

ГЕОГРАФИЯ ЗА РУБЕЖОМ

УДК 91(549.1)

DOI: 10.15372/GIPR20210416

С.Ш. МЕХДИ, М. МИАНДАД, М.М. АНВАР, Г. РАХМАН, Х. АШРАФ

Университет Гуджрата, Джалалпур Джаттан, Гуджрат – 50700, Пенджаб, Пакистан,
17021708-009@uog.edu.pk, muhammad.miandad@uog.edu.pk, Mushahid.anwar@uog.edu.pk,
ghani.rahman@uog.edu.pk, humayun.22@uog.edu.pk

ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ И ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В ГУДЖРАТЕ (ПАКИСТАН) В 1985–2015 ГОДЫ

Изучены коренные изменения в землепользовании и состоянии земельных угодий г. Гуджрат (провинция Пенджаб, Пакистан), произошедшие за последние десятилетия. Они имеют давнюю историю и представляют собой важный фактор глобальных изменений городского ландшафта. Предпринята попытка определить пространственно-временные изменения в землепользовании и площадях земельных угодий, обусловленные антропогенной деятельностью. Исследование выполнено на основе разновременных спутниковых изображений (за 1985, 1995, 2005 и 2015 гг.) Геологической службы США, полученных с различных спутников Landsat. Обработка спутниковых изображений проводилась в программах ERDAS Imagine 2014 и ArcGIS 10.3.1. В результате работы составлены четыре карты, отражающие пространственно-временную динамику земельных угодий. В их составе выделены пять видов: растительный покров, оголенная почва, пески, водные объекты и застроенные территории. Результаты исследования указывают на существенное уменьшение площади растительного покрова: от 85,1 % в 1985 г. до 79,6 % к 2015 г. Также было зафиксировано значительное увеличение застроенной территории — от 0,7 до 4,0 % за 30-летний период. Установлено, что бесплановые изменения в землепользовании оказывают крайне негативное влияние на экологическую ситуацию, а также на среду обитания человека. Сделан вывод о необходимости проведения разумной политики, нацеленной на коррекцию бесплановой урбанизации и демографической ситуации в рассматриваемой провинции.

Ключевые слова: городской ландшафт, пространственно-временные изменения, контролируемая классификация, землепользование, растительный покров, рост.

S.Sh. MEHDI, M. MIANDAD, M.M. ANWAR, G. RAHMAN, H. ASHRAF

University of Gujrat, Jalalpur Jattan, Gujrat – 50700, Punjab, Pakistan
17021708-009@uog.edu.pk, muhammad.miandad@uog.edu.pk, Mushahid.anwar@uog.edu.pk,
ghani.rahman@uog.edu.pk, humayun.22@uog.edu.pk

TEMPORAL VARIATION IN LAND USE AND LAND COVER IN GUJRAT (PAKISTAN) FROM 1985 TO 2015

The fundamental changes in the land use and condition of the land in Gujrat (Punjab province, Pakistan), which have occurred over the past several decades, have been studied. They have a long history and represent an important factor in global changes in urban landscape. An attempt is made to determine the spatio-temporal changes in land use and land areas caused by anthropogenic activities. The study was carried out on the basis of multi-time satellite images (for 1985, 1995, 2005 and 2015) of the US Geological Survey, obtained from various Landsat satellites. Satellite image processing was carried out in the ERDAS Imagine 2014 and ArcGIS 10.3.1 programs. As a result, four maps were compiled that reflect the spatial and temporal dynamics of land. They are divided into five types: vegetation cover, bare soil, sand, water bodies and built-up areas. The

results of the study indicate a significant decrease in the area of vegetation cover: from 85.1 % in 1985 to 79.6 % by 2015. There was also a significant increase in the built-up area, from 0.7 to 4.0 % over a 30-year period. It is established that unplanned changes in land use have an extremely negative impact on the ecological situation as well as on the human habitat. It is concluded that it is necessary to conduct a reasonable policy aimed at correcting unplanned urbanization and the demographic situation in the province under consideration.

Keywords: *urban landscape, spatio-temporal changes, controlled classification, land use, land cover, growth.*

ВВЕДЕНИЕ

Под земельными угодьями обычно подразумевается любой участок земной поверхности, покрытый растительностью (сельскохозяйственные культуры, пахотные орошаемые земли, пастбища, сенокосы, кустарники, смешанные леса, культурные древесные насаждения), или участок с оголенной почвой (участки открытого пространства с незначительной растительностью или ее отсутствием и оголенные горные породы), покрытый песком (песок, осажденный рекой и водным потоком по обеим сторонам водного русла), отданный под застройку (промышленные, жилые, коммерческие и транспортные объекты) или включающий в себя водные объекты (реки, каналы и пруды и т. д.) [1]. При этом землепользование — несколько более сложный термин, который ученые, специализирующие в различных областях знаний, определяют в соответствии со сферой их интересов. По мнению исследователей в области естественных наук, землепользование представляет собой совокупность различных видов человеческой деятельности. Специалисты в области общественных наук определяют землепользование в социальном и экономическом контекстах. Динамика состояния и изменение площади земельных угодий изучаются в процессе натурных исследований либо дистанционного зондирования (ДЗ). Для научных исследований землепользования также необходимы экспертные знания и интервью с землевладельцами [1]. Широко распространено мнение о том, что основу землепользования составляют жизнеобеспечение человека и его производственная деятельность. Динамика отражает взаимозависимость и взаимодействие между человечеством и природой. Бурный экономический рост приводит к изменениям в землепользовании на региональном уровне [2, 3].

Дистанционное зондирование (ДЗ) стало эффективным средством при изучении динамики землепользования, позволяющим получать точные, разновременные, многоспектральные, экономичные и обновляемые данные. ДЗ играет ведущую роль при получении детальной информации об изменениях в землепользовании. Геоинформационная система (ГИС) также служит инструментом для проведения временного анализа пространственно-сопряженных объектов путем сравнения карт временных рядов, составленных на основе спутниковых изображений.

Наиболее эффективный подход при изучении изменений в землепользовании и видах земельных угодий — это метод совмещения изображений, позволяющий выявить различные трансформации почвенно-растительного покрова [4, 5].

