

Спутниковые данные о ночной освещённости как индикаторе общего социально-экономического развития регионов России

И. Ю. Савин^{1,2}, Д. Статакис³, П. А. Докукин²

¹ Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва, 119017 Россия

² Аграрно-технологический институт РУДН, Москва, 117198 Россия

³ Университет Фессалоники, Волос, 38334 Греция

E-mail: savin_iyu@esoil.ru

Рассмотрены возможности оценки основных социально-экономических показателей регионов России на основе анализа спутниковых данных о ночной освещённости DMSP/OLS. Использовался архив за период с 1993 по 2013 г. и статистические данные о количестве городского и сельского населения, а также валовом региональном продукте субъектов Российской Федерации. Спутниковые данные предварительно были сглажены на основе специально разработанного ранее подхода. Установлено, что спутниковые данные DMSP/OLS о ночной освещённости коррелируют с показателями, описывающими социально-экономическое состояние регионов России, и могут быть использованы в качестве средства мониторинга общего состояния регионов. Самым надёжным показателем, характеризующим региональный валовой продукт, является ночная освещённость городских территорий. Средняя для регионов ночная освещённость хорошо коррелирует с общим количеством населения и с количеством городского населения регионов. Проведено ранжирование регионов России по специфике изменения показателей ночной освещённости. Спутниковый анализ ночной освещённости регионов России показал, что с 1993 по 2001–2002 гг. социально-экономическая ситуация в большинстве регионов ухудшалась, а с 2002 г. в большинстве регионов обозначилась положительная тенденция.

Ключевые слова: DMSP/OLS, количество населения, региональный валовой продукт, спутниковый мониторинг, Россия

Одобрена к печати: 16.05.2017

DOI:10.21046/2070-7401-2017-14-6-210-221

Введение

После распада СССР экономическая и социальная ситуация в России существенно изменилась. После экономического спада и социальной деградации 1990-х гг. наступил период развития страны, который в последние годы замедлился и сменился застоем вследствие общемирового кризиса и экономических санкций. Все эти процессы проходили в разных регионах страны по-разному из-за специфики их экономики и социальной сферы.

Мониторинг и оценка направленности подобных изменений экономики и социальной сферы регионов страны имеет большое значение и традиционно проводится на основе данных официальной статистики, которая поступает из регионов. Кондиционность подобной статистической информации оказывает сильное влияние на качество прогностических моделей развития регионов. Одним из методов независимого контроля могут быть данные спутниковых наблюдений. В настоящее время они стали всё более востребованными независимыми контрольными средствами в области сельскохозяйственного производства (Agrometeorological..., 2006; Becker-Reshef et al., 2010; Rembold et al., 2013; Wu et al., 2014), лесного хозяйства (Аэрокосмические..., 2016; White et al., 2013), транспорта (Лупян и др., 2014), развития городских агломераций и застроенности территории (Stathakis et al., 2012) и в других сферах деятельности.

Целью наших исследований был анализ возможностей использования для оценки общей экономической и социальной ситуации в регионах на основе спутниковых данных, полученных американским сенсором DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program/Operational Linescan System) (Elvidge et al., 1999). На основе спутниковых изображений подобного типа можно проследить изменение ночной освещённости отдельных регионов или стран. Ранее проведённые исследования выявили, что показатели ночной освещённости достаточно хорошо

коррелируют с количеством населения, с величинами регионального валового продукта или развитием отдельных отраслей промышленности (Жижин и др., 2014; Кушнырь, 2014; Ghosh et al., 2010; Sutton, 1997), отражают развитие городских агломераций в разных странах мира (Cova, Sutton, Theobald, 2004; Fan et al., 2014; Gao et al., 2015; Liu et al., 2012; Ma et al., 2012; Small, Elvidge, 2013; Stathakis, Tselios, Faraslis, 2015).

В статье приведён анализ возможностей использования этих данных в качестве основы для оценки изменений общего экономического состояния регионов России за период с 1993 по 2013 г.

Методы

Приборы DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program/Operational Linescan System) состоят из двух телескопов и фотоумножителя. Телескоп видимой части спектра чувствителен к излучению в диапазоне от 0,40 до 1,10 мкм. Инфракрасный телескоп чувствителен к излучению в диапазоне с 10,0 до 13,4 мкм. DMSP-спутники находятся на солнечно-синхронной маловысотной полярной орбите (<http://ngdc.noaa.gov/eog/sensors/ols.html>).

Сенсор DMSP/OLS позволяет получать ночные изображения земной поверхности в видимом диапазоне спектра каждые сутки с пространственным разрешением около 1 км. Архив данных накоплен для всего земного шара за период с 1993 по 2013 г. Использовалась четвёртая версия архива данных о стабильной ночной освещённости. Данные получены с шести спутников серии DMSP/OLS (F10, F12, F14, F15, F16, F18). В этой версии стандартная предварительная обработка данных включает в себя очистку изображений от облаков и создание композита постоянных в течение календарного года огней (т.е. огни наблюдаются на всех безоблачных изображениях, полученных в течение года). Таким образом не принимается во внимание непостоянное освещение, свет от газовых и нефтяных вышек, кроме того элиминируется влияние лунных бликов на поверхности воды.

Предобработанные изображения для каждого года были интеркалиброваны (шкала 0–255) с целью достижения сопоставимости величины освещённости между годами. Для этого использовался метод, изложенный ранее (Stathakis et al., 2015).

