

# Урбанизация в Сибири. Взгляд со спутника<sup>1</sup>

**П. ФАН**, Школа планирования, проектирования и строительства, Центр по проблемам глобальных изменений и наблюдений Земли, Университет штата Мичиган. E-mail: fanpeile@msu.edu

**Дж. ЧЕН**, кафедра географии, экологии и пространственных наук, Центр по проблемам глобальных изменений и наблюдений Земли, Университет штата Мичиган. E-mail: jqchen@msu.edu

**З. УАНГ**, Центр по проблемам глобальных изменений и наблюдений Земли, Университет штата Мичиган, Ист-Лэнсинг, США. E-mail: yangzuta@msu.edu

Основываясь на ночных снимках, сделанных спутниковой системой Landsat, авторы изучили процессы урбанизации в Сибири в период с 1992 г. по 2012 г. Изменения в освещенности городской застройки соответствуют спадам и подъемам экономической активности. Несмотря на заметное сокращение населения Сибири за этот период, крупные административные центры – Новосибирск, Красноярск, Омск, Иркутск – в последние 10 лет испытывают приток населения и увеличиваются в размерах за счет прилегающих сельских территорий. В статье определены основные экологические проблемы указанных городов, выявлены особенности соотношений показателей урбанизации и экономического развития. *Ключевые слова:* урбанизация, городская застройка, экология, загрязнение воздуха, Сибирь, спутниковые системы наблюдений

Города и поселки Сибири долгое время выполняли функции транспортных и промышленных узлов для смежных видов деятельности с первых дней существования Транссибирской магистрали, построенной 120 лет назад. После краха СССР в 1991 г. эти центры концентрации населения (более 70% жителей Сибири традиционно проживали в городах) столкнулись с новыми для себя проблемами, включая хаотичную миграцию и депопуляцию. С 1991 г. по 2016 г. доля Сибирского федерального округа в численности населения России сократилась с 14,3 до 13,4%. Такая динамика численности в сочетании с нестабильной экономикой препятствует устойчивому ландшафту и градостроительному

<sup>1</sup>Мы хотели бы выразить признательность Национальному управлению по авионавигации и исследованию космического пространства (НАСА) за грантовую поддержку, сделавшую возможной полевые исследования П. Фан в Сибири в мае 2015 г. Мы благодарим всех тех жителей сибирских городов, кто нашел время поделиться с нами своими знаниями и мнениями, в особенности координатору поездки, доктору Лихуа Сюй, коллегам за их помощь и конструктивные комментарии. Выводы и рекомендации, изложенные в документе, являются мнениями авторов и необязательно отражают точку зрения НАСА, ЦГС, MSU.

планированию, направленным на долгосрочную стабильность региона. Тем не менее мы имеем интересную возможность изучить уникальную динамику городских систем в переходной экономике.

Несмотря на актуальность темы, в современной научной литературе исследованию городских систем Сибири уделяется мало внимания, публикации по этим вопросам на английском языке относительно немногочисленны [1, 2, 3]. В этой статье мы сосредоточимся на изучении процессов урбанизации в Сибири с 1990-х гг. по 2010-е гг. Урбанизация<sup>2</sup> здесь понимается и в демографическом, и в градостроительном ключе [4].

Исследование было посвящено следующим вопросам.

1. Как отражались спады и подъемы экономической активности на показателях урбанизации в Сибири? Каковы пространственные различия?
2. Каковы основные экологические проблемы, стоящие перед сибирскими городами?
3. Какова связь между экономическим развитием и урбанизацией в Сибири?

