2000-2010年西伯利亚地表覆盖变化特征 ——基于GlobeLand30的分析

张宇硕^{1,2}, 陈 军², 陈利军², 李 然², 张委伟², 鲁 楠^{2,3}, 刘吉羽^{2,3}

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 国家基础地理信息中心, 北京 100830;

3. 西南交通大学地球科学与环境工程学院, 成都 610031)

摘 要: 西伯利亚是全球环境变化的重要敏感性区域, 但以往缺乏该区域中高分辨率地表覆盖数据, 对其地表覆盖的整体分布与变化缺乏深入的认识。本文利用中国新近研制的2000、2010年两期30 m分辨率地表覆盖数据产品GlobeLand30, 对2000-2010年西伯利亚地表覆盖的空间分布格局、变化幅度、区域差异及主要地类的变化原因进行了综合分析。研究发现: ①西伯利亚地表覆盖的空间分布现状具有明显的地带性特征。②10年间, 西伯利亚地区地表覆盖整体变化幅度较大, 其中林地及草地呈显著缩减、湿地呈较大幅度增加、耕地呈微弱减少、人造地表呈增加态势。③10年间, 西伯利亚地表覆盖变化具有显著的区域差异性。变化最显著的为西西伯利亚地区, 其中以湿地增加最明显, 主要分布于鄂毕河—叶尼塞河流域, 林地、草地及耕地减少集中于西伯利亚西南部。④人类活动和气候变暖是引发西伯利亚地表覆盖变化的主要原因。大规模林地砍伐导致林地减少; 冰冻层消融, 林地、草地和水体向湿地的转化是湿地增加的主要原因; 耕地的人为废弃和撂荒导致耕地面积有所减少。

关键词: 地表覆盖; 地表覆盖变化; GlobeLand30; 西伯利亚

1 引言

“土地利用/地表覆盖变化(LUCC)”是近些年来国际科学界的热点研究课题。1995年“国际地圈与生物圈计划(IGBP)”和“全球环境变化人文计划(IHDP)”共同发起了“土地利用/地表覆盖变化(LUCC)”的核心研究项目(Lambin et al, 1995; Turner et al, 1995)。2005年, 又联合启动了全球土地计划(GLP), 以深化地球系统演化背景下对人类—陆地环境系统的研究(IGBP, 2005)。但由于缺乏中高分辨率的全球地表覆盖数据, 以往对西伯利亚地区地表覆盖分布与变化的研究一直难以深入。西伯利亚是全球气候变化的高度敏感性和脆弱性区域, 其地表覆盖具有显著的多样性、复杂性和地带性特征, 是全球重要的碳库和碳汇区, 与全球碳循环和大气环境变化具有密切联系(Kolchugina et al, 1995; Kobak et al, 1996; 刘子刚等, 2006; Robarts et

al, 2013)。利用遥感等技术手段, 全面地掌握和监测西伯利亚地表覆盖的空间分布和动态变化, 是全球环境变化的一项基础工作和重要内容, 具有十分重要的科学意义(Schlütz et al, 2006; Tchebakova et al, 2011; Turner et al, 2013)。

以往西伯利亚地表覆盖研究多是采用实地监测或粗分辨率遥感数据资料。如Wagner等(2003)采用ERS-1和JERS-1/2获得的数据对1997-1998年西伯利亚的北方林地分布进行了遥感制图; Zakharova等(2014)使用370 m分辨率的ENVISAT RA-2雷达探测数据、GlobCover2000、及Google影像资料, 对2002-2012年西西伯利亚湿地的季节性分布和变化进行了制图和分析。Smith等(2005)利用1970年代初期和1997-2004年间的卫星影像追踪观测了西伯利亚10000个巨型湖泊, 发现湖泊数量和范围均呈现普遍性的减少趋势; 朱立君等(2012)将马里兰大学的1 km地表覆盖数据结合GlobCover

收稿日期: 2015-03; 修订日期: 2015-05。

基金项目: 测绘地理信息公益性行业科技专项(201512028); 国家自然科学基金重点项目(41231172)。

作者简介: 张宇硕(1985-), 女, 山西忻州人, 博士研究生, 主要研究方向为地表覆盖变化, E-mail: zys1008.hi@163.com。

引用格式: 张宇硕, 陈军, 陈利军, 等. 2015. 2000-2010年西伯利亚地表覆盖变化特征: 基于GlobeLand30的分析[J]. 地理科学进展, 34(10): 1324-1333. [Zhang Y S, Chen J, Chen L J, et al. 2015. Characteristics of land cover change in Siberia based on GlobeLand30, 2000-2010 [J]. Progress in Geography, 34(10): 1324-1333.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2015.10.013