Использование ресурсов и их устойчивости стало возможным только при своевременном и точном анализе взаимосвязи и взаимодействия между природными ресурсами и человеком. Мониторинг изменений в землепользовании и видах земельных угодий становится крайне необходимым для устойчивого развития и функционирования ландшафта [6]. Визуализация этой взаимосвязи возможна только при своевременном обнаружении изменений на земной поверхности. При этом используется количественный анализ смен видов земельных угодий на основе разновременных массивов данных. Известны два метода обнаружения изменений. Первый из них — традиционный — дорогостоящий, трудоемкий и недостаточно надежный. Второй основан на технологии ДЗ [7]. В настоящее время ДЗ считается наиболее подходящим и эффективным методом благодаря возможности отображать точную геопривязку и совместимому с компьютером формату [8].

Демография представляет собой один из ключевых факторов при идентификации характера землепользования в любой стране, особенно в развивающейся. Население оказывает влияние на городскую среду различными способами: формированием промышленных и бытовых отходов, модификацией локального климата и уничтожением естественной среды обитания.

В мировой научной литературе немало работ посвящено анализу не только изменений в землепользовании, составе и площади земельных угодий, но и последствий, вызванных этими изменениями [9–11]. Трансформации в землепользовании, составе и площади земельных угодий наблюдаются в Пенджабе повсеместно, во всех его округах. В округах с более высокой плотностью населения (Лахор, Равалпинди, Мултани др.) интенсивность изменений высока по сравнению с менее населенными районами (например, южный Пенджаб).

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в округе Гуджрат (рис. 1) — одном из крупнейших в провинции Пенджаб (18-й по величине, с численностью населения 2 756 110 чел.), имеющим хорошую транспортную связь с округом Лахор. Лахор — второй наиболее населенный округ в Пакистане и столица провинции Пенджаб. Постоянный прирост населения в округе оборачивается неуправляемым ростом городов на сопредельных со столицей плодородных сельских территориях. На рис. 2 представлена демографическая ситуация в Гуджрате за период с 1985 по 2015 г. Великий колесный путь (The Grand Trunkroad — GT) соединяет Гуджрат с главными городами провинции: Саргодхой и Лахором. Саргодха также представляет собой округ Пакистана с очень плодородной почвой, пригодной для выращивания таких сельскохозяйственных культур, как пшеница, рис и сахарный тростник. Гуджрат состоит из трех тэхсиллов: Гуджрат, Хариан и Сарай Аламгир [12]. В Гуджрате среднегодовое количество осадков варьи-

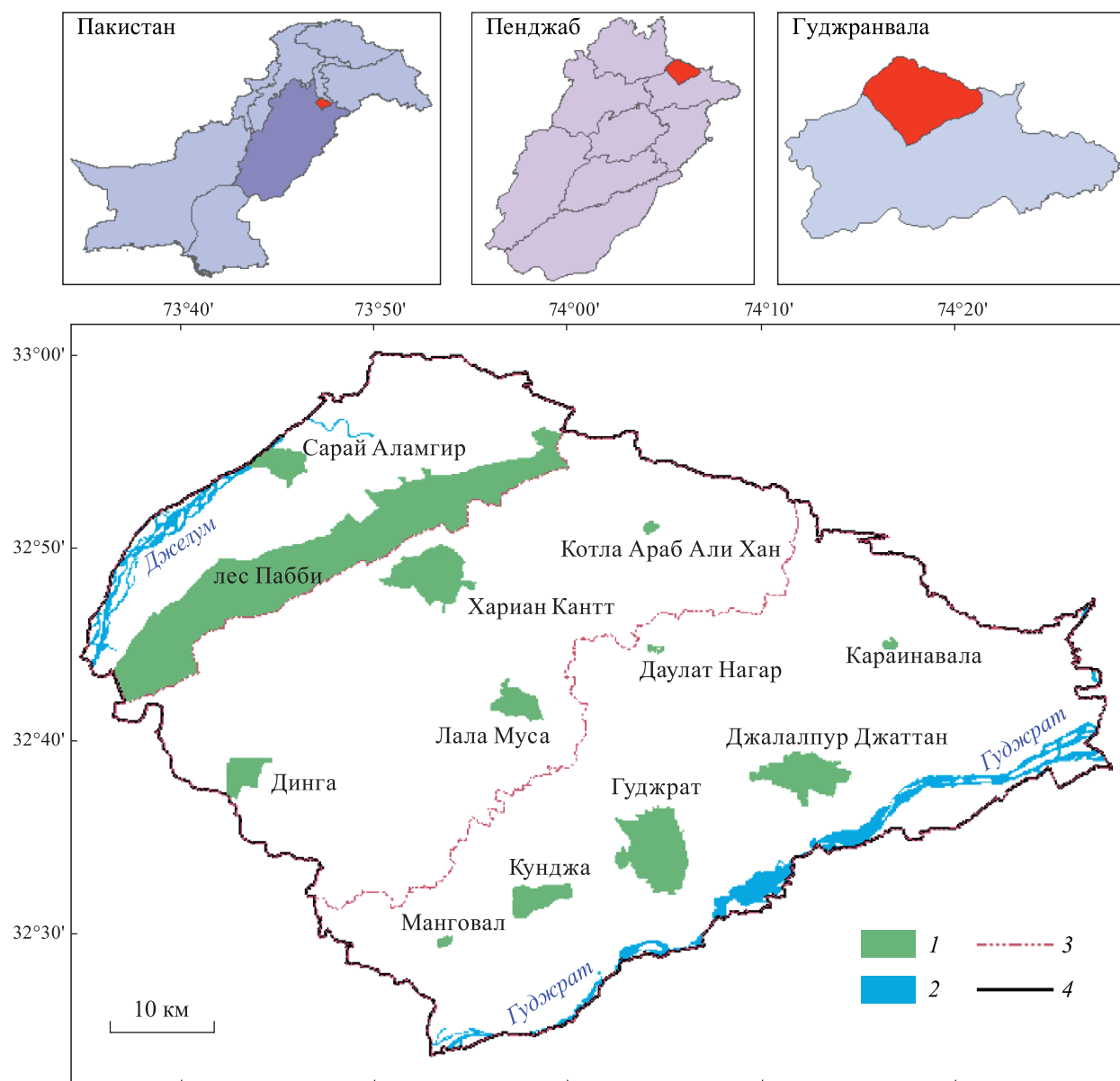


Рис. 1. Карта округа Гуджрат.