После подготовки спутниковых данных изображения для каждого года совмещались в ГИС Iwis 3.3 с картой административно-территориального деления России и для каждого субъекта РФ были рассчитаны показатели освещённости в каждом году с 1993 по 2013.

В качестве показателей использовались следующие величины:

- 1) средняя взвешенная величина освещённости для региона;
- 2) сумма ночной освещённости (СНО) — сумма значений освещённости всех пикселей внутри отдельного региона (Elvidge et al., 2009);
- 3) сумма пикселей в регионе с интенсивностью освещённости более 49 единиц (условно «городская ночная освещённость»);
- 4) сумма пикселей в регионе с интенсивностью освещённости менее 50 единиц (условно «сельская ночная освещённость»).

Граничное значение интенсивности освещённости 50 ед. было получено при визуальном анализе изображений при их сопоставлении с картой крупных городов. То есть крупные города характеризовались освещённостью более 50 ед. Конечно же, данная величина достаточно условна, но её использование позволяет дополнительно (хотя и грубо) провести анализ изменения освещённости в крупных городах в отдельности от территории регионов вне крупных городов.

Для анализа подобия кривых изменения параметров строилась дендрограмма сходства по всем годам на основе евклидова расстояния.

Проводился корреляционный анализ между параметрами ночной освещённости и статистическими данными о количестве населения (общего, городского и сельского) и валовом региональном продукте, полученные с сайта Госкомстата России.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты анализа ночной освещённости представлены в таблице.

Основные результаты анализа ночной освещённости регионов России

Регион	Средняя ночная освещённость				СНО				Сельская ночная освещённость				Городская ночная освещённость			
	1993 г.		2013 г.		1993 г.		2013 г.		1993 г.		2013 г.		1993 г.		2013 г.	
	группа ден-минимум	группа ден-программы	группа ден-минимум	группа ден-программы	группа ден-минимум	группа ден-программы	группа ден-минимум	группа ден-программы	группа ден-минимум	группа ден-программы	группа ден-минимум	группа ден-программы	группа ден-минимум	группа ден-программы	группа ден-минимум	группа ден-программы
Агинский Бурятский АО	0,1	0,1	1993	2	1 369	2 590	1999	1	1 369	2 092	1999	2	0	498	нд	2
Алтайский край	0,7	0,8	1997	1	125 082	125 463	2002	2	108 743	104 582	2003	4	16 339	20 881	2002	4
Амурская обл.	0,2	0,2	1995	2	59 332	66884	2002	3	51 583	52 795	2002	1	7 749	14 089	2000	1
Архангельская обл.	0,4	0,4	1999	2	109 721	107 145	2003	2	80 192	73 831	2002	1	29 529	33 314	2003	4
Астраханская обл.	0,8	1,0	1997	1	39 880	49 145	2001	3	33 966	36 967	2001	1	5 914	12 178	2000	1
Белгородская обл.	2,9	5,2	1999	4	78 957	140 046	2000	4	67 866	108 737	1999	4	11 091	31 309	2000	4
Брянская обл.	1,4	1,5	2000	1	48 117	51 629	2003	3	42 143	42 985	2003	1	5 974	8 644	2003	1
Владимирская обл.	4,0	4,7	2001	4	116 927	135 425	2002	2	108 486	121 834	2002	4	8 441	13 591	2002	1
Волгоградская обл.	0,9	1,0	1997	1	96 148	113 284	2001	2	80 933	82 423	2002	1	15 215	30 861	1999	4
Вологодская обл.	0,7	0,7	1998	1	98 015	107 158	2002	2	78 502	82 925	2002	1	19 513	24 233	2002	4
Воронежская обл.	1,9	2,1	2001	1	99 115	110 349	2002	2	89 749	93 621	2002	1	9 366	16 728	2000	1
Еврейская авт. обл.	0,3	0,3	1997	2	10 731	11 221	2003	1	9 548	9 307	2004	2	1 183	1 914	2001	2
Ивановская обл.	3,3	3,3	2002	2	71 684	71 032	2003	4	57 095	56 640	2003	4	14 589	14 392	2002	4
Иркутская обл.	0,3	0,3	2002	4	228 759	237847	2002	3	171 220	170 805	2002	1	57 539	67 042	2002	1
Кабардино-Балкарская республика	2,1	2,2	2000	1	26 361	26 942	2003	1	24 857	24 394	2003	2	1 504	2 548	2002	2
Калининградская обл.	1,4	2,4	1995	4	19 280	32 920	1998	1	16 889	23 621	1999	2	2 391	9 299	1993	1
Калужская обл.	1,8	2,5	1999	4	53 624	72 855	2001	3	48 898	55 233	2001	1	4 726	17 622	1999	1
Камчатская обл.	0,1	0,1	1993	2	12 133	12 421	2003	1	10 437	9 989	2004	2	1 696	2 432	2001	2
Карачаево-Черкесская республика	1,2	1,3	2000	1	16 912	19 054	2002	1	15 155	16 603	2002	2	1 757	2 451	2001	2
Кемеровская обл.	3,0	3,6	1998	4	281 957	340 015	2001	4	228 142	247 755	2001	4	53 815	92 260	2002	4
Кировская обл.	0,9	0,8	2000	1	113 404	93 310	2005	2	95 152	79 276	2005	1	18 252	14 034	2004	1
Коми-Пермяцкий АО	0,2	0,2	2003	2	7 406	6 759	2004	2	7 356	6 759	2004	1	50	0	нд	4
Корякский АО	0,0	0,0	1993	2	214	173	2003	1	214	173	2003	2	0	0	нд	2