## Область исследования

В широком понимании к Сибири относится обширная территория, простирающаяся от востока Уральских гор до тихоокеанского побережья, и от Северного Ледовитого океана до границы России со странами Средней Азии, Китаем и Монголией. В этой статье мы использовали более узкое определение Сибири, которое включает только Сибирский федеральный округ РФ (табл. 1). В СФО, занимающем около 30% территории России, проживает 19 млн чел. (13% от общей численности населения страны). Здесь же расположены 30% российских городов, с населением более 100 000 человек (на 2016 г.). Большинство из этих городов находятся в юго-западной части округа. Для своего исследования мы выбрали четыре крупных административных и промышленных центра – Красноярск, Омск, Новосибирск, Иркутск. Первые три из них являются самыми крупными городами Сибири с населением более 1 млн жителей каждый. Иркутск, хотя

<sup>2</sup>Урбанизация – это увеличение соотношения между городским населением и общей численностью населения и увеличение площади городской застройки (т.е. переход из негородских земель в городскую застроенную территорию). Обратное направление можно обозначить как «деурбанизация».

по численности населения и уступает Барнаулу, входит в пятерку крупнейших городов и служит важным узлом на Транссибирской магистрали. Экспертные интервью были проведены в Красноярске, Новосибирске и Иркутске.

Таблица 1. Основные социально-экономические характеристики Сибирского федерального округа (2016 г.)

Показатель	Сибирь	Азиатская часть России	Россия	Доля СФО в России, %
Площадь, км <sup>2</sup>	5 114 800	13 132 800	17 075 400	30
Население, чел.	19 324 031	37 630 081	144 221 341	13
Количество регионов	12	27	85	14
Количество городов	4 082	6 781	22 923	18
Количество городов с населением более 100000 чел.	21	47	165	30
Урбанизация (2014), %	72,7	75,5	74,0	

### Данные и методика исследования

В своем исследовании мы опирались на спутниковые изображения, статистические данные по социально-экономическим переменным и интервью с местными экспертами – для подтверждения и уточнения сделанных выводов.

#### *Изменения ландшафта*

В основе нашего подхода лежит предположение о том, что увеличение площади ночной городской освещенности говорит о росте экономической активности и расширении границ застройки. Сокращение освещенности в ночное время может быть результатом прекращения деятельности фирм и фиксируется спутником как сокращение площади активной городской застройки.

Мы изучили пространственно-временные вариации урбанизации Сибири посредством анализа данных ночной космической съемки спутником DMSP/OLS<sup>3</sup>. Этот продукт выбран потому, что он имеет самую длинную историю наблюдений, охватывающую интересующий нас период, и дает хорошее представление о плотности населения, экономической активности и площади искусственных сооружений (городской застройки) [5, 6]. Для

сглаживания различий между показателями отдельных датчиков мы воспользовались одной из методик [7]. Кроме того, из рассмотрения были исключены некоторые яркие ареалы ночного освещения, которые могли оказаться газовыми факелами (данные о локализации газовых факелов взяты из работы [5]). В случаях, когда в свободном доступе имелось несколько годовых отчетов DMSP/OLS о ночном освещении одного и того же ареала, мы выбирали наиболее подробный из них.

Для преобразования данных о ночном освещении в данные о плотности городской застройки обычно используются пороговые методы [8], но соответствующий пороговый уровень может различаться для разных городских кластеров и разных периодов из-за социально-экономических отличий, разницы чувствительности датчиков и других факторов [9–11]. Для упрощения расчетов мы для всего макрорегиона использовали единый порог за все годы. Основываясь на исследовании, в котором рассчитана динамика урбанизации Китая, включая территории, пограничные с Россией [10], порог для картографирования городской территории через ночное освещение был выбран от 40 и выше. Таким образом, для каждого субъекта Федерации мы рассчитали область с уровнем ночного освещения более 40 с 1992 г. по 2012 г., определив ее как «городскую» территорию, по следующей формуле:

$$Y = C0 + C1X + C2X^2,$$

где  $Y$  – это условный внутренний диаметр (DN) в среднем за год, а  $X$  – внутренний диаметр (DN) F12 за 1999 г.,  $C0$ ,  $C1$ ,  $C2$  – коэффициенты корректировки (табл. 2) (подробнее см. [7]).