1 — леса; 2 — реки. Границы: 3 — тэхсиллов, 4 — округа Гуджрат.

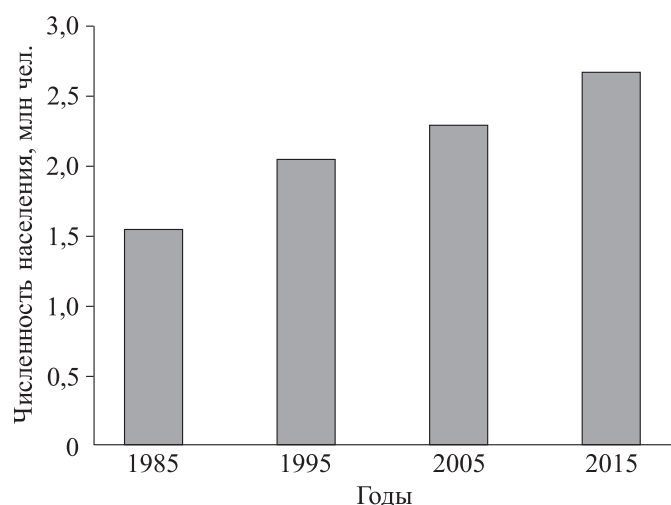


Рис. 2. Динамика численности населения Гуджрата в 1985–2015 гг.

каналов отсутствует, в сельском хозяйстве используются дождевые и подземные воды (с глубины 50–100 футов). В сезоны зимнего холодного и сухого муссона («раби») и летнего муссона («хариф») основными сельскохозяйственными культурами являются рис, пшеница, сахарный тростник, бобовые и масличные. В регионе Гуджрат также произрастают акация нильская (кикар) (*Acacia nilotica* (L.)), палисандр Сиссу (*Dalbergia sissoo*), шелковица белая (*Morus alba*), тополь белый (*Populus alba*) и орхидейное дерево (*Bauhinia variegata*).

Сбор информации. В работе использованы спутниковые изображения, полученные с помощью тематических картографов (Landsat Thematic Mapper, Landsat Enhanced Thematic Mapper), инструмента дистанционного зондирования поверхности Земли (Landsat Operational LandImager (OLI)) и теплового инфракрасного датчика (Thermal Infrared Sensor (TIRS)). С использованием ГИС и математических моделей выполнен анализ данных о пространственно-временных изменениях в землепользовании и земельных угодьях с 1985 по 2015 г. Также выявлены факторы, обуславливающие эти изменения.

При исследовании пространственно-временных изменений в землепользовании и почвенно-растительном покрове за последние 30 лет (1985–2015 гг.) использованы данные двух типов. Изображения со спутников серии Landsat, охватывающие весь округ Гуджрат, заимствованы с сайта Геологической службы США (USGS) и характеризуются одинаковым разрешением, равным 30 м, но получены с помощью разных датчиков. Первое и второе изображения получены с помощью тематического картографа (Landsat Thematic Mapper™), третье — с помощью инструмента дистанционного зондирования поверхности Земли (Landsat Operational LandImager, OLI) и теплового инфракрасного датчика (Thermal Infrared Sensor, TIRS.), а последние — с помощью усовершенствованного тематического картографа (Landsat Enhanced Thematic Mapper, ETM). Дополнительно использовались данные (в виде точек привязки) наземного мониторинга земельных угодий.

Предварительная обработка изображений. Оценка точности результатов. Для идентификации изменений важная процедура — это предварительная обработка спутниковых изображений, предназначенная для определения прямой связи между физическими явлениями на земной поверхности и полученными данными [14]. Предварительная обработка данных проводилась в программе ERDAS Imagine для получения тематических слоев, составления мозаики и визуализации представляющего интерес участка. Главная цель обработки изображений представляет собой присвоение видов земельных угодий всем пикселям изображения методом контролируемой классификации [15]. Для всех четырех изображений Landsat применялась соответствующая комбинация диапазонов: коротковолновый инфракрасный (SWIR 5), ближний инфракрасный (NIR 4) и красный (2). При наличии наземных данных и использовании Google Earth был начат сбор обучающих выборок, состоящий в простом создании многоугольника вокруг каждого элемента. Принятые номера сигнатур (опознавательных признаков) изменялись в соответствии с отбираемыми классами. Наиболее часто используемый метод — это классификация по максимальному правдоподобию, которая описана в литературе [16]. Правило принятия решений при использовании данного метода основано, главным образом, на вероятности того, что каждый пиксель принадлежит конкретному классу. При этом предполагается, что данные вероятности одинаковы для всех определенных классов и что имеет место нормальное распределение для всех диапазонов исходного сигнала. Основанная на пикселях контролируемая клас-

сификация по максимальному правдоподобию подверглась обработке в ArcGIS 10.3.1 [17, 18]. Оконтуренные следующие виды землепользования и земельных угодий: растительность, застроенная территория, водный объект, оголенная почва и пески.

Постклассификация. Методика постклассификации предназначена для улучшения информативности, тематической точности и пространственной структуры различных участков [19]. После выполнения контролируемой классификации по максимальному правдоподобию осуществляется процедура постклассификации, в которой используется фильтр большинства для очистки изображений. Фильтр большинства — инструмент, который замещает ячейки в растре на основе большинства соседних искажающих ячеек. Этот фильтр использовался 2–3 раза в случае с изображениями, полученными в 1985, 1995, 2005 и 2015 гг. Необходимые корректировки и изменения вносились на основе контрольной наземной верификации. При работе с классами растровые изображения преобразовывались в многоугольник, где эти классы вручную замещались соответствующими им кодами сетки. И, наконец, эти классы вновь объединялись в пять вышеназванных видов земельных угодий. В результате выполнения данных процедур были получены карты землепользования и земельных угодий, позволяющие выполнить анализ пространственно-временных изменений в землепользовании.

