

ИНТЕГРИРАНЕ НА ГИС И ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА АНАЛИЗ НА ПРОМЕНИ НА ЛАНДШАФТИТЕ

Румяна Вацева

В статията се разглежда интегрирането на ГИС и дистанционни изследвания за събиране, обработка, анализи и визуализация на пространствени данни за ландшафтите, представят се различните подходи за интегриране на геопространствени технологии и техните основни възможности и ограничения. Описани са най-често използваните пространствени модели на земното покритие и земеползването, ландшафтните условия и ландшафтната структура, свързани с разработването на сценарии на промените и разкриване на движещите сили.

Ключови думи: ГИС, дистанционни изследвания, земно покритие и земеползване, ландшафти

УВОД

Изследванията на промените на ландшафтите предизвикват вниманието на научната общност във връзка със съвременните глобални промени на околната среда. Структурата на ландшафтите, техните пространствени форми и функции са основен предмет на изследване във връзка с теоретични разработки и създаването на пространствени модели (V e l d k a m p, L a m b i n, 2001; L o n g l e y, 2002; M c G a r i g a l e t a l., 2002; P a r k e r e t a l., 2006; J a n s s o n e t a l., 2008). Промените на ландшафтите се разглеждат като основни определящи фактори в голяма част от разработваните екологични модели (C l a r k e e t a l., 2002; B u r g i e t a l., 2004; C l a g g e t t e t a l., 2004; G i l l a n d e r s e t a l., 2008). Данните за динамиката и развитието на ландшафтите имат важно значение за информираното вземане на управленски решения, планирането и мониторинга на земеползването. Във връзка с това редица научноизследователски програми за глобалните промени на околната среда включват изследвания на промените на ландшафтите. Едни от най-актуалните изследователски въпроси се фокусират върху промените в земното покритие и земеползването и техните взаимовръзки с изменението на климата, процесите в екосистемите, загубата на биоразнообразие и антропогенните дейности.

Ландшафтните проучвания са свързани с осъществяването на дейности за мониторинг и моделиране, които изискват използването на надеждни бази дан-

ни и утвърдени технологии. За тези цели продължават да се прилагат конвенционалните наземни измервания и методи, но все по-широко приложение имат географските информационни системи (ГИС) и дистанционните изследвания. Тяхната висока технологична и финансова ефективност е основа за утвърждаването им като източници на надеждна информация и качествени пространствени геобазни данни. Поради това те все повече се използват за разработването на разнообразни ландшафтни приложения с цел подпомагане вземането на управленски решения за териториалното развитие и планиране. Дистанционните изследвания и ГИС технологиите предоставят нови възможности за изучаването на ландшафтите не само с осигуряването на съвременни средства, методи и данни за анализите, но и с интегрирането в единна система на процесите на директни наблюдения и количествени измервания с пространствените анализи и моделиране.

В статията се разглежда интегрирането на ГИС и дистанционни изследвания за събиране, обработка и управление на пространствени данни за анализ на състоянието и промените на ландшафтите, представят се различните подходи за интегриране на геопространствени технологии и техните основни възможности и ограничения.

ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ (ГИС)

Географските информационни технологии се развиват за почти пет десетилетия от географски информационни системи (ГИС) с команден интерфейс, ГИС работни станции, настолни и сървърни ГИС до съвременните веб- и мобилни ГИС, ГИС с отворен код и ГИС за информационни услуги. Всеки етап в развитието на ГИС е свързан с напредъка на информационните технологии на базата на научните и технологичните постижения в различни области, като информатика, математика, география, картография, статистика и др. През 70-те години на XX в. се осъществяват първите теоретични и приложни разработки главно в областта на топологичната структура на данните, растерните и векторните модели. През 80-те години на XX в. във връзка с целенасочената политика за държавна подкрепа на развитието на Географските информационни системи (*GISystems*) и нарастващата достъпност на персоналните компютри в обучението, държавните институции и частния сектор все по-широко започват да се въвеждат университетски програми, финансират се научноизследователски дейности и разнообразни приложения. Следващото десетилетие е свързано с развитието на Географската информационна наука (*GIScience*), дефинирана от G o o d c h i l d (1997) като „науката, която е в основата на ГИС и се занимава с фундаменталните въпроси, свързани с използването на географските информационни системи и технологии“. По-късно развитието на интернет позволява разработването на ориентиран за услуги ГИС подход, наречен от G u n t h e r, M u l l e r (1999) Географски информационни услуги (*GIServices*). В известен смисъл те са стандартизация за обмен на данни, но всъщност стандартизират програма за интегриране на коренно различни програми и полученият резултат може да се визуализира като поредица от графики, таблици и карти. При това резултатът е цялостно решение, а не сегменти от откъслечни части от дадено