Дополнительно для изучения пространственно-временных изменений ареал городской застройки уточнялся на основании изображений Landsat за 1988, 2000 и 2010 гг., загруженных с ресурса геологической службы США [12] в формате Level-1 geo-referenced product, который затем был преобразован в коэффициент отражения, с помощью встроенной в программу ENVI 4.8 функции калибровки. С помощью программы EARDAS IMAGINE9.3 каждое изображение было классифицировано по категориям «городская застройка», «лесное хозяйство», «водная поверхность», «сельские территории» и «голая почва». Участки, классифицированные как «леса», «водные поверхности» и «голая почва», были исключены из рассмотрения. Оставшиеся части изображений были классифицированы как городские либо сельские территории. Для

<sup>3</sup> Спутниковая программа метеорологических наблюдений НАСА DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), в которой используются датчики OLS (оперативной системы линейного сканирования).

более точной классификации и устранения пятен менее шести пикселей использовались программные методы группирования, просеивания и объединения данных. Окончательная корректировка изображений производилась вручную.

Таблица 2. Данные спутников DMSP/OLS, использованные в исследовании и коэффициенты, применяемые для их корректировки по годам (1992-2012 гг.)

Спутник	Год	C0	C1	C2	Спутник	Год	C0	C1	C2
F10	1992	-2,0570	1,5903	-0,0090	F15	2003	0,2217	1,5122	-0,0080
F10	1993	-1,0582	1,5983	-0,0093	F15	2004	0,5751	1,3335	-0,0051
F10	1994	-0,3458	1,4864	-0,0079	F15	2005	0,6367	1,2838	-0,0041
F12	1995	-0,0515	1,2293	-0,0038	F15	2006	0,8261	1,2790	-0,0041
F12	1996	-0,0959	1,2727	-0,0040	F16	2007	0,3210	0,9216	0,0013
F12	1997	-0,3321	1,1782	-0,0026	F16	2008	0,5564	0,9931	0,0000
F12	1998	0,1535	1,0451	-0,0009	F16	2009	0,9492	1,0683	-0,0016
F14	1999	-0,1557	1,5055	-0,0078	F18	2010	2,3430	0,5102	0,0065
F15	2000	0,1029	1,0845	-0,0010	F18	2011	1,8956	0,7345	0,0030
F15	2001	-0,7024	1,1081	-0,0012	F18	2012	1,8750	0,6203	0,0052
F15	2002	0,0491	0,9568	0,0010					

### Данные о вредных выбросах в атмосферу

Средняя концентрация вредных выбросов в пределах административных границ рассматриваемых городов рассчитывалась по данным о загрязнении тонкодисперсными частицами (ТЧ<sub>2,5</sub>) и диоксида азота (NO<sub>2</sub>), наблюдаемых Группой анализа атмосферного состава [13]. Оценка годовой концентрации ТЧ<sub>2,5</sub> наземного уровня проводилась путем комбинирования данных спутниковых сканеров NASA MODIS, MISR и SeaWiFS с данными глобальной модели состава атмосферы GEOS-Chem [14]. Ежегодный уровень NO<sub>2</sub> на уровне земли был получен при разрешении 0,1 × 0,1 градуса на основе данных мониторинга плотности тропосферных столбов NO<sub>2</sub> тремя спутниковыми системами: GOME, SCIAMACHY и GOME-2 и данных модели состава атмосферы GEOS-Chem.

*Социально-экономические, демографические и другие статистические данные*

Для изучения движущих сил урбанизации в Сибири мы собрали данные по демографии и экономическому развитию регионов СФО и данные для всех городов с населением более 100 000 человек. Основными источниками стали статистические

сборники «Социально-экономические показатели регионов России» за 2004–2015 гг. и данные переписи Федеральной службы государственной статистики РФ. Были также совершены ознакомительные поездки в Новосибирск, Красноярск и Иркутск в мае 2015 г. В каждом городе мы попросили местных экспертов описать этапы градостроительства и основные движущие силы каждого этапа, представить иллюстративную карту пространственной структуры города и перечислить основные экологические и социальные проблемы.