Продолжение таблицы

Регион	Средняя ночная освещённость				СНО				Сельская ночная освещённость				Городская ночная освещённость			
	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-драпразмы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-драпразмы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-драпразмы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-драпразмы
Костромская обл.	1,0	1,0	2000	1	57 996	58 366	2003	3	49 778	49 164	2003	1	8 218	9 202	2002	1
Краснодарский край	2,2	3,0	1999	4	166 928	227 909	2001	4	156 726	180 551	2001	4	10 202	47 358	1998	4
Красноярский край	0,4	0,5	1999	2	318 796	340 000	2002	4	259 281	258 477	2002	4	59 515	81 523	2002	4
Крым и Севастополь	1,5	1,9	1999	1	38 120	47 673	2001	1	35 917	36 849	2001	3	2 203	10 824	1997	1
Курганская обл.	0,8	0,8	2003	1	55 157	53 620	2003	3	46 672	43 637	2003	1	8 485	9 983	2003	1
Курская обл.	1,8	1,7	2000	1	52 820	50 010	2003	3	44 263	41 963	2004	1	8 557	8 047	2003	1
Ленинградская обл.	3,2	4,5	1999	4	241 659	335 632	2000	4	189 033	211 077	2000	4	52 626	124 555	1999	4
Липецкая обл.	3,9	4,7	2000	4	93 683	111 340	2002	2	80 127	92 689	2002	1	13 556	18 651	2002	1
Магаданская обл.	0,0	0,0	1993	2	21 461	18 445	2004	1	17 861	14 493	2004	2	3 600	3 952	2002	2
Московская обл.	12,6	18,6	1998	4	586 951	867 425	1999	4	435 380	496 171	2000	4	151 571	371 254	1997	4
Мурманская обл.	0,0	0,0	1993	2	1 319	1 141	2004	1	1 214	1 141	2004	2	105	0	нд	2
Ненецкий АО	0,0	0,0	1993	2	775	1 202	2000	1	450	0	2013	2	325	1 202	нд	2
Нижегородская обл.	2,9	3,5	1999	4	220 720	264 135	2001	4	188 592	199 088	2002	4	32 128	65 047	2001	4
Новгородская обл.	0,8	1,0	1998	1	45 535	55 031	2002	3	39 715	46 900	2001	1	5 820	8 131	2002	1
Новосибирская обл.	0,8	1,0	2000	1	135 497	173 410	2001	4	109 077	115 908	2002	4	26 420	57 502	1999	4
Омская обл.	0,9	0,8	2000	1	126 830	117 087	2004	2	97 851	85 775	2004	1	28 979	31 312	2003	4
Оренбургская обл.	1,6	1,8	2000	1	201 938	225 203	2002	4	173 852	188 628	2002	4	28 086	36 575	2003	4
Орловская обл.	1,3	1,3	2000	1	31 891	31 251	2003	1	28 264	26 184	2003	2	3 627	5 067	2002	2
Пензенская обл.	1,6	1,7	2000	1	70 214	73 192	2003	3	61 559	58 657	2003	1	8 655	14 535	2002	1
Пермская обл.	2,1	2,0	2001	1	26 1654	253 578	2003	4	210 308	198 416	2003	4	51 346	55 162	2003	4
Приморский край	0,5	0,6	1999	2	76 436	96 755	2001	2	73 252	80 590	2002	1	3 184	16 165	1997	1
Псковская обл.	0,5	0,6	1996	2	27 489	30 255	2002	1	24 408	25 300	2002	2	3 081	4 955	2002	2
Республика Адыгея	2,7	3,6	2001	4	20 921	27 729	2001	1	19 293	23 924	2001	2	1 628	3 805	2001	2