Оценка точности. При получении надежных результатов классификации важно выполнить оценку ее точности [20]. В большинстве случаев методика оценки точности применяется к результатам как контролируемой, так и неконтролируемой классификаций для верификации их корректности. Этот метод оценки точности включает сравнение изображения, полученного в результате классификации вручную, с изображением, которое считается корректным [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Классификация. Карты землепользования и земельных угодий за 1985, 1995, 2005 и 2015 гг. (рис. 3) имеют точность 92 % для 1985 и 2005 гг., 89 % — для 1995 г. и 91 % для 2005 г. в соответствии с матрицей ошибок/конверсии [22]. Также была рассчитана каппа-статистика для определения точности результатов классификации для каждой карты. Полученная каппа-статистика равна 0,87, 0,86, 0,90 и 0,88 для 1985, 1995, 2005 и 2015 гг. соответственно. Результаты оказались вполне достоверными и были приняты для последующего анализа и обнаружения изменений [23].

Анализ землепользования и почвенно-растительного покрова. В количественном анализе карт земельных угодий могут использоваться различные методы, однако чаще всего применяется табличное представление обработанной статистической информации. Тренды каждого периода анализировались с интервалом в четыре года. В первый период обнаружения изменений (1985–1995 гг.) произошло постепенное уменьшение занятой растительностью площади на 7007,07 га (2,6 %). Застроенные территории увеличились на 2313,02 га (101 %). Увеличение на 6688,65 га (23,8 %) также имело место в случае с оголенной почвой, а также в случае с водными объектами — на 1588,47 га (18 %), в то время как площадь, занятая песками, уменьшилась на 3653,16 га (44 %). За период 1995–2005 гг. площадь, занятая растительностью, уменьшилась на 11 296,53 га (4,3 %). Площадь водных объектов уменьшилась на 4809,06 га (47,2 %). Территории, занятые оголенной почвой, вновь уменьшились на 13 622,6 га (39,2 %) (см. рис. 3). Площадь, занятая песками, сократилась до 1134,83 га (24,7 %). Застроенные территории увеличились на 3725,61 га (81 %).

В последующий период (2005–2015 гг.) застроенные территории за счет других видов земельных угодий увеличились до 4428 га (53 %), в то время как площадь, занятая растительностью, осталась неизменной после увеличения на 818,47 га (0,3 %). Территории водных объектов продемонстрировали незначительное увеличение — на 3,68 га (0,07 %). Площадь песков увеличилась до 1520,38 га (43 %). И, наконец, площадь, занятая оголенной почвой, уменьшилась до 6844,33 га (14 %). На рис. 3 представлены карты изменений в видах земельных угодий.

Таким образом, в течение 30-летнего периода с 1985 по 2015 г. застроенные территории значительно увеличились — в 400 раз по сравнению с 1985 г. В работе [20] представлен анализ изменений в землепользовании и почвенно-растительном покрове в дельте р. Западный Нигер на основе изображений со спутников Landsat за 1986 и 2008 гг., имеющихся в Национальном агентстве космических исследований и разработок Нигерии (NASRDA). Результаты анализа показали, что застроенные территории увеличились на 134,46 га. В другом исследовании [24] землепользования и изменения растительного покрова [21], выполненном в Пуне (штат Махараштра, Индия), показано увеличение площади застроенных территорий за период с 1981 по 2011 гг., равное 43,8 %. С другой стороны, территории, занятые растительностью, водными объектами и песками, уменьшились до 6,5, 37,44 и