数据生成了外贝加尔边疆区4个年份的地表覆盖数据,对其地表覆盖的总体格局、动态变化及驱动机制进行了分析;宁佳(2012)以GlobCover数据为基础,对20世纪70年代到2005年西伯利亚大铁路东部沿线区域的土地利用变化情况进行了分析,发现该区的城镇用地和耕地均呈现一定程度的扩张。值得说明的是,由于西伯利亚幅员辽阔,以往研究多以单要素地类为主,研究内容以林地和湿地的变化情况与全球气候变化的相互作用关系居多,研究范围多为某一自然地貌单元或单个城市,尚无研究采用高分辨率遥感资料对整个西伯利亚的地表覆盖分布和变化特征进行系统性分析。

随着全球变化和区域可持续发展等研究的不断深入,以更高的时间和空间分辨率对西伯利亚地表覆盖进行监测分析已成为重要的发展方向(Tchebakova et al, 2010)。不久前,中国成功研制出了首套全球30 m分辨率地表覆盖数据产品(GlobeLand30)(陈军等, 2014; Chen et al, 2015),为研究全球大范围地表覆盖提供了最新资料和手段。已有学者利用GlobeLand30数据产品进行了全球陆表水体的空间格局和变化特征分析(曹鑫等, 2014)。本文采用这一最新地表覆盖数据产品,基于定性、定量与定位相结合的视角,分析西伯利亚地区地表覆盖的空间分布、变化幅度、区域差异及变化原因,期为环境变化研究提供有价值的基础信息。

2 研究区域、数据及方法

2.1 研究区概况

西伯利亚地区(俄语:Сибирь,英语:Siberia)位于俄罗斯联邦东部地区,西起乌拉尔山,东到太平洋沿岸的分水岭山脉,北临北冰洋,南与中国、蒙古和哈萨克斯坦接壤,为保证研究区行政区划的完整性,本文的西伯利亚地区包括了太平洋沿岸分水岭山脉以东的部分远东地区(如萨哈共和国东部地区),范围为 $59^{\circ}\sim 163^{\circ}\text{E}$ 、 $49^{\circ}\sim 82^{\circ}\text{N}$ (图1)。研究区陆地总面积约972万 km^2 ,约占俄罗斯国土总面积的56.87%。西伯利亚地区在行政区划上包括17个俄罗斯联邦主体,其中7个州、5个共和国、3个边疆区、2个自治区。西伯利亚地区按地形主要分为西西伯利亚低地、中西伯利亚高原、东部和南部山地。其中,西西伯利亚平原平均海拔约120 m,地势低平;中西伯利亚高原平均海拔约500~1500 m;南部和东北部山地平均海拔约1000~2000 m。该地区从南向北横跨亚温带大陆性气候、亚寒带大陆性气候和极地气候带,年均气温低于 0°C 。受大气环流和地形影响,降水总体趋势表现为由西向东、由南向北递减,其中,北冰洋沿岸年降水量约100~250 mm,针叶林地带约500~600 mm,阿尔泰山地约达1000~2000 mm;5%~80%的降水主要集中在夏季。

西伯利亚地区具有多样的地表覆盖类型和丰

图1 研究区范围与行政区划图

Fig.1 Location and administrative division of the study area

富的生态系统资源,受气候、地形、土壤及海陆条件等多因素的综合影响,地表覆盖总体在空间上具有明显的变异特点,其中,南北向的地带性特征十分显著,由南向北依次为草原带—林地草原—林地带—林地苔原带—苔原带,由西向东则依次为林地水域交错带—林地带—草原带。

2.2 数据来源与处理

本文所采用的主要数据资料包括:①2000年和2010年两个基准年的 GlobeLand30 产品—GlobeLand30-2000 和 GlobeLand30-2010(陈军等, 2011; 2014),包括耕地、林地、草地、灌丛、湿地、水体、人造地表、裸地、冰雪、苔原十大类。根据第三方验证,该产品分类精度为 83%(Chen et al, 2015);②全球 1:100 万的行政区划矢量数据;③全球 1 km 分辨率的 DEM 数据。