Регион	Средняя ночная освещённость				СНО				Сельская ночная освещённость				Городская ночная освещённость			
	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-программы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-программы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-программы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-программы
Республика Алтай	0,0	0,1	1993	2	3 730	7335	1998	1	3 730	4 819	1998	2	0	2 516	нд	2
Республика Башкортостан	2,2	2,4	2002	1	308 947	341 871	2002	4	267 065	279 259	2002	4	41 882	62 612	2002	4
Республика Бурятия	0,1	0,1	1993	2	42 953	53 541	2001	3	37 515	39 439	2001	1	5 438	14 102	2001	1
Республика Дагестан	0,4	0,7	1993	2	21 698	33 306	1999	1	21 338	29 646	1999	2	360	3 660	1998	2
Республика Ингушетия	2,9	4,9	1998	4	10 154	17 047	1999	3	9 848	13 936	1999	1	306	3 111	1995	4
Республика Калмыкия	0,1	0,1	1993	2	4 954	5 753	2001	1	4 954	4 998	2001	2	0	755	нд	2
Республика Карелия	0,4	0,3	2001	2	65 845	61 210	2004	3	53 374	51 155	2004	1	12 471	10 055	2003	1
Республика Коми	0,3	0,3	1997	2	129 619	123 259	2003	2	91 478	82 699	2004	1	38 141	40 560	2003	4
Республика Марий Эл	1,8	2,1	2000	1	41 535	48 185	2002	3	36 763	40 782	2002	1	4 772	7 403	2001	1
Республика Мордовия	3,0	2,8	2002	4	77 489	72 368	2003	3	71 423	62 158	2003	1	6 066	10 210	2001	1
Республика Саха (Якутия)	0,0	0,0	1993	2	90 929	100 295	2002	2	70 432	76 513	2002	1	20 497	23 782	2002	4
Республика Северная Осетия	3,2	3,7	2000	4	25 801	29 668	2002	1	22 426	23 816	2002	2	3 375	5 852	2001	2
Республика Татарстан	5,0	5,8	2000	4	337 976	391 377	2002	4	291 902	302 609	2002	4	46 074	88 768	2001	4
Республика Тува	0,0	0,0	1993	2	5 705	6 345	2002	1	5 705	5 628	2002	2	0	717	нд	2
Республика Хакасия	0,4	0,4	1996	2	24 396	25 040	2003	1	23 083	24 781	2003	2	1 313	259	нд	2
Ростовская обл.	1,4	1,7	1998	1	141 337	173 810	2001	4	129 160	145 095	2002	4	12 177	28 715	1999	4
Рязанская обл.	2,3	2,2	2000	1	91 313	88 093	2003	2	79 727	75 587	2003	1	11 586	12 506	2004	1
Самарская обл.	4,8	5,1	2001	4	253 988	272 365	2002	4	207 538	207 999	2002	4	46 450	64 366	2000	4
Саратовская обл.	1,4	1,3	2002	1	142 267	135 431	2003	3	12 0978	110 459	2004	4	21 289	24 972	2002	4
Сахалинская обл.	0,3	0,4	1995	2	23 464	33 723	2001	1	21 100	24 550	2001	2	2 364	9 173	1997	1
Свердловская обл.	2,2	2,0	2001	1	421 777	37 7754	2004	4	304 327	281 598	2004	4	117 450	96 156	2004	4
Смоленская обл.	1,0	1,3	2000	1	49 937	64 687	2001	3	44 935	54 622	2001	1	5 002	10 065	2001	1
Ставропольский край	1,5	1,7	2000	1	101 245	110 061	2002	2	90 548	87 536	2003	1	10 697	22 525	2001	4

Окончание таблицы

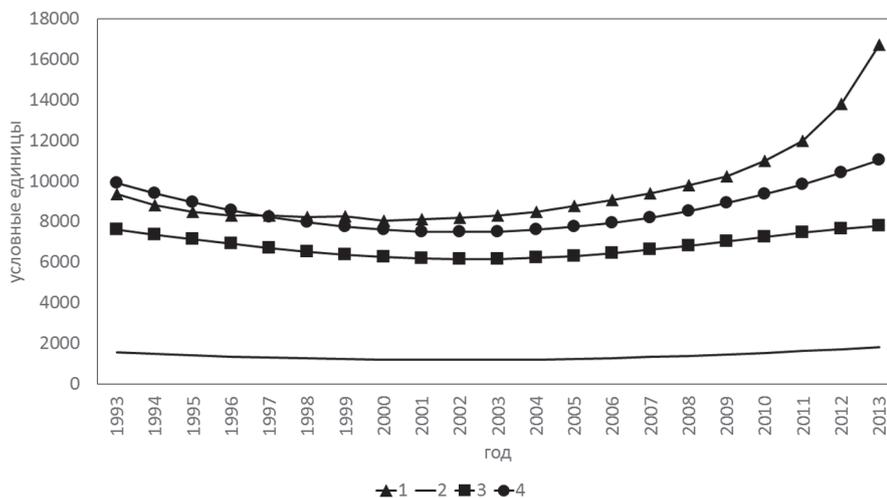
Регион	Средняя ночная освещенность				СНО				Сельская ночная освещенность				Городская ночная освещенность			
	1993 г.		2013 г.		год минимума		группа ден-дпрограммы		1993 г.		2013 г.		год минимума		группа ден-дпрограммы	
	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-дпрограммы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-дпрограммы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-дпрограммы	1993 г.	2013 г.	год минимума	группа ден-дпрограммы
Тамбовская обл.	1,9	1,9	2002	1	66 885	65 055	2003	3	59 291	58 040	2003	1	7 594	7 015	2002	1
Тверская обл.	1,0	1,3	1998	1	86 651	105 771	2001	2	74 915	89 735	2002	1	11 736	16 036	2001	1
Томская обл.	0,4	0,3	1995	2	117 431	103 404	2004	2	84 947	81 203	2004	1	32 484	22 201	2004	4
Тульская обл.	4,6	4,3	2003	4	116 221	110 011	2003	2	97 419	93 866	2004	1	18 802	16 145	2003	1
Тюменская обл.	0,7	0,9	1999	1	103 907	145 867	2000	2	78 744	89 443	2000	1	25 163	56 424	2000	4
Удмуртская республика	2,9	2,8	2001	4	119 569	118 357	2003	2	98 255	96 093	2003	1	21 314	22 264	2002	4
Ульяновская обл.	2,4	2,3	2002	1	88 933	84 266	2003	2	76 555	68 331	2003	1	12 378	15 935	2002	1
Усть-Ордынский Бурятский АО	1,1	1,3	1998	1	25 127	29 396	2002	1	22 524	24 860	2002	2	2 603	4 536	2002	2
Хабаровский край	0,1	0,1	1993	2	81 497	86 955	2002	2	61 696	62 467	2003	1	19 801	24 488	2001	4
Ханты-Мансийский АО	1,5	1,2	2008	1	78 9815	612 696	2010	4	516 679	464 325	2013	4	273 136	148 371	2008	4
Челябинская обл.	3,0	3,3	2001	4	266 313	287 227	2002	4	208 507	210 929	2002	4	57 806	76 298	2002	4
Чеченская Республика	2,0	3,2	1998	4	30 625	50 072	1999	3	30 174	34 262	1999	1	451	1 5810	нд	4
Читинская обл.	0,1	0,1	1993	2	50 995	60 240	2002	3	46 637	47 448	2002	1	4 358	1 2792	1997	1
Чувашская республика	4,9	4,8	2001	4	89 555	88 265	2003	2	80 936	76 733	2004	1	8 619	11 532	2002	1
Чукотский АО	0,0	0,0	1993	2	1 601	2 654	2000	1	1 601	1 356	2000	2	0	1 298	нд	2
Эвенкийский авт. обл.	0,0	0,0	1993	2	1 720	2 033	2002	1	1 720	2 033	2002	2	0	0	нд	2
Ямало-Ненецкий АО	0,5	0,4	1995	2	315 652	295 628	2004	4	231 088	216 178	2013	4	84 564	79 450	2003	4
Ярославская обл.	2,8	3,2	2000	4	100 658	115 770	2002	2	80 034	88 976	2002	1	20 624	26 794	2002	4
Вся Россия	1,6	1,8	2001	нд	99 115	110 349	2002	нд	763 2439	7814891	2002	нд	9 366	16 728	2002	нд