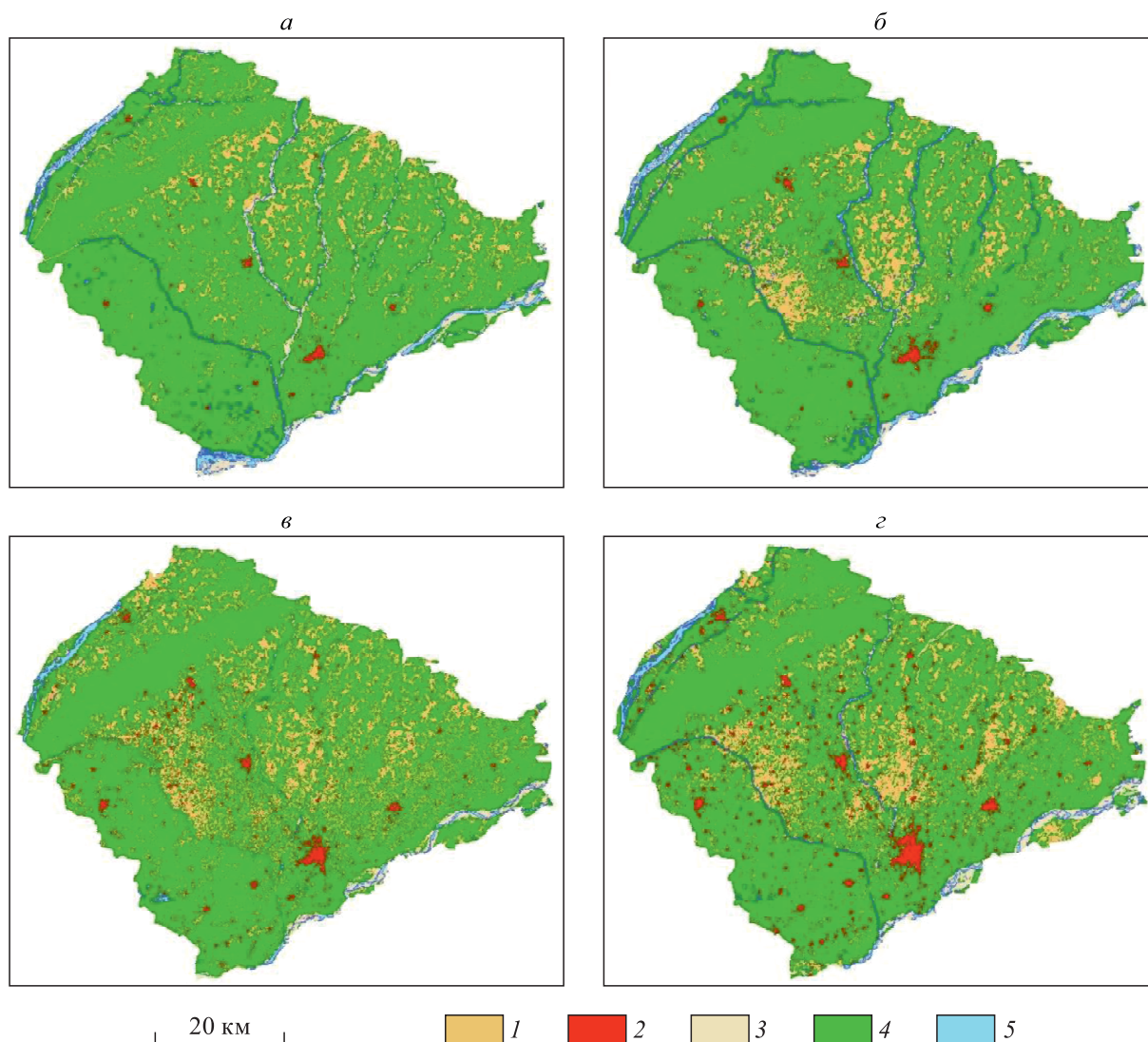


Рис. 3. Карта изменений в видах земельных угодий округа Гуджрат в 1985 (а), 1995 (б), 2005 (в) и 2015 гг. (г).

1 — оголенные почвы; 2 — застроенные территории; 3 — пески; 4 — растительность; 5 — водные объекты.

Изменение площади земельных угодий в округе Гуджрат в 1985–2015 гг.

Земельные угодья	Годы							
	1985		1995		2005		2015	
	га	%	га	%	га	%	га	%
Растительность	269 568,13	85,1	262 561,06	82,9	251 264,53	79,3	252 083	79,6
Водные объекты	8591,73	2,7	10 180,20	3,1	5371,14	1,7	5374,82	1,7
Оголенная почва	28 022,45	8,8	34 711,1	11	48 333,7	15,3	41 489,37	13,1
Пески	8249,04	2,6	4595,88	1,5	3461,05	1,1	4981,43	1,6
Застроенные территории	2286,65	0,8	4599,67	1,5	8325,28	2,6	12 753,28	4
Итого...	316 718	100	316 718	100	316 718	100	316 718	100

39,6 % соответственно. Сокращение площади, занятой растительностью, в основном обусловлено городской экспансией, о чем также свидетельствуют результаты, приведенные в работе [25], в которой указано на уменьшение таких площадей на 12,98 % за весь период исследования (2000–2014 гг.). Аналогичная городская экспансия направлена на юго-восток, юг и юго-запад вдоль дорожных магистралей в Лахоре. В работе [26] приведен анализ динамики землепользования и земельных угодий в Азад-Джамму и Кашмире, выполненный с помощью современных геопространственных методов ДЗ и ГИС. Результаты анализа показали, что растительный покров уменьшился на 2,6 % за 11-летний период. Как показано выше, площадь водных ресурсов сократилась в силу различных причин, таких как нарушение Индией договора о водных ресурсах р. Инд, отсутствие водохранилища на р. Ченаб и чрезмерная откачка воды для нужд сельского хозяйства и промышленности. Аналогичным образом в работе [27] представлено исследование землепользования и изменения растительного покрова в г. Дхака. Изменения в землепользовании и видах земельных угодий анализировались с применением матрицы преобразования. Полученные результаты позволили сделать вывод, что уменьшение водных объектов за 1991–2008 гг. составило 35,29 %. За этот же период площади оголенной почвы увеличились на 48 %, что было обусловлено сведением растительного покрова, в результате чего территория превратилась в пустынь. Аналогичные результаты исследования водосборного бассейна оз. Симли представлены в работе [28] и идентичный тренд отмечен в работе [29], посвященной исследованию округа Сват.

На карте (рис. 4) отмечены виды земельных угодий, а также показаны изменения, произошедшие с течением времени в земельных угодьях округа Гуджрат. Согласно карте, произошло сокращение растительного покрова в период 1985–2015 гг., в это время наблюдается значительное увеличение застроенных территорий. Площадь, занятая водными объектами, в разные годы различалась, но пре-