## Результаты

### Изменения городского ландшафта

В Сибири наблюдается интересная динамика городских ландшафтов (рис. 1 на с. 4 обложки).

Синий цвет – данные спутника F10 за 1992 г., зеленый – F15 за 2000-й, а красный – F18 за 2012-й, желтый – городские территории, существовавшие до 2000 г., красный – новые городские территории, появившиеся после 2000 г.; белые пятна – это территория застройки, сохранявшейся в течение 1992–2012 гг., синие точки показывают исчезнувшие или заброшенные после 1992 г. объекты городской застройки.

При наложении снимков с 1992 по 2012 гг. хорошо видно, что в течение этого периода некоторые сельские территории были преобразованы в городские земли, но существовало и обратное направление. Более подробное исследование городской застройки каждого района показывает, что с 1992 г. по 2002 г. в большинстве рассмотренных субъектов Федерации ареалы освещенности городов «сжимались» по площади, что свидетельствует о соответствующем спаде в городской экономике, а после 2002 г. снова начали расти, при этом ни один из субъектов Федерации не смог восстановиться до уровня 1992 г. (рис. 2).

Анализ городского ландшафта в четырех крупнейших городах Сибири показывает, что, в отличие от Сибири в целом, в ее административных центрах урбанизационные процессы не останавливались – города продолжали увеличиваться в размерах, правда, в разной степени и с разной скоростью (рис. 3). Например, Новосибирск начал с крупнейшей в Сибири освещенной территории 14,72 км<sup>2</sup> в 1988 г. и к 2000 г. расширился до 19,59 км<sup>2</sup>, но затем по окраинам стал сжиматься – до 18,1 км<sup>2</sup> в 2014 г. Аналогичные тенденции мы видим в Красноярске, хотя его площадь значительно меньше, чем у Новосибирска. Омск и Иркутск расширялись постоянно в течение исследуемого пе-

риода. Особенно заметно выросла городская застройка в Омске: с 5,07 км<sup>2</sup> в 2000 г. до 12,02 км<sup>2</sup> в 2014-м. Напомним, что все эти измерения основаны на данных спутника и предназначены скорее для оценки общего тренда, а не точных измерений площади городской застройки.

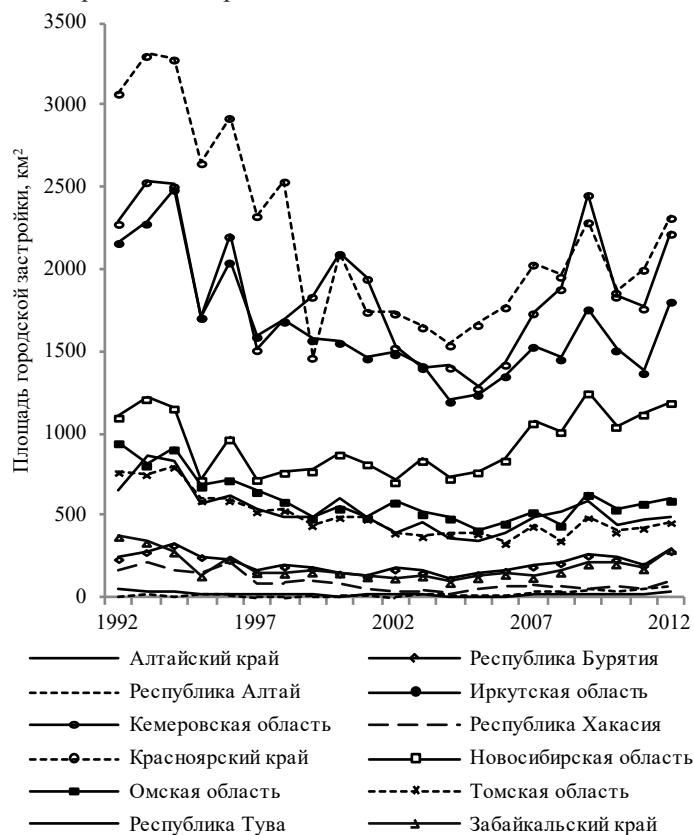


Рис. 2. Динамика площади освещенной городской застройки в 12 субъектах Федерации СФО с 1992 г. по 2012 г.