基于以上数据,首先利用 1:100 万比例尺行政区划数据对研究区地表覆盖数据进行提取、裁切和空间统计,分别得到 2000、2010 年西伯利亚地区及各联邦主体的 30 m 分辨率地表覆盖数据;并对西伯利亚地区的地表覆盖分类结果进行精度评价,其中 2000 年总体精度达 85.8%,Kappa 系数为 0.79,2010 年总体精度为 86.9%,Kappa 系数为 0.81。其次,将 1 km 分辨率的 DEM 数据与 30 m 分辨率地表覆盖数据进行空间叠加计算,得到 2010 年研究区地表覆盖 100 m 间隔的高程分布数据。最后,将两期 30 m 数据分别采集到 0.1° 格网中,通过叠加计算得到主要地表覆盖类型 2000-2010 年的面积变化数据。

2.3 研究方法

本文通过统计和计算地表覆盖类型的面积变化、变化率及类型转化(刘纪远等, 2002; 2003; 2009),研究西伯利亚地表覆盖的空间分布格局和动态变化(图 2)。其中多层次空间统计分析是先按西伯利亚全区进行 2010 年地表覆盖面积的统计分析,然后按高程带分析 2010 年地表覆盖空间格局的分布规律,再按西伯利亚全区和联邦主体区划两个层次分析两期地表覆盖变化特征。而地表覆盖类型间的相互转换采用 Markov 地类转换矩阵描述,用于计算西伯利亚各地地表覆盖类型的转换矩阵。

3 结果与分析

3.1 总体分布格局与变化

3.1.1 总体分布格局

对 2010 年西伯利亚地区地表覆盖面积和比例、空间分布及高程分布进行了统计(表 1、图 3-4)。从表 1 可以看出,林地面积约为 493 万 km²,占全区总面积的比重高达 51.66%,分布范围涵盖了乌拉尔山以东、太平洋分水岭山脉以西的整个西西伯利亚平原和中西伯利亚高原(图 3);其高程范围为 100~2000 m,其中约 69.3% 的林地分布于 500 m 以下的高程带(图 4)。草地面积为 283 万 km²,所占比重约为 29%,仅次于林地。草地主要分布于年均温较低、年降水量较少的高纬度冻土区和太平洋分水岭山脉以东的山地,其高程范围为 0~2300 m,林地、草地覆盖了西伯利亚地区陆地面积的 79.6%。湿地总面积约为 106 万 km²,占全区总面积的 11%,主要分布于地势低平、水网密集的西西伯利亚平原和勒拿河流域(Lepokurova et al, 2014),其高程分布范围主要在 0~300 m,其中约 85.3% 的湿地集中在 0~100 m 高程范围内。俄罗斯学者 Zhulidov 等(1997)通过长期观测俄罗斯联邦的湿地变化状况,曾于 1997 年估测了西西伯利亚的湿地面积约为 100 万 km²,与本文计算的湿地总面积较为接近。

3.1.2 变化幅度

通过分析地表覆盖的绝对变化(变化量)和相对变化(变化率),可以了解地表覆盖面积和结构变化的总态势。对西伯利亚全区 2000、2010 年地表覆盖

图2 西伯利亚地表覆盖变化分析的基本思路图

Fig.2 Framework for analyzing land cover change in Siberia

表 1 2010 年西伯利亚地表覆盖面积及比例

Tab.1 Area and proportion of land cover types in Siberia in 2010

	耕地	林地	草地	灌丛	湿地	水体	人造地表	裸地	冰雪
面积/km ²	327670.29	4926838.33	2834043.22	5566.93	1059090.94	326563.73	22154.02	27154.68	7991.29
比例/%	3.436	51.660	29.716	0.058	11.105	3.424	0.23	0.285	0.084

图3 2010年西伯利亚地表覆盖总空间分布图
Fig.3 Land cover map of Siberia in 2010

图4 2010年西伯利亚地表覆盖高程分布
Fig.4 Land cover types at different elevations
in Siberia in 2010

表2 2000-2010 年西伯利亚地表覆盖面积变化
Tab.2 Change in area of land cover
types in Siberia, 2000-2010

地表覆 盖类型	面积/km ²		变化量 /km ²	变化率 /%
	2000 年	2010 年		
耕地	331857.07	327670.29	-4186.78	-1.3
林地	4938646.50	4926838.33	-11808.16	-0.2
草地	2851259.77	2834043.22	-17216.55	-0.6
灌丛	5489.84	5566.93	77.09	1.4
湿地	1030637.15	1059090.94	28453.80	2.8
水体	335176.42	326563.73	-8612.69	-2.6
人造地表	21138.59	22154.02	1015.43	4.8
裸地	26840.84	27154.68	313.83	1.2
冰雪	8016.91	7991.29	-25.61	-0.3