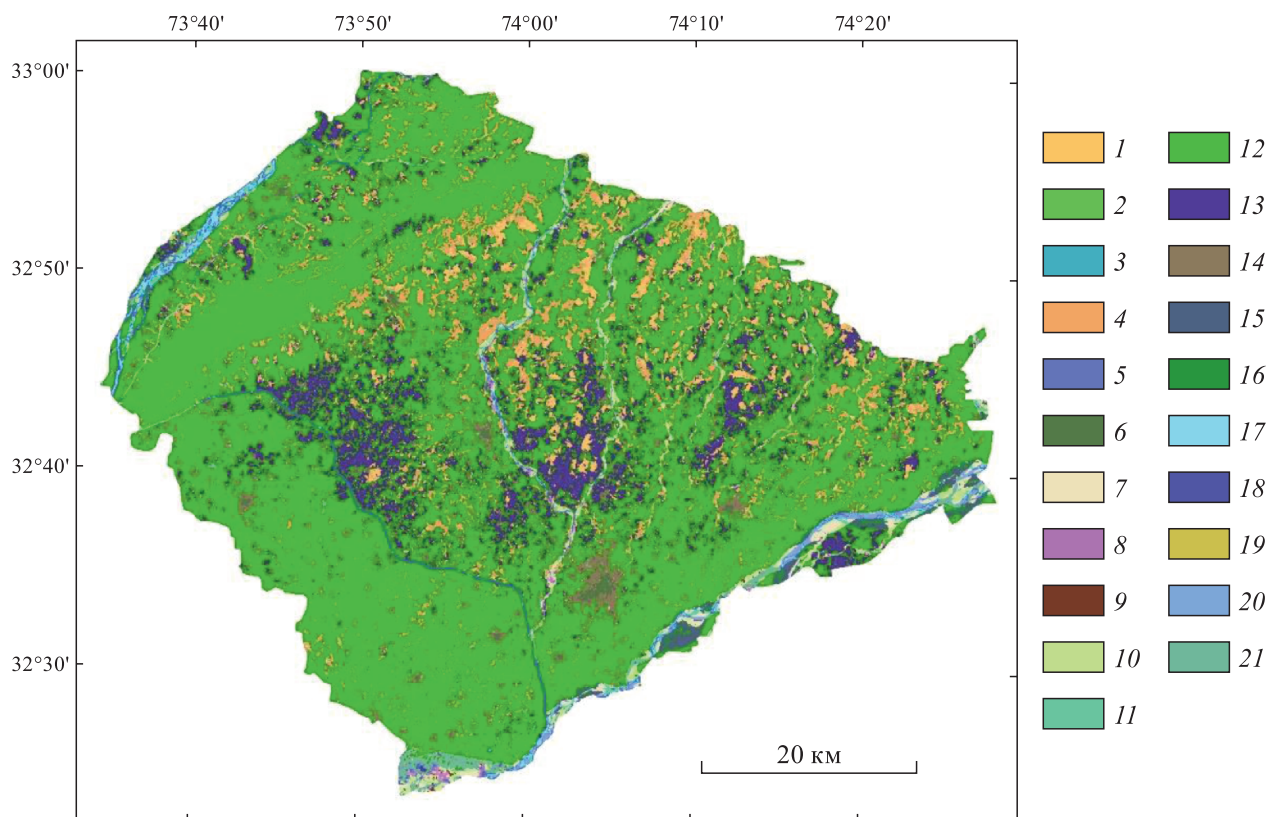


Рис. 4. Карта динамики видов земельных угодий округа Гуджрат в 1985–2015 гг. (метод наложения).

1 — оголенная почва (1985 г.); переход оголенной почвы: 2 — в застроенные территории, 3 — в пески, 4 — в растительность, 5 — в водные объекты; 6 — застроенные территории (1985 г.); 7 — пески (1985 г.); переход песков: 8 — в оголенные почвы, 9 — в застроенные территории, 10 — в растительность, 11 — в водные объекты; 12 — растительность (1985 г.); переход растительности: 13 — в оголенные почвы, 14 — в застроенные территории, 15 — в пески, 16 — в водные объекты; 17 — водные объекты (1985 г.); переход водных объектов: 18 — в оголенные почвы, 19 — в застроенные территории, 20 — в пески, 21 — в растительность.

терпела сокращение в конце периода. То же самое относится и к оголенным почвам, однако их доля увеличилась по сравнению с 1985 г. В случае с песками также наблюдается устойчивая тенденция к их сокращению.

Изменения в землепользовании и видах земельных угодий варьируют на всей территории провинции Пенджаб. Они обусловлены разновекторными факторами, такими как миграция и рост населения, а также возможности трудовой занятости населения. Для менее развитых округов Пенджаба характерна более медленная динамика в землепользовании, чем для центральных. Причина быстрых изменений в землепользовании в округах Лахор и Равалпинди — урбанизация. Этот процесс наблюдается на всей территории Пенджаба, но максимально проявляется в крупных городах.

Динамика изменений площадей земельных угодий за 1985–2015 гг. Изменения площадей земельных угодий в период 1985–1995 гг. можно вкратце охарактеризовать следующим образом: в 1995 г. приблизительно 88, 42, 7, 38 и 27 %, соответственно, растительного покрова, водных объектов, оголенной почвы, песков и застроенной территории оставались в рамках тех же видов земельных угодий, что и в 1985 г. Однако имел место и переход земельных угодий из одного вида в другой. Примерно 91 и 66 % растительного покрова в 1985 г. перешли, соответственно, в разряд оголенной почвы и застроенной территории. 32 % водных объектов в основном были заняты песками. В рассматриваемый период часть оголенных почв перешли под растительность (10 %) и застройку (6 %), а на 25 % песчаной территории размещены водные объекты.

Изменения периода 1995–2005 гг. можно охарактеризовать следующим образом: в 2005 г. примерно 61, 91, 41, 39 и 22 % соответственно, водных объектов, растительности, песков, оголенной почвы и застроенной территории оставались в рамках тех же видов земельных угодий, что и в 1995 г. Однако часть указанных видов подверглись изменениям к концу периода. Примерно 43 % водных объектов уступило место пескам, 67 % площади растительности преобразовано в застроенную территорию, а 56 % площади растительности переместилось в голую почву. Имеется связь между площадью застройки и растительностью: прирост первой, как правило, происходит за счет второй. Зачастую население использует территории, занятые плодородной растительностью (пахотные земли), для застройки (дома, торговые площади и т. д.). При этом площадь земель, занятых песком, оставалась фактически неизменной. Только 16 % перешли в категорию водоемов. Между песчаными почвами и водоемами также обнаруживается взаимосвязь, поскольку эти два вида земельных угодий сменяют друг друга, например, когда вода убывает, ее место занимает песок, а когда, напротив, из-за климатических изменений количество воды увеличивается, водоемы покрывают большую площадь песка.

Изменения площадей земельных угодий в 2005–2015 гг. вкратце можно охарактеризовать следующим образом: примерно 21, 85, 14, 33 и 34 % соответственно, водных объектов, растительности, песков, оголенной почвы и застроенной территории в течении всего периода оставались в рамках тех же видов земельных угодий. Однако также был выполнен анализ конверсии между видами. Установлена зависимость между территориями водных объектов и песков: 48 % площадей водных объектов были заняты песками, и, напротив, 32 % песчаных территорий оказались под водными объектами. Аналогичная связь наблюдается между растительным покровом и застроенными территориями. К концу рассматриваемого периода 65 % растительного покрова были замещены застроенными территориями, а 35 % — оголенной почвой. С другой стороны, по 13 % оголенной почвы были заняты водными объектами, растительностью и застройкой.

Пространственная дифференциация изменений в землепользовании. Анализ методом наложения изображений считается важным элементом исследований изменений в землепользовании и видах земельных угодий. Методом наложения изображений двух карт за 1985 и 2015 гг. была получена карта изменений в землепользовании. Пространственные закономерности землепользования в районе исследования позволили сделать вывод о сокращении площади растительного покрова и о значительном увеличении застроенных территорий и оголенных почв. В пространственном отношении все три техсила характеризуются возрастанием доли застроенных территорий и оголенных почв и уменьшением площади, занятой растительностью. Основные изменения были зафиксированы в шести районах: г. Гуджрат, Джалалпур, Лала Муса, Хариан, Сарай Аламгири Динга. На карте (см. рис. 1) видно, что значительный рост урбанизированных территорий в округе Гуджрат обусловлен наличием Великого колесного пути и хорошими коммуникациями.