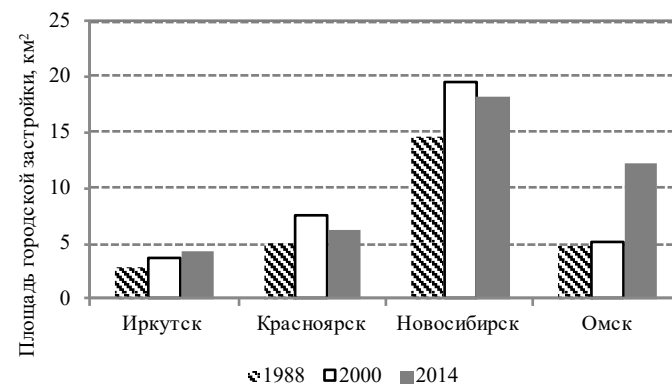


Рис. 3. Расширение площади освещенной городской застройки Иркутска, Красноярска, Новосибирска и Омска в 1988 г., 2000 г., 2014 г.

#### Динамика численности населения

С 1991 г. по 2016 г. население СФО сократилось на 8,8%, хотя в Российской Федерации в целом – на 2,7% (без учета Крыма). Сокращение популяции коснулось каждого из 12 субъектов Федерации, хотя и в разной степени. При этом городское население крупных административных центров после сокращения в период с 1989 г. по 2002 г. затем снова начало расти, несмотря на продолжающиеся потери или застойный рост популяции соответствующих регионов. В результате доля этих городов в общем количестве населения субъектов увеличивалась с течением времени (табл. 3).

Таблица 3. Доля административного центра в населении субъекта Федерации в 1998–2016 гг., %

Город	1998	2002	2010	2016
Иркутск	22	23	24	26
Красноярск	30	31	34	37
Новосибирск	52	53	55	57
Омск	54	56	58	60

### Экологические изменения

Из четырех рассматриваемых сибирских городов Иркутск показал наилучшие результаты по уровню загрязнения воздуха (по ТЧ<sub>2,5</sub> и NO<sub>2</sub>), в Омске отмечена самая высокая концентрация ТЧ<sub>2,5</sub>, а в Новосибирске – NO<sub>2</sub>. Во всех городах концентрация вредных веществ в атмосфере с течением времени росла. Отдельный интерес представляет характер изменений соответствующих кривых, особенно в сопоставлении по городам (рис. 3).