面积进行统计(表2),分析其幅度变化特征。从总体上看,10年间西伯利亚地区地表覆盖变化幅度较大。如图5所示,图5a-5e分别是2000年与2010年地表覆盖变化的显著区域对比图,从图中也可以明显看出,2000-2010年,西伯利亚地表覆盖发生了显著变化。各主要地类的具体变化特征如下:

(1) 林地、草地呈大幅减少态势。从表2可以看出,草地减少幅度最大,2000年草地面积为2851259.77 km²,到2010年为28340432 km²,10年间净缩减17216.55 km²,但变化率相对较低,仅为

0.6%。2000-2010年,林地减少了11808.16 km²,仅次于草地。总体上,草地和林地缩减率均较低,主要由于总面积较大,变化部分所占比例较小。

(2) 湿地呈大幅增加态势。与林地、草地显著减少的趋势相反,湿地面积自2000年来有较大幅度增长,10年间共增加28453.80 km²,增长率为2.8%,仅次于人造地表。

(3) 耕地呈微弱减少态势。2000年和2010年西伯利亚地区耕地面积均维持在30万 km²以上,但10年间耕地面积净缩减了4186.78 km²,变化率为

图5 2000、2010年西伯利亚地表覆盖变化的主要示例

Fig.5 Examples of land cover change in Siberia, 2000-2010

1.3%。

(4) 人造地表呈快速增加态势。人造地表由2000年的21138.95 km²增加到2010年的22154.02 km²,增长率为4.8%,是所有类型中增长速度最快的地类。但从绝对值来说,西伯利亚地区人造地表总面积增加不大,10年间仅增加了1015.43 km²。

其他地类中,灌丛面积仅有小幅增长,增加约77.09 km²;裸地和冰雪分别呈增加和减少的趋势,

其中裸地增加了313.83 km²,而冰雪面积约减少了25.61 km²,虽然变化幅度相对较小,但高纬度地区冰雪面积的微弱变化依然对全球变化具有较大研究价值。

3.1.3 区域差异

通过对西伯利亚各联邦主体单元和0.1°网格单元主要地表覆盖类型变化(图6-7)的分析发现,西伯利亚地表覆盖变化具有显著的区域差异性:

图6 2000-2010年西伯利亚各联邦主体地表覆盖面积变化量
Fig.6 Change in area of land cover types in different parts in Siberia, 2000-2010

图7 2000-2010年西伯利亚林地、湿地、耕地及人造覆盖的面积变化图
Fig.7 Change in area of the main land cover types in Siberia, 2000-2010

(1) 西西伯利亚地区的托木斯克州、克拉斯诺亚尔斯克边疆区、汉特—曼西自治区等区的林地减少幅度较大。整个西西伯利亚林地面积减少了约7409 km², 占西伯利亚林地减少总量的93.3%。草地变化区域主要集中在西伯利亚西部和南部地区, 如亚马尔—涅涅茨、汉诺—曼西、鄂木斯克等州草

地面积在减少, 而伊尔库茨克、新西伯利亚、克麦罗沃等草地面积呈小幅度增加。从图7可以看出, 西西伯利亚地区分布有林、草地变化的热点区域, 其中西西伯利亚的西部和东部区域分别集中了林地显著增加和减少的区域。

(2) 从图5可知, 西西伯利亚的中、北部地区是

湿地增加最明显的区域,包括亚马尔涅涅茨自治区、汉特—曼西自治区、托木斯克州、克拉斯诺亚尔斯克边疆区的西部地区等。结合图 6,西西伯利亚中部地区是湿地增加的集中区域,主要由于该区为鄂毕河和叶尼塞河所构成的西西伯利亚平原密集水网地带。

(3) 从联邦单元来看(图 5),耕地减少区域集中分布于西南部地区的克麦罗沃州、新西伯利亚州及哈卡斯共和国,其中克麦罗沃州耕地减少幅度达 741.33 km²。而耕地增加区域分布相对分散,主要在鄂木斯克州、外贝加尔边疆区、阿尔泰边疆区等传统的农业种植区,增加幅度最大的阿尔泰边疆区达 554.08 km²。从图 6 可以看出,增加和减少的耕地分别呈团块状分布于西南部区域。