Примечание: нд — нет данных.

Анализ средней ночной освещённости

Средняя, взвешенная по площади, величина ночной освещённости субъектов РФ зависит от количества населённых пунктов в регионе, развитости промышленности и транспортной сети, а также от площади региона. Судя по данным таблицы, эта величина достаточно сильно варьирует от региона к региону, различаясь в несколько раз.

Анализ многолетней динамики величины средней ночной освещённости показывает, что почти все кривые имеют форму неправильной (скошенной) параболы. В среднем по России вершина параболы соответствует 2001 г. (см. рисунок). Но в разных регионах вершина параболы приурочена к разным годам (см. таблицу). Больше всего регионов (19) достигло минимума ночной освещённости в 2000 г. Дольше всего спад ночной освещённости наблюдался в Тульской, Курганской областях, в Коми-Пермяцком автономном округе (минимум у всех достигнут в 2003 г.) и Ханты-Мансийском АО (с минимумом ночной освещённости в 2008 г.). В 16 регионах уровень ночной освещённости 2013 г. так и не смог вернуться на уровень 1993 г. При этом в Томской области и в Карелии средняя ночная освещённость оказалась в 2013 г. на 25 % ниже, чем в 1993 г., в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком АО — на 20 % и в Омской и Кировской областях почти на 10 % ниже.



Параметры ночной освещённости, осреднённые для всей территории России:
 1 — городская; 2 — средняя × 1000; 3 — сельская / 1000; 4 — СНО / 10

Кластеризация регионов России, полученная методом построения дендрограммы сходства, показала, что чётко выделяются две группы регионов (см. таблицу). Из таблицы следует, что большая часть экономически развитых и населённых регионов не объединяются ни в один кластер (им соответствует значение 4 в таблице). Остальные регионы делятся на два кластера (1 и 2 в таблице), в одном из которых преобладают регионы с высокой плотностью населения и развитой промышленностью, а во втором — регионы, где население очень неравномерно и сосредоточено на небольшой площади региона.

Наибольшая величина статистически значимого коэффициента корреляции анализируемого параметра наблюдается с количеством городского населения в регионе (0,79). Также статистически значимая корреляция наблюдается с валовым региональным продуктом ($K_c = 0,71$).

Анализ сумм ночной освещённости (СНО)

В отличие от средней ночной освещённости величина СНО не зависит от площади территорий с нулевой освещённостью. То есть, если регион очень контрастен по размещению транспортной инфраструктуры, промышленности и населённых пунктов, то эта контрастность не влияет на величину показателя СНО.

Кривые многолетней динамики СНО также имеют форму скошенной параболы. В среднем по России вершина параболы СНО приурочена к 2002 г., и для большинства регионов вершина параболы относится к 2001–2003 гг. (см. таблицу).

По сравнению с 1993 г. в 2013 величина СНО в наибольшей степени увеличилась в Республике Алтай (на 97%), Агинской Бурятской АО (на 89%), в Белгородской области (на 77%), Калининградской области (на 71%). Величина СНО в 2013 г. оказалась более чем на 10% ниже этой величины в 1993 г. в Ханты-Мансийском и Корякской АО, в Кировской, Магаданской, Мурманской, Томской и Свердловской областях. В среднем по России величина СНО в 2013 г. превысила 1993 г. на 9%.

Кластеризация регионов России по дендрограмме сходства по всем годам, показала, что чётко выделяются три группы регионов (коды 1, 2 и 3 в соответствующем столбце таблицы). В отличие от предыдущего параметра, чётких географических закономерностей в объединении регионов не замечается.

Наибольшая величина статистически значимого коэффициента корреляции СНО наблюдается с валовым региональным продуктом (0,70). Корреляция с количеством населения также имеется, но не столько высокая (K_c около 0,60).

Анализ городской ночной освещённости

Вклад городской освещённости в общую ночную освещённость варьирует от почти 40% для Ненецкого АО до примерно нуля для Коми-Пермяцкого, Корякского и Эвенкийского АО. Высоким вкладом (20–30%) отличаются Московская, Ленинградская, Тюменская, Новосибирская, Омская, Иркутская, Свердловская, Томская, Челябинская области, Ханты-Мансийский АО и Хабаровский край.