решение. Така вместо да притежават ГИС, крайните потребители могат да ползват услуги за ГИС функционалности от дистанционен център. ГИС услугите са насочени към разработването на децентрализирана ГИС, която се ползва от множество потребители от всяка точка за достъп, обмен и обработка на географска информация от различни доставчици по всяко време. Поради това ГИС услугите са ефективен инструмент за пространствено планиране и вземане на управленски решения. През последните години все по-голямо внимание се обръща на изучаване въздействието на географската информация и технологии върху обществото, което е основа за развитието на Географските информационни изследвания (*GIS Studies*) (C h r i s m a n, 2005; K r e k, 2006).

Разгледаните етапи в развитието на ГИС отразяват според J i a n g, Y a o (2010) „еволуцията на ГИС от една компютърно-базирана централизирана система в интернет-уеб-базирана децентрализирана услуга, от технологично доминирана област във все по-научно ориентирана област с все по-широка социална перспектива. Заедно с технологичното измерение, развитието на ГИС протича от 2D картите към 3D презентациите, от статичните карти към анимираната визуализация, от стационарните компютри към мобилните устройства, от тясно професионалната ориентация към обслужване на широката общественост“.

Съвременните ГИС технологии позволяват съхранението и визуализацията на огромни масиви данни (сателитни изображения, аерофотоснимки, ГИС данни), които са необходими и се ползват от професионалистите и широката общественост. Географските информационни технологии осигуряват разработването на платформи, предоставящи обществени услуги с добавена стойност чрез подпомагането на по-добри управленски решения, по-висока ефективност по отношение на финансови средства, време, ресурси и по-ефективни комуникации.

Важна движеща сила за постоянното развитие на ГИС понастоящем е разработването на интернет продуктите и услугите на Google. Изследванията на B u t l e r (2006) показват, че стартирането на Google Earth и Google Maps променя общественото възприемане на ГИС. Google Maps и все по-широко предоставяните онлайн ГИС услуги популяризират и правят всеобщо достъпни ГИС и картографските дейности. Създават се разнообразни Google Maps приложения в Web 2.0, които предоставят услуги не само на различните професионални общности, но и на широката общественост. Възникват нови средства и възможности по отношение на събирането на данни, във връзка с което G o o d c h i l d (2007) изтъква прилагането на „нови принципи на доброволно участие на физически лица в създаването, разпространението и свободното споделяне на географска информация“.

Трябва да се отбележи обаче, че независимо от различните етапи на развитие на ГИС, тяхната същност остава непроменена и както подчертава D a n g e r m o n d (2003) „истинската същност на ГИС е аналитичната част, която изследва на научно ниво пространствените взаимовръзки, структури и процеси на географските явления, културните, биологичните и физичните явления... това е областта, която открива най-добри възможности да вникнем в същността на нашия свят, в неговото развитие, взаимосвързаност и промени“. В същия смисъл П o p o в (2012) отбелязва, че „функциите за пространствен анализ и моделиране не само отличават ГИС от останалите информационни сис-

теми, но ги превръщат в ефективен инструмент за разкриване и визуализация на пространствени връзки и взаимодействия между обектите и явленията“. Важно е към това да се добавят възможностите на съвременните ГИС за директно въвеждане в геобазите данни на резултатите, получени с различни форми на измервания на обектите и процесите на земната повърхност. По такъв начин понастоящем ГИС съдържат не само аналитична част, а интегрират процесите на наблюдение и количествени измервания с геопропространствените анализи и моделиране в единна система. Всичко това заедно с големите възможности на ГИС за съхраняване и визуализация на данни ги определя като изключително важно и необходимо средство за изследване на състоянието и мониторинг на промените на ландшафтите.

ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Данните от дистанционни изследвания имат широко приложение за картографиране и анализ на състоянието и измененията на ландшафтите, на земното покритие и земеползването. Те преодоляват много от ограниченията на традиционните изследователски техники за получаване на непрекъснати и подробни данни за екосистемите (Ward et al., 2003; Rogan, Chen, 2004; Gillanders et al., 2008). Използването на данни от дистанционни изследвания дава възможност за картографиране и мониторинг на пространствените характеристики на различни фактори, които оказват влияние и допринасят за промени на околната среда, в т.ч. растителност, типове земно покритие, водонепропускливи повърхности и др. Дистанционните изследвания могат да осигурят и необходимите данни за създаване на редица ландшафтни модели и сценарии за симулация на резултатите от дейностите, свързани с планирането и управлението на ландшафтите (Veldkamp, Lambin, 2001; Sohler et al., 2007; Tang et al., 2007; Sohl, Sleeter, 2012).

Пространствената структура на промените на земното покритие и земеползването е специфична за даден район и зависи както от физикогеографски, така и от социално-икономически фактори (Gallant et al., 2004). Според Pettit et al. (2001) мониторингът е от изключителна важност за анализирането и прогнозирането на промените, а също за подобряване на моделирането на базата на информация за съвременното и историческото състояние на ландшафтите и на движещите сили за техните изменения. Във връзка с това дистанционните изследвания имат все по-разнообразни приложения за анализ на ландшафтната структура. Стандартният подход се базира на картографиране на земното покритие и земеползването по данни от дистанционни изследвания и последваща обработка с използване на специализиран софтуер за анализ на пространствената структура на ландшафтите (McGargal et al., 2002; Silva et al., 2008; Wang et al., 2009).

Важна роля за мониторинга на промените на ландшафтите имат данните от дистанционни изследвания, получени както от съвременните, така и от историческите оперативни спътници на Земята. Те се използват директно като вход при разработването на повечето пространствени модели на земното покритие и земеползването (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Пространствени модели на земното покритие и земеползването
(Sohl, Sleeter, 2012)

Модели	Описание	Примери
Вериги на Марков	Вероятностен модел на състояние – промяна във фиксирани моменти от времето; Правилата за промяна на даден тип земно покритие често зависят от историческите промени; Вероятностите за промяна обикновено са независими от състоянието или динамиката на съседните клетки.	<ul style="list-style-type: none"> • Muller and Middleton (1994) • Petit et al. (2001) • Coppedge et al. (2007) • Tang et al. (2007)
Геостатистически – емпирични	Съставяне на карти за възможни или вероятни локалитети на промени на моделираните типове земно покритие; Често се използва регресионен анализ; Подкатегория на изкуствените невронни мрежи.	<ul style="list-style-type: none"> • GEOMOD-Hall et al. (1995); Pontius et al. (2001) • CLUE-Verburg et al. (1999, 2008) • FORE-SCE-Sohl et al. (2007); Sohl, Sayler (2008) • Land Transformation Model-Pijanowski et al. (2002); Tang et al. (2005)
Клетъчни автомати	Пространствено-темпорално допълнение към модела на Марков; Модел на състояние-промяна с компонент за съседство; Правилата за промяна са дефинирани от текущото състояние на клетката, но също и от състоянието на съседните клетки.	<ul style="list-style-type: none"> • SLEUTH-Claggett et al. (2004); Xibao et al. (2006) • Walsh et al. (2006) • Ozah et al. (2010)
Агент – базирани	Моделира се ролята на вземани от човека решения за промените в земното покритие Моделиране на поведението и взаимодействието на „агенти“ (отделни лица, фирми, държавни или други органи, които могат да окажат влияние на промените); Агенти, влияещи на промените в земното покритие за даден локалитет; Промените в земното покритие, възникнали от взаимодействието на антропогенни и природни процеси.	<ul style="list-style-type: none"> • MR.POTATONEAD- Parker et al. (2006) • PALM-Matthews (2006) • SAMBA-Castella, Verburg (2007) • Valbuena et al. (2010)