Пространственный характер изменений на упомянутой выше карте указывает на общую трансформацию, произошедшую в результате землепользования за 30-летний период в округе Гуджрат. Практически все рассматриваемые территории переходят из одного вида земельных угодий в другой. Так, площади, занятые в 1985 г. водными объектами, в настоящее время характеризуются песками и

оголенной почвой, отданы под застройку или покрыты растительностью. Также наблюдается и обратный процесс перехода. Экспансия урбанизации идет за счет пахотных земель: урбанизированные территории поглотили значительные площади пахотных земель и водных объектов. Причем интенсивность изменений на застроенных территориях оказалась намного выше, чем в районах, удаленных от городских центров. Площади, занятые растительностью, также уступили место оголенной почве ввиду переориентации от сельского хозяйства в пользу коммерциализации земельных угодий. После «бума» в коммерческой деятельности в Гуджрате население стало переселяться из сельских районов в городские центры и ближайшие городские окрестности, при этом сельскохозяйственные земли становятся коммерческими, что представляет собой главную причину сокращения площади растительного покрова. На карте также показан переход песчаных территорий в застроенные.

Основные факторы, ответственные за изменения в землепользовании и видах земельных угодий в округе, обусловлены экологическими, географическими и демографическими причинами. Регрессионный анализ используется для верификации воздействия демографических и экологических факторов (население, температура, атмосферные осадки). Демографические данные получены в Статистическом бюро Пенджаба [27].

Регрессионный анализ показывает влияние всех независимых переменных (температура, осадки и население) на землепользование и изменения земельных угодий на исследуемой территории. Коэффициент детерминации 0,986, 0,661, 0,777, 0,891 и 0,987, рассчитанный для населенных пунктов, бесплодных земель, песка, растительности и водного объекта, соответственно, выявил, что эти независимые переменные также являются доминирующими факторами, которые влияют на землепользование в Гуджрате.

Демографические данные для района исследования (см. рис. 2) указывают на быстрый рост численности населения. Это обусловлено миграцией сельского населения в города, что оказывает негативное влияние на невозобновляемые земельные ресурсы и вносит значительный вклад в урбанизацию территорий. Стихийная урбанизация всегда отрицательно воздействует на городскую окружающую среду. После преобразования природного ландшафта в урбанизированную территорию естественная среда обитания оказывается утраченной как для животных, так и для человека. Это циклический процесс, который в конечном счете приводит к разрушению биомалокальных земельных угодий.

Изменения климата непосредственно влияют на экономику конкретного района, поскольку температура и атмосферные осадки — ключевые факторы для сельскохозяйственной деятельности. В частности, они ответственны за гидрологические циклы. В случае обилия дождей изменяются распад и поглощение питательных веществ, а в случае обусловленных температурой гидрологических циклов имеют место распад и ускоренное физиологическое развитие, что приводит к сокращению урожая и ускоренному созреванию [30]. Дождевые осадки — важный фактор для развития сельского хозяйства в регионе. Чем больше количество осадков, тем продолжительнее вегетационный сезон, так как дождевая вода используется для ирригации.

Однако в некоторых районах наблюдалось негативное влияние обильных дождей, которые повлекли за собой снос плодородной почвы. Изменения средней глобальной температуры оказывают влияние на водоудерживающую способность атмосферного воздуха и на интенсивность осадков. Повышение температуры воздействует на регионы различным образом: сокращение длительности сезона дождей, задержка его начала, пересыхание водных объектов в сухой период и даже возникновение засух. Все эти изменения обусловили трансформации в землепользовании Гуджрата. Планировщики должны разработать и внедрить в практику ряд альтернативных методов для устойчивого развития урбанизированных территорий, сохранения водных ресурсов и сельскохозяйственных угодий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании показано, что использование разновременных спутниковых изображений Landsat имеет важное значение при изучении изменений в землепользовании и видах земельных угодий. Анализ разработанных на основе спутниковых изображений карт за 1985, 1995, 2005 и 2015 гг. выявил динамику таких изменений. Результаты работы показывают, в каких видах земельных угодий произошли изменения за 30-летний период. Основные трансформации зафиксированы для двух видов земельных угодий: растительного покрова и застроенных территорий. Площадь растительного покрова уменьшилась, а застроенных территорий — расширилась. Изменения для обоих видов с 1985 по 2015 г. следующие: площадь растительного покрова сократилась с 85,1 до 79,6 %, в то время как площадь

застроенной территории увеличилась с 0,7 до 4,0 %. Новые территории застройки преимущественно сосредоточены вокруг урбанизированных территорий округа — городов Гуджрат и Лала Муса, техсиллов Хариани, Сарай Аламгир. Ввиду сложного рельефа местности техсил Сарай Аламгир характеризуется очень медленными годовыми изменениями, в отличие от Гуджрата, где наблюдаются быстрые трансформации. Застроенные территории в округе расширяются во всех направлениях, однако в последнее время среди них преобладает юго-восточное.