Кривые изменений городской ночной освещённости регионов за период с 1993 по 2013 г. во многих случаях также имеют выраженный минимум в середине кривой. Для России в целом этот минимум приурочен к 2002 г. Большинство регионов России (51) имеет минимум также в период с 2001 по 2003 г. (см. таблицу). При этом в Калининградской области начиная с первого анализируемого года (1993) наблюдается постоянный рост этого показателя вплоть до 2013 г. В ряде регионов (Чеченская Республика, Республика Алтай, Хакасия, Тува, Калмыкия, Мурманская область, Ненецкий, Чукотский, Агинский Бурятский, Коми-Пермяцкий АО) величина городской ночной освещённости в 1993 г. была равна нулю, но в течение анализируемого периода она стала увеличиваться (максимально — в Чечне).

В среднем для России величина городской ночной освещённости в 2013 г. была выше по сравнению с 1993 г. на 39%. У 24 регионов России превышение между 1993 и 2013 г. составило более 100%. В то же время в некоторых регионах уровень 1993 г. к 2013 г. так и не был достигнут (см. таблицу).

Кластеризация регионов России по дендрограмме сходства по этому параметру показала, что чётко выделяются две группы регионов (коды 1 и 2 в соответствующей колонке таблицы). В группы объединяются меньше регионов, чем для предыдущих параметров. Интересно отметить, что в один кластер попали практически все республики Северного Кавказа, а также многие регионы крайнего севера, а большинство регионов центра Европейской части России попали в один кластер с регионами юга восточной Сибири и Дальнего Востока.

Наибольшая величина статистически значимого коэффициента корреляции анализируемого параметра наблюдается с валовым региональным продуктом (0,82) и с величиной городского населения ($K_c = 0,75$).

Анализ сельской ночной освещённости

Кривые изменений сельской ночной освещённости регионов за период с 1993 по 2013 г. во многих случаях, как и у предыдущих параметров, имеют выраженный минимум в середине кривой, но выраженность этого минимума гораздо хуже. Как и для других индикаторов этот минимум приходится на 2002 г. (см. таблицу). Большинство регионов России (59) имеет минимум сельской освещённости в период с 2001 по 2003 г.

В среднем для России величина сельской ночной освещённости в 2013 г. была выше по сравнению с 1993 г. всего на 2%. Но в Белгородской и Калининградской областях, Ингушетии и Агинском Бурятском АО превышение между 1993 и 2013 гг. составило 40–60%. В Самарской, Иркутской областях и Красноярском крае величина сельской ночной освещённости в 2013 г. сравнялась с величиной 1993 г. В 36 регионах России величина сельской ночной освещённости в 2013 г. была ниже, чем в 1993 г. (см. таблицу).

По сходству кривой сельской ночной освещённости группируется ещё меньше регионов, чем при анализе других параметров (см. таблицу). Так же, как и в предыдущем случае в один кластер попали практически все республики Северного Кавказа, а также многие регионы крайнего севера. Многие регионы центра Европейской части России попали в один кластер с регионами Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Наибольшая величина статистически значимого коэффициента корреляции анализируемого параметра наблюдается с валовым региональным продуктом (0,66) и с суммарной величиной населения (городское и сельское) ($K_s = 0,64$). Коэффициенты корреляции этого параметра со статистическими показателями в целом ниже, чем у других параметров.

Таким образом, полученные данные подтверждают выводы других исследователей (Cova et al., 2004; Gao et al., 2015; Ghosh et al., 2010; Liu et al., 2012), выявленные в прочих регионах, что величина ночной освещённости может быть использована как индикатор региональных валовых продуктов, а также количества населения. Для российских регионов оказалось, что лучше всего с валовым региональным продуктом коррелирует городская ночная освещённость, а с количеством городского населения и суммой городского и сельского населения — средняя ночная освещённость. Статистически значимой корреляции с количеством сельского населения не установлено.

Выводы

Спутниковые данные DMSP/OLS о ночной освещённости коррелируют с показателями, характеризующими социально-экономическое состояние регионов России и могут быть использованы в качестве средства мониторинга общего состояния регионов.

Самым надёжным показателем, характеризующим региональный валовой продукт, является предложенный нами параметр «ночная освещённость городов». Средняя для регионов ночная освещённость хорошо коррелирует с общим количеством населения и с количеством городского населения регионов.

Спутниковый анализ ночной освещённости регионов России за период с 1993 по 2013 г. показал, что с 1993 по 2001–2002 гг. социально-экономическая ситуация в большинстве регионов ухудшалась, а с 2002 г. в большинстве регионов обозначилась положительная тенденция. Так, судя по ночной освещённости, к 2013 г. валовой региональный продукт в Ивановской, Курской, Тамбовской, Тульской, Свердловской, Кировской, Томской, Мурманской областях, в Карелии, Хакасии, а также в Ямало-Ненецком, Ханты-Мансийском и Коми-Пермяцком АО ещё не достиг уровня 1993 г. Среди лидеров разницы валового регионального продукта между 1993 и 2013 г. — Чечня, Ингушетия, Дагестан, Приморский край, Крым и Краснодар.

Общее количество населения за период с 1993 по 2013 г. в 16 регионах так и не смогло вернуться на уровень 1993 г. При этом в Томской области и в Карелии средняя ночная освещённость (как показатель общего количества населения) оказалась в 2013 г. на 25% ниже, чем в 1993 г., в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком АО — на 20%, в Омской и Кировской областях — почти на 10%.