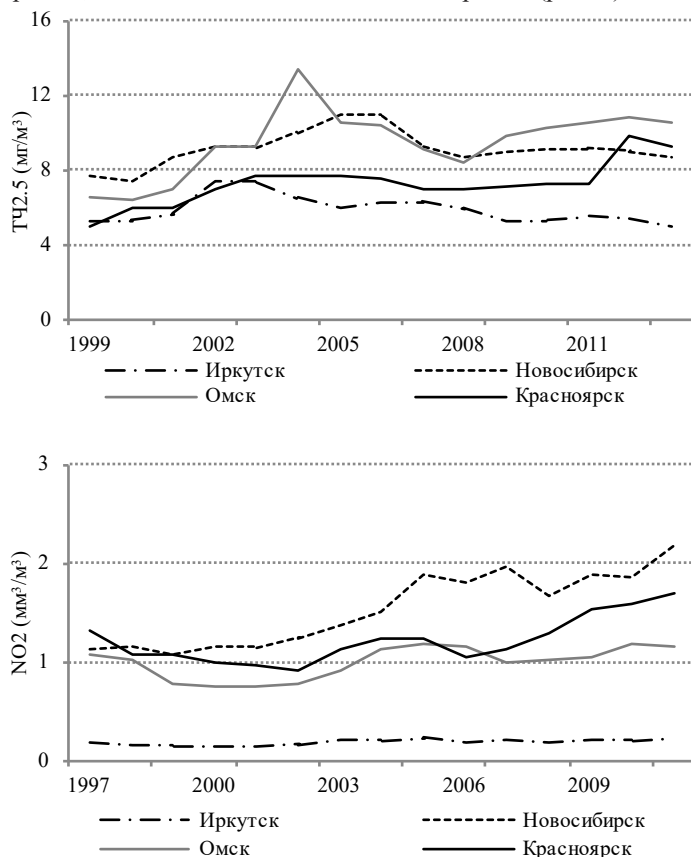


Рис. 3. Загрязнители воздуха (ТЧ<sub>2,5</sub> и NO<sub>2</sub>) в крупных административных центрах Сибири в 1999–2011 гг.

Для полноты картины мы попросили местных экспертов охарактеризовать наиболее сложные экологические проблемы в своих городах и обсудили с ними возможные причины и пути решения проблем. В статье представлены их мнения в обобщенном виде. Среди основных экологических проблем больших городов были названы сокращение зеленых насаждений, загрязнение воздуха, переработка мусора.

Во-первых, вопреки существующим стереотипам о том, что сибирские города гораздо просторнее и «зеленее», чем большинство городов в других частях страны, проблему сокращения зеленых насаждений и парков местные эксперты отметили как одну из основных. Например, жителям Красноярска не хватает городских парков. В Иркутске немногочисленные открытые пространства заполняет интенсивное строительство, в то время как площадь зеленых насаждений не увеличивается.

Во-вторых, проблема загрязнения воздуха, по отзывам, особенно обостряется в некоторые сезоны. Например, в зимние месяцы. Некоторые эксперты считают, что Новосибирск имеет в целом хорошее качество воздуха, что объясняется, с одной стороны, хорошей «продуваемостью» (город расположен на западной окраине Сибирской равнины), с другой стороны – закрытием или выносом из центра некоторых промышленных предприятий (например, закрытый Оловянный завод в свое время был основным источником загрязнений в западных районах города). Однако некоторые респонденты отмечают, что сокращение промышленных выбросов в значительной мере нивелируется увеличением выброса от автотранспорта, количество которого сильно выросло за исследуемый период. В Красноярске основными источниками загрязнения воздуха долгое время были угольные электростанции и предприятия металлообработки (алюминиевые заводы). Сегодня лидируют по числу выбросов автотранспорт и те же алюминиевые заводы.

В-третьих, как одна из проблем, все больше привлекающих внимание граждан (и не только в Сибири, но по всей России), были названы мусор и его утилизация. Людей стало беспокоить расширение мусорных свалок, приводящее к потере земли и необходимости строительства мусороперерабатывающих предприятий.



Следует также отметить, что экологические проблемы в исследуемых городах часто связаны с особенностями их пространственной организации. Например, академгородки в Новосибирске и Красноярске расположены в лесной зоне, их объекты полностью интегрированы в лесной ландшафт. В то же время в Новосибирске наиболее загрязненным районом является старое ядро города, созданное в 1940-х годах, тогда как для Красноярска это северо-восточная часть города, где расположены энергообъекты и химические заводы. В последние годы из-за низких цен на землю там построено множество супермаркетов.

