobayashi T. Remote Sensing of Fractional Green Vegetation Cover Using Spatially-Inter-polated Endmembers // Remote Sensing. 2012. No. 4. P. 2619–2634. 6.
- Qihao W., Dengsheng L., Jacquelyn S. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship 7. for urban heat island studies // Remote Sensing of Environment. 2004. No. 89. P. 467–483. *Ulivieri C., Castronuovo M.M., Francioni R., Cardillo A*. A split window algorithm for estimating land surface tem-
- 8. perature from satellites // Advances in Space Research. 1994. No. 14. P. 59-65.
- 9. Zareie S., Khosravi H., Nasiri A., Dastorani M. Using Landsat Thematic Mapper (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran // Solid Earth. 2016. No. 7. P. 1551–1564.

Experience of assessment geoinformation mapping of landscape resources state based on satellite data by the example of the Khuzestan province of Iran

S. Zareie¹, V.A. Malinnikov¹, V.M. Sherbakov², A. Nasiri³

¹Moscow State University for Geodesy and Cartography, Moscow 105064, Russia E-mail: zareie_sajad@yahoo.com ²Saint Petersburg State University, Saint Petersburg 199034, Russia E-mail: vs1570@yandex.ru ³State University of Land Use Planning, Moscow 105064, Russia E-mail: abuzarnasiri@gmail.com

Geoinformation technologies of assessment mapping with use of satellite imagery materials, regardless of the analysis subject, dramatically increase the information value and objectivity of geographical information presenting. The assessment map, which is the resulting part of a geodatabase, serves as a document certifying the results of nature-using and state of natural-landscape resources observed from space. Land surface radiation midday temperature t° and NDVI vegetation index are common land surface characteristics that can be derived from satellite data. In the present paper, we consider geoinformation technology of compiling synthetic assessment maps which are based on multi-criteria analysis and calculation of integral indicator as the weighted-average sum of t° and NDVI, which are fixed for certain types of elementary sections of the land surface during ten sessions of satellite imaging in the corresponding year of monitoring. The presented assessment mapping includes vector polygonal modeling of the relief and formalized typing of elementary surfaces corresponding, as a rule, to the elementary morphological units of the landscapes (facies), with detalisation of their suitability for the employment of agricultural machinery. The created assessment maps are intended to justify investments, for example, when territorial planning of natural resources exploitation.

Keywords: geoinformation assessment mapping, multi-criteria analysis, land surface radiation midday temperature, vegetation index NDVI

Accepted: 15.09.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-119-127

References

- 1. Avery D., Afanasiev V.A., Vasilyev P.S., Panidi E.A., Shcherbakov V.M., Metodika i vychislitel'nyye sredstva ekspertno-otsenochnogo kartografirovaniya rezul'tatov kompleksnoy otsenki gorodskikh pochv (Methodology and computing resources of expert and assessment mapping results of the complex assessment of urban soils), *Theory and practice of ecological and geographical researches, Saint Petersburg*, TIN, 2005, pp. 571–591.
- Kalinin N.A., Pyankov S.V., Šviyazov E.M., Smirnova A.A., Tekhnologiya kompleksnoy otsenki fitomassy sel'skokhozyaystvennykh kul'tur po dannym distantsionnogo zondirovaniya zemli (Technology of phytomass integrated assessment of agricultural crops according to the data of earth remote sensing), *Bulletin of the Udmurt* University, Biology, Science of the Earth, 2010, Issue 4, pp. 11–18.
- 3. Lidzhieva N.T., Ulanova S.S., Fedorova N.L., Opyt primeneniya indeksa vegetatsii (NDVI) dlya opredeleniya biologicheskoy produktivnosti fitotsenozov aridnoy zony na primere regiona Chernyye zemli (The experience of using the vegetation index (NDVI) to determine the biological productivity of phytocenoses of the arid zone in the case of the Black Earth region), *Proceedings of the Saratov University, Ser. Chemistry, Biology, Ecology*, 2012, Vol. 12, Issue 2, pp. 94–96.
- 4. Yarygtna N.B., Ispol'zovaniye programmnogo kompleksa ENVI dlya resheniya zadach lesnogo khozyaystva (Using ENVI software complex to solve tasks of forestry), *Geomatics*, 2011, No. 3. pp. 34–39.
- 5. Jinqu Z., Yunpeng W., Yan L., A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band 6, *Computers and Geosciences*, 2006, No. 32, pp. 1796–1805.
- Johnson B., Tateishi R., Kobayashi T., Remote Sensing of Fractional Green Vegetation Cover Using Spatially-Interpolated Endmembers, *Remote Sensing*, 2012, No. 4, pp. 2619–2634.
- 7. Qihao W., Dengsheng L., Jacquelyn S., Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies, *Remote Sensing of Environment*, 2004, No. 89, pp. 467–483.
- 8. Ulivieri C., Castronuovo M.M., Francioni R., Cardillo A., A split window algorithm for estimating land surface temperature from satellites, *Advances in Space Research*, 1994, No. 14, pp. 59–65.
- 9. Zareie S., Khosravi H., Nasiri A., Dastorani M., Using Landsat Thematic Mapper (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran, *Solid Earth*, 2016, No. 7, pp. 1551–1564.