Таким образом, спутниковая информация о ночной освещённости может быть использована в качестве независимого дополнительного источника данных о населении и валовом региональном продукте регионов России и их динамике во времени.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант 15-16-30007.

Литература

1. Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20–22 апреля 2016 г.). М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. 230 с.
2. Жижин М. Н., Элвидж К., Пойда А. А., Годунов А. И., Велихов В. Е., Ерохин Г. Н., Алсынбаев К. С., Брыксин В. М. Использование данных ДЗЗ для мониторинга добычи углеводородов // Информационные технологии и вычислительные системы. 2014. № 3. С. 97–111.
3. Кушнырь О. В. Разработка методики определения плотности населения по ночным снимкам DMSP OLS // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2014. № 1. С. 66–70.
4. Лупян Е. А., Балашов И. В., Бурцев М. А., Саворский В. П., Карелов А. И., Щеглов М. А. Разработка технологий спутникового мониторинга железнодорожной инфраструктуры // 4-я Международная научно-практическая конференция «ИнтеллектТранс-2014»: тез. докл. СПб.: ПГУПС, 2014. С. 7.
5. Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries / eds. Savin I. Yu., Nègre T. Ispra: OPOCE, 2006. 214 p.
6. Becker-Reshef I., Justice C., Sullivan M., Vermote E., Tucker C., Anyamba A., Small J. Monitoring Global Croplands with Coarse Resolution Earth Observations: The Global Agriculture Monitoring (GLAM) Project // Remote Sensing. 2010. V. 2(6). P. 1589–1609.
7. Cova T., Sutton P., Theobald D. Exurban change detection in fire prone areas with night time satellite imagery // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 2004. V. 70. No. 11. P. 1249–1257.
8. Elvidge C., Baugh K., Dietz J., Bland T., Sutton P., Kroehl H. Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlements // Remote Sensing of Environment. 1999. V. 68. No. 1. P. 77–88.
9. Elvidge C., Erwin E., Baugh K., Ziskin D., Tuttle B., Ghosh T., Sutton P. Overview of DMSP night time lights and future possibilities // Urban Remote Sens. Joint Event. 2009. P. 1–5.
10. Fan J., Ma T., Zhou C., Zhou Y., Xu T. Comparative estimation of urban development in China's cities using socioeconomic and DMSP/OLS night light data // Remote Sensing. 2014. V. 6. No. 8. P. 7840–7856.
11. Gao B., Huang Q., He C., Ma Q. Dynamics of urbanization levels in China from 1992 to 2012: perspective from DMSP/OLS night time light data // Remote Sensing. 2015. V. 7 No. 2. P. 1721–1735.
12. Ghosh T., Powell R., Elvidge C., Baugh K., Sutton P., Anderson S. Shedding light on the global distribution of economic activity // Open Geography J. 2010. No. 3. P. 148–161.
13. Liu Z., He C., Zhang Q., Huang Q., Yang Y. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP–OLS night time light data from 1992 to 2008 // Landscape and Urban Planning. 2012. V. 106. P. 62–72.
14. Ma T., Zhou C., Pei T., Haynie S., Fan J. Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS night time light data: a comparative case study from China's cities // Remote Sensing of Environment. 2012. V. 124. P. 99–107.
15. Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O. Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection // Remote Sensing. 2013. V. 5. No. 4. P. 1704–1733.
16. Small C., Elvidge C. Night of Earth: mapping decadal changes of anthropogenic night light in Asia // Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation. 2013. V. 22. P. 40–52.
17. Stathakis D., Perakis K., Savin I. Efficient segmentation of urban areas by the VIBI // Intern. J. Remote Sensing. 2012. V. 33. No. 20. P. 6361–6377.
18. Stathakis D., Tselios V., Faraslis I. Urbanization in European regions based on nightlights // Remote Sensing Applications: Society and Environment. 2015. No. 2. P. 26–34.
19. Sutton P. Modeling population density with night-time satellite imagery and GIS // Computers, Environment and Urban Systems. 1997. V. 21. P. 227–244.
20. White J. C., Wulder M. A., Varhola A., Vastaranta M., Coops N. C., Cook B. D., Pitt D., Woods M. A best practice's guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using an area-based approach / Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Canadian Wood Fibre Centre, Victoria, BC: Information Report FI-X-010. 2013. 50 p.
21. Wu B., Meng J., Li Q., Yan N., Du X., Zhang M. Remote sensing-based global crop monitoring: experiences with China's CropWatch system // Intern. J. Digital Earth. 2014. V. 7. No. 2. P. 113–137.

Satellite based night lights data as an indicator of general socio-economic development of regions of Russia

I. Yu. Savin^{1,2}, D. Stathakis³, P.A. Dokukin²

¹ V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia

² Agrarian-Technological Institute RUDN, Moscow, 117198 Russia

³ University of Thessaly, Volos, 38334 Greece E-mail: savin_iyu@esoil.ru

The possibilities of evaluation of the main socio-economic indicators of Russian regions based on the analysis of night lights satellite data DMSP/OLS were analyzed. We used an archive of satellite data for the period from 1993 to 2013 and statistical data on the number of urban, rural population and the gross regional product of the constituent entities of the Russian Federation. Satellite data were previously smoothed based on a specially developed approach. It was found that DMSP/OLS night lights satellite data correlate with indicators characterizing the social and economic state of Russian regions and can be used as a proxy for monitoring the general state of the regions. The most reliable indicator characterizing the regional gross product is the night lights of urban areas. The average night lights for the regions is well correlated with the total population and the number of urban population in the regions. The ranking of regions of Russia on the specifics of the change in the indicators of night lights has been carried out. A satellite analysis of the night lights of Russian regions showed that from 1993 to 2001–2002, the socio-economic situation in most regions worsened, and since 2002, a positive trend has emerged in most regions.