#### Обсуждение

Каковы же основные движущие силы изменений ландшафта в городах Сибири? Давно принято считать, что урбанизация тесно связана с экономическим развитием [15]. Взаимозависимость расширения размеров города и экономического развития (а также ее связь с политикой и экстремальными событиями) исследовалась многими учеными [4, 16, 17]. Вписываются ли сибирские города в эту тенденцию? Чтобы выявить связь между урбанизацией и экономическим развитием, мы провели простой корреляционный анализ Пирсона, сравнив данные о размерах городов, количестве населения и душевом ВРП, который представляет уровень экономического развития (табл. 4). Мы изучили показатели не только Сибири в целом, но и двух регионов, столицы которых являются первым и третьим по численности населения городами СФО (Красноярского края и Новосибирской области). Как показал наш анализ, прямая корреляция между размерами городов и численностью городского населения, обычно наблюдаемая в других частях мира, с 1992 г. по 2012 г. не отмечалась в Сибири. В большинстве сибирских городов в этот период отсутствовала четкая взаимосвязь между (1) площадью городской застройки и душевым ВРП, или (2) численностью населения и ВРП. Единственное исключение – Новосибирск, где имеется значительная корреляция (0,82) между размерами города и ВРП. Однако в последние десять лет регион, по-видимому, приблизился к мировым тенденциям. Коэффициенты корреляции между площадью городской застройки и ВРП составили более 0,73 для Сибири, Красноярска и Новосибирска, а в Новосибирске

довольно высоким (0,62) является и соотношение количества жителей и душевого ВРП.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции в Сибирском федеральном округе, Красноярском крае и Новосибирской области в 1992–2012 гг.

Показатель	1992–2012			2002–2012		
	Городская застройка	Городское население	ВРП на душу	Городская застройка	Городское население	ВРП на душу
<b>СФО</b>						
Городская застройка	1,000	0,228	0,110	1,000	-0,653	0,767
Городское население	–	1,000	-0,878	–	1,000	-0,819
Городское население	–	–	1,000	–	–	1,000
<b>Красноярский край</b>						
Городская застройка	1,000	0,433	-0,142	1,000	-0,686	0,732
Городское население	–	1,000	-0,873	–	1,000	-0,748
ВРП на душу	–	–	1,000	–	–	1,000
<b>Новосибирская область</b>						
Городская застройка	1,000	-0,331	0,817	1,000	0,407	0,825
Городское население	–	1,000	-0,548	–	1,000	0,621
ВРП на душу	–	–	1,000	–	–	1,000

#### Заключение

Мы оценивали процессы урбанизации Сибири с 1992 г. по 2012 г. путем изучения изменений в численности городского населения и площади действующих объектов городской застройки (размеров городов). Контуры городской застройки оценивались по данным ночного освещения на спутниковых снимках Landsat, с высоким разрешением для территории Новосибирска, Красноярска, Омска и Иркутска. Мы обнаружили, что в исследуемый период в целом по Сибири существовала тенденция сокращения и обезлюдения городских территорий (дезурбанизация). Хотя со временем степень урбанизации снова начала расти, однако ни один из регионов, входящих в СФО, не восстановился по этому показателю до уровня 1992 г. В крупных административных центрах динамика урбанизационных

процессов отличалась от общесибирской. Все они к концу рассматриваемого периода стали больше по размерам, чем в 1992 г., а также увеличили число жителей (на фоне общего сокращения населения в регионах).

В части экологических наблюдений мы обнаружили, что в четырех крупных административных центрах, несмотря на сокращение промышленного производства, наблюдались тенденции увеличения концентрации вредных примесей, а именно – ТЧ<sub>2</sub>,5 и NO<sub>2</sub>. Наши полуструктурированные интервью показали, что главные экологические проблемы, с которыми сталкиваются города Сибири – это недостаток зеленых насаждений, загрязнение воздуха и утилизация отходов.

Наконец, мы обнаружили, что урбанизация в Сибири долгое время никак не коррелировала с экономическим развитием городов. Лишь после 2003 г. стала проявляться взаимосвязь между урбанизацией и экономическим развитием.