(4) 西西伯利亚西南部的阿尔泰边疆区、萨哈共和国、外贝加尔边疆区及新西伯利亚州是人造地表变化较显著的区域,但由于人造地表总面积较小,分布较为集中,分布区域内部的区域差异较小(图 6)。

综合以上分析可以看出,西伯利亚地表覆盖变化具有显著的区域差异性,其中西西伯利亚地区各主要地表覆盖类型变化的显著性均较高。主要由于该区位于俄罗斯著名的西伯利亚经济区,与乌拉山以东的俄罗斯欧洲部分联系密切,城镇分布集中,经济发展较为活跃,社会经济水平的发展增强了人类活动对地表覆盖变化的扰动程度。

3.2 主要地表覆盖类型变化的原因

气候变化和人类活动是西伯利亚区域地表覆盖变化的主导因素。气候变暖的影响在西伯利亚全区均较为显著,而人类活动的影响主要集中在西伯利亚大铁路沿线地区。

3.2.1 传统林地工业区内的林地砍伐导致林地减少

运用 Markov 地表覆盖类型转换矩阵方法,得到西伯利亚地区 2000-2010 年间地表覆盖类型之间的相互转化率(表 3)。其中 2000-2010 年间减少的林地中约有 79.2%转化为草地,13.9%转为湿地。林地砍伐是人类活动对林地面积和分布的主要影响方式,林地转变为草地是林地砍伐后的结果。西伯利亚各联邦主体多处于资源依赖型经济增长阶段,传统的森林工业在国民经济中占据重要地位,林业部门主要依靠原木加工出口维持产业运行,林木加工率和利用率很低(Shvidenko et al, 1994),林地资源乱砍滥伐和浪费现象十分严重(范纯, 2010)。过去 60 年间,西伯利亚林地中约 6×10⁹ m³ 的高经济价值针叶林遭到商业目的砍伐,如克拉斯诺亚尔斯克边疆区、伊尔库茨克州、布里亚特共和国,森林工业占工业总产值的 20%~25%(初祥, 2001)。西西伯利亚的托木斯克—秋明、阿尔泰—克麦罗沃、鄂木斯克—新西伯利亚林业经济区具有相对完善的交通条件,便于向欧洲市场运输木材和木材加工品。因此,林地面积减少是经济压力胁迫下人类对地表覆盖利用的必然结果。

3.2.2 水体的季节性扩张和气候变暖引发的冰冻层消融造成湿地增加

从表 3 可以看出,减少的水体中约 56.9%转化为湿地,水体对湿地扩张的贡献率最高。水体的变化受季节影响较大,2000、2010 年西西伯利亚区的遥感影像以 5-9 月为主,该时段鄂毕河、叶尼塞河及勒拿河等大型水系水量的季节性增加和三角洲地带洪水的泛滥,使得水体在扩张过程中淹没了周围地区的草地和林地,呈现出湿地增加的态势。西西伯利亚地区的这些大型河流在极地沿海地区的下

表 3 2000-2010 年西伯利亚地表覆盖类型转换率矩阵/%
Tab.3 The transformation matrix of land cover types in Siberia/%, 2000-2010

	耕地	林地	草地	灌木	湿地	水体	人造地表	裸地	冰雪
耕地	0.0	23.8	68.8	0.0	1.8	1.2	4.3	0.1	0.0
林地	2.0	0.0	79.2	0.9	13.9	3.6	0.5	0.1	0.0
草地	4.7	77.2	0.0	0.5	12.3	3.9	0.8	0.7	0.0
灌木	0.0	63.5	35.3	0.0	0.6	0.5	0.1	0.0	0.0
湿地	0.8	30.1	32.8	0.0	0.0	36.0	0.1	0.2	0.0
水体	0.4	18.0	22.4	0.0	56.9	0.0	0.2	2.0	0.0
人造地表	22.7	28.6	38.4	0.1	7.4	2.2	0.0	0.6	0.0
裸地	0.1	4.1	61.8	0.0	8.0	25.8	0.2	0.0	0.0
冰雪	0.0	1.3	88.5	0.0	0.0	4.3	0.0	5.9	0.0

游地带形成了众多的湖泊,在IPCC发布的2007年全球气候变化报告中,Lemk等学者发现北极的冰冻圈层随气候变暖逐渐出现了缩减和融化,冰冻层的季节性融化会影响西伯利亚高纬度地区河流和湖泊的面积与分布,进而对湿地产生影响,使湿地面积出现季节性扩张(引自Cruz et al, 2007)。