Keywords: DMSP/OLS, population, regional gross value, satellite monitoring, Russia

Accepted: 16.05.2017

DOI:10.21046/2070-7401-2017-14-6-210-221

References

1. *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozyaistve i ekologii Doklady VI Vserossiiskoi konferentsii (Moskva, 20–22 Aprelya 2016 g.)* (Aero-Space methods and geoinformatic technologies in forest study, forestry and ecology), Moscow: TsEPL RAN, 2016, 230 p.
2. Zhizhin M.N., Elvidzh K., Poida A.A., Godunov A.I., Velikhov V.E., Erokhin G.N., Alsynbaev K.S., Bryksin V.M., Ispol'zovanie dannykh DZZ dlya monitoringa dobychi uglevodorodov (Using ERS data for the hydrocarbons extraction's monitoring), *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2014, No. 3, pp. 97–111.
3. Kushnyr' O.V., Razrabotka metodiki opredeleniya plotnosti naseleniya po nochnym snimkam DMSP OLS (Elaboration of methods for population density assessment based on DMSP OLS images), *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka*, 2014, No. 1, pp. 66–70.
4. Loupian E.A., Balashov I.V., Burtsev M.A., Savorskii V.P., Karelov A.I., Shcheglov M.A., Razrabotka tekhnologii sputnikovogo monitoringa zheleznodorozhnoi infrastruktury (Elaboration of the technology of real way infrastructure monitoring), *IV Intern. Conf. "IntellektTrans-2014", Book of Abstracts*, Saint Petersburg: PGUPS, 2014, p. 7.
5. *Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries*, Ispra: OPOCE, 2006, 214 p.
6. Becker-Reshef I., Justice C., Sullivan M., Vermote E., Tucker C., Anyamba A., Small J., Monitoring Global Croplands with Coarse Resolution Earth Observations: The Global Agriculture Monitoring (GLAM) Project, *Remote Sensing*, 2010, Vol. 2(6), pp. 1589–1609.
7. Cova T., Sutton P., Theobald D., Exurban change detection in fire prone areas with night time satellite imagery, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 2004, Vol. 70, No. 11, pp. 1249–1257.
8. Elvidge C., Baugh K., Dietz J., Bland T., Sutton P., Kroehl H., Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlements, *Remote Sensing of Environment*, 1999, Vol. 68, No. 1, pp. 77–88.
9. Elvidge C., Erwin E., Baugh K., Ziskin D., Tuttle B., Ghosh T., Sutton P., Overview of DMSP night time lights and future possibilities, *Urban Remote Sens. Jt. Event*, 2009, pp. 1–5.
10. Fan J., Ma T., Zhou C., Zhou Y., Xu T., Comparative estimation of urban development in China's cities using socioeconomic and DMSP/OLS night light data, *Remote Sensing*, 2014, Vol. 6, No. 8, pp. 7840–7856.
11. Gao B., Huang Q., He C., Ma Q., Dynamics of urbanization levels in China from 1992 to 2012: perspective from DMSP/OLS night time light data, *Remote Sensing*, 2015, Vol. 7, No. 2, pp. 1721–1735.

12. Ghosh T., Powell R., Elvidge C., Baugh K., Sutton P., Anderson S., Shedding light on the global distribution of economic activity, *Open Geography J.*, 2010, No. 3, pp. 148–161.
13. Liu Z., He C., Zhang Q., Huang Q., Yang Y., Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP–OLS night time light data from 1992 to 2008, *Landscape and Urban Planning*, 2012, Vol. 106, pp. 62–72.
14. Ma T., Zhou C., Pei T., Haynie S., Fan J., Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS night time light data: a comparative case study from China's cities, *Remote Sensing Environment*, 2012, Vol. 124, pp. 99–107.
15. Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O., Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection, *Remote Sensing*, 2013, Vol. 5, No. 4, pp. 1704–1733.
16. Small C., Elvidge C., Night of Earth: mapping decadal changes of anthropogenic night light in Asia, *Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, Vol. 22, pp. 40–52.
17. Stathakis D., Perakis K., Savin I., Efficient segmentation of urban areas by the VIBI, *Intern. J. Remote Sensing*, 2012, Vol. 33, No. 20, pp. 6361–6377.
18. Stathakis D., Tselios V., Faraslis I., Urbanization in European regions based on nightlights, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2015, No. 2, pp. 26–34.
19. Sutton P., Modeling population density with night-time satellite imagery and GIS, *Computers, Environment and Urban Systems*, 1997, Vol. 21, pp. 227–244.
20. White J. C., Wulder M. A., Varhola A., Vastaranta M., Coops N. C., Cook B. D., Pitt D., Woods M., *A best practice's guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using an area-based approach*, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Canadian Wood Fibre Centre, Victoria, BC, Information Report FI-X-010, 2013, 50 p.
21. Wu B., Meng J., Li Q., Yan N., Du X., Zhang M., Remote sensing-based global crop monitoring: experiences with China's CropWatch system, *International Journal of Digital Earth*, 2014, Vol. 7, No. 2, pp. 113–137.