Наше исследование является лишь первым шагом на пути изучения процессов урбанизации в Сибири. Многие вопросы еще остаются без ответа. Например, какую роль играет планирование в процессах урбанизации / дезурбанизации? Как городская среда связана с экономическим развитием и расширением городов? Как соотносятся тенденции, наблюдаемые в Сибири, с общероссийскими? Почему и по какой причине возникли расхождения в тенденциях урбанизации, наблюдаемые в разных регионах Сибири? Какой интеллектуальный вклад мы можем внести в урбанистику, изучая сибирские города? Мы надеемся, что эта статья будет полезна для долгосрочного устойчивого развития городов Сибири.

### Литература:

1. *Suspitsyn S.A.* Realities and alternatives for the development of Siberia// *Problems of Economic Transitions*.– 2012.– № 55:6.– P. 10–29.
2. *Grigoriev S.I.* The half-century evolution of sociology in Siberia// *Sociological Research*.– 2009.– № 48(5).– P. 73–85.
3. *Bashalkhanova L.B., Bashalkhanov I.A., & Veselova V.N.* Dynamics of the subsistence minimum on discomfort territories of East Siberia// *Geography and Natural Resources*.– 2012.– № 33(2).– P. 158–164.
4. *Fan P., Chen J., & John R.* Urbanization and environmental change during the economic transition on the Mongolian Plateau: Hohhot and Ulaanbaatar// *Environmental Research*.– 2016.– № 144.– P. 96–112.

5. *Elvidge C.D., Ziskin D., Baugh K.E., Tuttle B.T., Ghosh T., Pack D.W., Erwin E.H., & Zhizhin M.* A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data// *Energies*.– 2009.– № 2(3).– P. 595–622.
6. *Lu D., & Weng Q.* A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance// *International Journal of Remote Sensing*.– 2007.– № 28(5).– P.23–870.
7. *Elvidge C.D., Hsu F.C., Baugh K.E., & Ghosh T.* National trends in satellite-observed lighting. *Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation*// CRC Press.– 2013.– № 23.– P.97–118.
8. *Imhoff M.L., Lawrence W.T., Stutzer D.C., & Elvidge C.D.* A technique for using composite DMSP/OLS “city lights” satellite data to map urban area// *Remote Sensing of Environment*.– 1997.– № 61(3).– P.361–370.
9. *Li X., & Zhou Y.* Urban mapping using DMSP/OLS stable night-time light: a review// *International Journal of Remote Sensing*.– 2017.– P. 1–17.
10. *Liu Z., He C., Zhang Q., Huang Q., & Yang Y.* Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008// *Landscape and Urban Planning*.– 2012.– № 106(1).– P.62–72.
11. *Ouyang Z., Fan P., & Chen J.* (2016). Urban Built-up Areas in Transitional Economies of Southeast Asia: Spatial Extent and Dynamics// *Remote Sensing*.– 2016.– № 8(10).– P. 819.
12. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/>
13. URL: <http://fizz.phys.dal.ca/~atmos/martin/>
14. *Geddes J.A., Martin R.V., Boys B.L., & van Donkelaar A.* Long-term trends worldwide in ambient NO<sub>2</sub> concentrations inferred from satellite observations// *Environmental Health Perspectives* (Online).– 2016.– № 124(3).– P. 281.
15. *Elvidge C.D., Baugh K.E., Kihn E.A., Kroehl H.W., Davis E.R., & Davis C.W.* Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption// *International Journal of Remote Sensing*.– 1997.– № 18(6).– P.1373–1379.
16. *Acemoglu D., Johnson S., & Robinson J.A.* Reversal of fortune: Geography and institutions in the making of the modern world income distribution// *The Quarterly Journal of Economics*.– 2002.– № 117(4).– P.1231–1294.
17. *Tian L., Chen J., & Yu S.X.* Coupled dynamics of urban landscape pattern and socioeconomic drivers in Shenzhen, China// *Landscape Ecology*.– 2014.– № 29(4).– P.715–727.