3.2.3 耕地的人为废弃和搁置是耕地面积减少的主要原因

2000-2010年间,西伯利亚地区减少的耕地大部分转化为草地(68.8%)和林地(23.8%),南部农业地区的土壤盐渍化、生产技术有限、劳动力不足等一直是影响该区种植业发展的主要因素。据俄罗斯联邦2006年普查资料,西伯利亚联邦区有29%的农业组织、59%的农场已经停止或暂停工作,30%的农业组织和20%的农场耕地闲置,牲畜存栏率大幅度下降,废弃的耕地转化为了林地或草地(马友君, 2010)。随着近年来西伯利亚地区人口向俄罗斯西部发达地区的净迁出及城镇居民向城市的迁移,再度引发一些地区出现耕地减少现象。但是,伴随市场对农产品需求的增加,这种现象会有所缓和。

3.2.4 城市扩张是人工地表增加的主要原因

自20世纪90年代以来,西伯利亚地区人口迁出率和死亡率逐渐升高,人口数量呈缓慢减少趋势,引发一些小型城镇、废旧工矿的人工地表用地逐渐转化为其他地类。从地表覆盖转换矩阵(表3)中可以看出,减少的人工地表主要转化为林地、草地,主要来自人为废弃的居住用地和工矿用地,这种现象是长期不合理土地利用的结果。而西伯利亚大铁路沿线城市良好的交通条件和相对完善的基础设施建设推动了经济的发展,经济水平的提高促进了城市的扩张;新增的矿产、能源开发用地也是人工地表增加的主要驱动因素;而且城市人工地表的扩张速率和规模大于边远地区村镇和工矿用地的废弃,使得人工地表总体呈增加趋势。

4 结论与讨论

本文基于GlobeLand30数据,分析了西伯利亚2000-2010年地表覆盖变化的时空特征及变化原因,主要结论如下:

(1) 西伯利亚主要的地表覆盖类型是林、草地和湿地,分别占全区总面积的51.66%、29.72%和11.1%。林地、草地广泛分布于乌拉尔山和太平洋分水岭间的西西伯利亚平原和中西伯利亚高原,湿

地主要集中于西西伯利亚平原。

(2) 2000-2010年间,西伯利亚地表覆盖总体变化幅度较大。其中,变化幅度最大的是林地、草地和湿地,林地、草地显著减少,而湿地大幅增加;耕地和人造地表的变化幅度相对较小,其中耕地呈微弱减少趋势,而人造地表呈快速增加态势,其变化率最高。

(3) 西伯利亚地表覆盖变化具有显著的区域差异,变化最明显的区域为西西伯利亚地区。林地减少区域主要集中在西西伯利亚的传统林地工业区,而湿地增加区域主要位于西西伯利亚的鄂毕河—叶尼塞河水系网及太平洋沿岸的勒拿河下游三角洲地带。耕地和人造地表变化区主要位于西伯利亚大铁路沿线的人类活动聚居区。

(4) 西伯利亚地表覆盖变化是人类经济活动和自然条件变化的共同结果。林地减少的主要原因是林地砍伐,林地转变为草地或耕地是这一砍伐过程最后表现出的结果。湿地增加主要来自水体季节性扩张对林地、草地的占用,气候变暖引发的高纬度冰雪消融和水体扩张也是导致湿地大规模增加的重要原因。耕地的阶段性废弃和撂荒使耕地面积呈一定数量的减少。区域经济发展刺激下的城市扩张是人工地表增加的主要原因,增加的人工地表主要来自对城市周围耕地的占用。

本文结论表明,利用GlobeLand30数据,通过对地表覆盖类型的定量测算和定性分析,能够快速有效地确定大区域地表覆盖分布和变化。将本文的分析结果与已有研究成果进行对比分析发现,西伯利亚地区的地表覆盖变化对全球气候变化具有显著的敏感性,如本文中西伯利亚湿地面积的增加和分布区域的变化与高纬度地区冰雪消融之间具有密切联系。今后将对其具体联系过程作进一步深入研究。

致谢: 本文成文过程中得到中国科学院地理科学与资源研究所刘纪远研究员、北京师范大学地理学与遥感科学学院葛岳静教授等专家的指导并提出若干修改意见,在此一并感谢。

参考文献(References)

- 曹鑫,陈军,陈利军,等. 2014. 全球陆表水体空间格局与波动初步分析[J]. 中国科学: 地球科学, 44(8): 1661-1070. [Cao X, Chen J, Chen L J, et al. 2014. Preliminary