Необходимо подчеркнуть влияние урбанизации на окружающую среду. Социально-экономическое развитие должно обеспечивать защиту природных ресурсов и окружающей среды для достижения устойчивости. Полученные данные показывают, что будущие исследования должны быть сосредоточены на более широком использовании ГИС и высокого пространственного и спектрально-временного разрешения для мониторинга городской окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Frondoni R., Mollo B., Capotorti G.** A landscape analysis of land cover change in the Municipality of Rome (Italy): Spatio-temporal characteristics and ecological implications of land cover transitions from 1954 to 2001 // *Landscape and Urban Planning*. — 2011. — N 100 (1–2). — P. 117–128.
2. **Ellis E., Pontius R.** Land-use and land-cover change and Climate change // *Encyclopedia of Earth*. — Berlin: Springer, 2009. — P. 7.
3. **Guo L., Wang D., Qiu J., Wang L., Liu Y.** Spatio-temporal patterns of land use change along the Bohai Rim in China during 1985–2005 // *Journ. of Geographical Sciences*. — 2009. — N 19 (5). — P. 568.
4. **Zhao Y., Wang X.** The Spatial-Temporal changes of land use/land cover in the upper reaches of Min River from 1986 to 2000 // *Reports in 2010 4th International conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*. — New York: Publishing house of Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. — P. 127–142.
5. **Samiullah Khan M.A., Rahman A.-U., Mahmood S.** Evaluation of urban encroachment on farmland: a threat to urban agriculture in Peshawar City District, Pakistan // *Erdkunde*. — 2019. — N 73 (2). — P. 127–142.
6. **Kucsicsa G., Popovici E.-A., Bălteanu D., Grigorescu I., Dumitrașcu M., Mitrică B.** Future land use/cover changes in Romania: regional simulations based on CLUE-S model and CORINE land cover database // *Landscape and Ecological Engineering*. — 2019. — N 15. — P. 75–90.
7. **Mishra S., Shrivastava P., Dhurvey P.** Change detection techniques in Remote Sensing: A Review // *International Journ. of Wireless and Mobile Communication for Industrial Systems*. — 2017. — Vol. 4, N 1. — P. 1–8.
8. **Hassan Z., Shabbir R., Ahmad S.S., Malik A.H., Aziz N., Butt A., Erum S.** Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan // *Springer Plus*. — 2016. — N 5 (1). — P. 812.
9. **Emenyonu C., Orebiyi J., Eze C., Odii M., Onyemauwa C., Eriogun I.** Analysis of land use cover change in Western Niger Delta: a panacea for agricultural land reduction // *Nigerian Journ. of Agricultural Economics*. — 2015. — N 5 (2066–2018–844). — P. 92.
10. **Guzha A., Rufino M.C., Okoth S., Jacobs S., Nybrega R.** Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa // *Journ. of Hydrology: Regional Studies*. — 2018. — N 15. — P. 49–67.
11. **Yin H., Pflugmacher D., Li A., Li Z., Hostert P.** Land use and land cover change in Inner Mongolia-understanding the effects of China's re-vegetation programs // *Remote Sensing of Environment*. — 2018. — N 204. — P. 918–930.
12. **Planning H.A.P.** Gujrat Revision // *Updation of outline Development Plan 1999–2024*. — Gujrat: Office of the Deputy Director Regional Physical Planning Rawalpindi, 1999. — 134 p.
13. **Abid M., Schilling J., Scheffran J., Zulfikar F.** Climate change vulnerability, adaptation and risk perceptions at farm level in Punjab, Pakistan // *Science of the Total Environment*. — 2016. — N 547. — P. 447–460.
14. **Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., Lambin E.** Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review // *International Journ. of remote sensing*. — 2004. — N 25 (9). — P. 1565–1596.
15. **Cheruto M.C., Kauti M.K., Kisangau P.D., Kariuki P.C.** Assessment of land use and land cover change using GIS and remote sensing techniques: a case study of Makueni County, Kenya // *Journ. of Remote Sensing & GIS*. — 2016. — Vol. 5, Iss. 4. — P. 1–6.
16. **Kavzoglu T., Colkesen I.** A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification // *International Journ. of Applied Earth Observation and Geoinformation*. — 2009. — N 11 (5). — P. 352–359.
17. **Qian J., Zhou Q., Hou Q.** Comparison of pixel-based and object-oriented classification methods for extracting built-up areas in arid zone // *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) workshop on updating Geo-spatial databases with imagery & the 5th ISPRS workshop on DMGISs*. — 2007. — P. 163–171.
18. **Khalil R.Z.** In SAR coherence-based land cover classification of Okara, Pakistan // *The Egyptian Journ. of Remote Sensing and Space Science*. — 2018. — N 21. — P. S23–S28.
19. **Voorde van de T., De Genst W., Canters F.** Improving pixel-based VHR land-cover classifications of urban areas with post-classification techniques // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. — 2007. — N 73 (9). — P. 1017.

20. **Owojori A., Xie H.** Landsat image-based LULC changes of San Antonio, Texas using advanced atmospheric correction and object-oriented image analysis approaches // Proceedings 5th international symposium on remote sensing of urban areas. — Tempe, AZ: Arizona State University, 2005. — P. 264–271.
21. **Parece T.E., Parece T., Campbell J., McGee J.** Remote sensing in an ArcMap environment // Classification of a Landsat Image (supervised). — Amazon: Kindle Edition, 2015. — 339 p.
22. **Lu D., Weng Q.** A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance // International Journ. of Remote Sensing. — 2007. — N 28 (5). — P. 823–870.
23. **Lea C., Curtis A.** Thematic accuracy assessment procedures: National Park Service Vegetation Inventory, version 2.0. // Natural Resource Report NPS/2010/NRR–2010/204. — Fort Collins, Colorado: National Park Service, 2010. — P. 2–19.
24. **Nagarale V.R., Ohal A.S.** Changing urban landuse in Pune Municipal Corporation, Pune, Maharashtra: 1981–2011 // Maharashtra Bhugolshastra Parishad. — 2017. — N 34 (2). — P. 1–8.
25. **Ghaffar A.** Use of geospatial techniques in monitoring urban expansion and land use change analysis: A case of Lahore, Pakistan // Journ. of Basic and Applied Sciences. — 2015. — N 11. — P. 265–273.
26. **Iqbal M.F., Khan I.A.** Spatiotemporal land use land cover change analysis and erosion risk mapping of Azad Jammu and Kashmir, Pakistan // The Egyptian Journ. of Remote Sensing and Space Science. — 2014. — N 17 (2). — P. 209–229.
27. **Islam M.S., Ahmed R.** Land use change prediction in Dhaka city using GIS aided Markov chain modeling // Journ. of Life and Earth Science. — 2011. — N 6. — P. 81–89.
28. **Butt A., Shabbir R., Ahmad S.S., Aziz N.** Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan // The Egyptian Journ. of Remote Sensing and Space Science. — 2015. — N 18 (2). — P. 251–259.
29. **Qasim M., Hubacek K., Termansen M., Khan A.** Spatial and temporal dynamics of land use pattern in District Swat, Hindu Kush Himalayan region of Pakistan // Applied Geography. — 2011. — N 31 (2). — P. 820–828.
30. **Bonan G.B.** Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests // Science. — Vol. 320, Iss. 5882. — P. 1444–1449.

Поступила в редакцию 29.07.2019

После доработки 17.11.2020

Принята к публикации 24.06.2021