- analysis of spatiotemporal pattern of global land surface water[J]. *Science China: Earth Sciences*, 57(10): 2330-2339.]
- 陈军, 陈晋, 宫鹏, 等. 2011. 全球地表覆盖高分辨率遥感制图[J]. *地理信息世界*, 9(2): 12-14. [Chen J, Chen J, Gong P, et al. 2011. Higher resolution global land cover mapping[J]. *Geomatics World*, 9(2): 12-14.]
- 陈军, 陈晋, 廖安平, 等. 2014. 全球30m地表覆盖遥感制图的总体技术[J]. *测绘学报*, 43(6): 551-557. [Chen J, Chen J, Liao A P, et al. 2014. Concepts and key techniques for 30 m global land cover mapping[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 43(6): 551-557.]
- 初祥. 2001. 俄罗斯西伯利亚森林工业现状与发展趋势[J]. *东欧中亚市场研究*, (1): 42-47. [Chu X. 2001. Eluosi xiboliya senlin gongye xianzhuang yu fazhan qushi[J]. *East European, Russian & Central Asian Market Studies*, (1): 42-47.]
- 范纯. 2010. 俄罗斯环境政策评析[J]. *俄罗斯中亚东欧研究*, (6): 19-25. [Fan C. 2010. Analysis of Russia's environment policy[J]. *Russian, Central Asian & East European Studies*, (6): 19-25.]
- 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 2002. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. *中国科学: 地球科学*, 32(12): 1031-1040. [Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, et al. 2002. Zhongguo jinqi tudi liyong bianhua de kongjian geju fenxi[J]. *Science in China: Earth Sciences*, 32(12): 1031-1040.]
- 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 2009. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. *地理学报*, 64(12): 1411-1420. [Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. 2009. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. *Acta Geographica Sinica*, 64(12): 1411-1420.]
- 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 2003. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. *地理研究*, 22(1): 1-12. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F, et al. 2003. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. *Geographical Research*, 22(1): 1-12.]
- 刘子刚, 马学慧. 2006. 世界最大的泥炭地: 俄罗斯瓦休甘泥炭沼泽[J]. *湿地科学与管理*, 2(3): 62-63. [Liu Z G, Ma X H. 2006. Shijie zuida de nitandi: Eluosi waxiugan nitan zhaoze[J]. *Wetland Science & Management*, 2(3): 62-63.]
- 马友君. 2010. 西伯利亚农业发展现状及趋势[J]. *西伯利亚研究*, 37(1): 27-31. [Ma Y J. 2010. Present situation and tendency of Siberian agricultural development[J]. *Siberian Studies*, 37(1): 27-31.]
- 宁佳. 2012. 西伯利亚大铁路东部沿线区域土地利用变化研究[D]. 北京: 中国科学院大学: 35-43. [Ning J. 2012. Study of land use change in the eastern part along the trans-Siberian Railway[D]. Beijing, China: University of Chinese Academy of Sciences: 35-43.]
- 朱立君, 王卷乐, Darbalaeva D, 等. 2012. 外贝加尔土地覆盖变化驱动机制研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 35(12): 19-22. [Zhu L J, Wang J L, Darbalaeva D, et al. 2012. Land cover pattern and its dynamics analysis in Transbaikalia Area in Russia[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 35(12): 19-22.]
- Kolchugina T P, Vinson T S. 1995. 俄罗斯森林在全球碳平衡中的作用[J]. 朱志辉, 译. *AMBIO*, 24(5): 258-264. [Kolchugina T P, Vinson T S. 1995. The role of Russian forest in global carbon balance[J]. Zhu Z H, Trans.. *AMBIO*, 24(5): 258-264.]
- Shvidenko A, Nilsson S. 1994. 对西伯利亚森林我们了解什么[J]. 张洪江, 郭健, 译. *AMBIO*, 23(7): 396-404. [Shvidenko A, Nilsson S. 1994. What we know about Siberian forest[J]. Zhang H J, Guo J, Trans.. *AMBIO*, 23(7): 396-404.]
- Chen J, Chen J, Liao A P, et al. 2015. Global land cover mapping at 30m resolution: a POK-based operational approach[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103: 7-27.
- Cruz R V, Harasawa H, Lal M, et al. 2007. *Asia[R]//Parry M L, Canziani O F, Palutikoff J P, et al. Climate change 2007: impacts adaptation and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press: 469-506.
- IGBP. 2005. IGBP report No. 53/IHDP report No. 19: science plan and implementation strategy[R/OL]. 2011- 04- 06 [2014- 01- 19]. http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680006384/1376383121392/report_53-GLP.pdf.
- Kobak K I, Turcmnovich I Y, Kondrasiheva N Y, et al. 1996. Vulnerability and adaptation of the larch forest in eastern siberia to climate change[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 92(1-2): 119-127.
- Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. 1995. IGBP report No. 48/IHDP report No. 10: land-use and land-cover change (LUCC): implementation strategy[R/OL]. 2015- 05- 11 [2013- 09- 13]. http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680006377/1376383119247/report_48LUCC.pdf.
- Lepokurova O E, Ivanova I S. 2014. Geochemistry of iron in organogenic water of Western Siberia, Russia[J]. *Proceedia Earth and Planetary Science*, 10: 297-302.
- Robarts R D, Zhulidov A V, Pavlov D F. 2013. The State of knowledge about wetlands and their future under aspects

- of global climate change: the situation in Russia[J]. *Aquatic Sciences*, 75(1): 27-38.
- Schlütz F, Lehmkuhl F. 2006. Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results, with implications for climatic teleconnections and human history since the middle Holocene [J]. *Vegetation History and Archaeobotany*, 16(2-3): 101-118.
- Smith L C, Sheng Y, MacDonald G M, et al. 2005. Disappearing arctic lakes[J]. *Science*, 308: 1429.
- Tchebakova N M, Parfenova E I, Soja A J. 2011. Climate change and climate-induced hot spots in forest shifts in central Siberia from observed data[J]. *Regional Environmental Change*, 11(4): 817-827.
- Tchebakova N M, Rehfeldt G E, Parfenova E I. 2010. From vegetation zones to climatypes: effects of climate warming on siberian ecosystems[M]//Osawa A, Zyryanova O A, Matsuura Y, et al. *Permafrost ecosystems: Siberian larch forests*. Berlin, Germany: Springer: 209, 427-446.
- Turner B L, Janetos A C, Verburg P H, et al. 2013. Land system architecture: using land systems to adapt and mitigate global environmental change[J]. *Global Environmental Change*, 23(2): 395-397.
- Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. 1995. IGBP report No. 35/HDP report No. 7: land use land cover change science/research plan[R/OL]. 2015-05-06[2014-02-15]. http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680006394/1376383134962/report_59-IHOPE.pdf. 2014-02-15.
- Wagner W, Luckman A, Vietmeier J, et al. 2003. Large-scale mapping of boreal forest in SIBERIA using ERS tandem coherence and JERS backscatter data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 85(2): 125-144.
- Zakharova E A, Kouraev A V, Rémy F, et al. 2014. Seasonal variability of the western Siberia wetlands from satellite radar altimetry[J]. *Journal of Hydrology*, 512: 366-378.
- Zhulidov A, Headley J V, Robarts R D. 1997. *Atlas of Russian wetlands: biogeography and metal concentrations*[M]. Saskatoon, Canada: National Hydrology Research Institute, Environment: 101-102.

Characteristics of land cover change in Siberia based on GlobeLand30, 2000–2010

ZHANG Yushuo^{1,2}, CHEN Jun², CHEN Lijun², LI Ran², ZHANG Weiwei², LU Nan^{2,3}, LIU Jiyu^{2,3}

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. National Geomatics Center of China, Beijing 100830, China; 3. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Siberia is an important sensitive area with regard to global environmental change. Due to the limited availability of high resolution remote sensing data, previously there was a general lack of in-depth understanding of land cover and change in Siberia. Based on the land cover classification of China's 30 m global land cover (GLC) data product (GlobeLand30) in 2000 and 2010, this study analyzed the progress of land cover change in Siberia between 2000 and 2010 using spatial statistical method and land cover type transition matrix. Land cover changes in Siberia showed significant spatial and temporal variations between 2000 and 2010. Overall, the area that experienced most clear land cover change was west Siberia. The area of forests and grasslands decreased substantially and the change mainly took place in the traditional forest industry regions. The total area of wetland significantly increased and this change occurred mainly in the River Ob and Yenisei in west Siberia. Cultivated land decreased slightly mainly in the traditional agricultural region of the southwest. Built-up areas expanded rapidly, which mainly distributed in cities along the Trans-Siberian Railway. Land cover change in Siberia showed distinct temporal and spatial disparities primarily due to two reasons: industrial development and climate warming.

Key words: land cover; land cover change; GlobeLand30; Siberia