Интегрирани	Интегриране на множество подходи за моделиране; Може да включват тясно интегрирани модели с обратна връзка или свободно интегрирани модели, фокусирани върху предаване на данни между моделите; Възможност за комбиниране на пространствени и непространствени подходи за моделиране; Обикновено включват иконометрични или други икономически модели.	<ul style="list-style-type: none"> • IMAGE-Alcámo et al. (1998); Strengers et al. (2004) • Verburg et al. (2008) • Jansson et al. (2008) • Moreira et al. (2009)
-------------	--	--

Данните за промените в земното покритие, земеползването, ландшафтните условия и ландшафтната структура са основа за разработването на сценарии, анализи на движещите сили, параметризация и валидация на моделите. Голяма част от моделите на земното покритие и земеползването служат за определяне на движещите сили на промените, в т.ч. социално-икономически и природни. Данните от дистанционните изследвания се използват за разработването и валидацията на моделите, като основното предизвикателство е свързано с тяхното прилагане за анализ на ландшафтните процеси.

ИНТЕГРИРАНЕ НА ГИС И ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Изследванията и анализите на промените на ландшафтите са тясно свързани с използването на съвременните геоинформационни технологии, които осигуряват събиране, обработка и управление на данните, анализиране, моделиране и визуализация на получените резултати. Това се осъществява главно с дистанционни изследвания, обработка и анализ на изображения, ГИС, пространствени анализи и моделиране. Дистанционните изследвания чрез различните сензори и платформи (сателитни, самолетни и др.) представляват изключително важен източник на данни за картографиране на елементите на ландшафтите, които се използват за мониторинг на промените. Получаването на необходимата информация от данните от дистанционни изследвания (сателитни изображения, цифрови ортофото изображения и др.) се осъществява чрез използването на редица техники и методи за анализ, представени от Jensen (2005) и включващи обработка на изображения, интерпретация и класификация на изображения и откриване на промени. ГИС осигуряват възможност за интегриране и анализ на разнообразните данни, в т.ч. физикогеографски и социално-икономически, които служат за разкриване на движещите сили за динамиката и развитието на ландшафтите (Wright et al., 2004). Пространствените модели в ГИС среда на базата на математически методи могат да предоставят данни за комплексните структури на обектите и явленията, използвани за разкриване на динамиката на ландшафтните системи и за оценка на различните сценарии за бъдещото им

развитие (C l a r k e et al., 2002; Y a n g, 2005). Важно е да се отбележи, че възможностите на ГИС и дистанционните изследвания значително се увеличават при тяхното интегриране и съвместно използване.

Според Y a n g (2010) съществуват две основни причини за интегрирането на дистанционни изследвания и ГИС. От една страна, съвременните ГИС се развиват по-успешно в обработването на данни и в управлението на информация в сравнение с пространствените анализи и моделирането. Поради това ГИС са силно зависими от съществуващите източници на данни и особено на оперативни данни. Нещо повече, през последните години практически е невъзможно да се осигури обновена информация без използването на данни от дистанционни изследвания. Поради това за изследване динамиката на ландшафтите е необходимо интегрирането на ГИС и дистанционни изследвания. От друга страна, постоянното развитие на ГИС като технология осигурява нови възможности за пространствени анализи, но все още не са разработени достатъчно добри средства за моделиране, необходими за научните изследвания. Това налага интегрирането на ГИС с други програми и модули за пространствени анализи и моделиране. Сериозно влияние за съвременното развитие на ГИС оказват инструменти като Google Maps и Web 2.0 технологиите (Г л а в ч е в, 2012). В напълно отворената за потребителите среда на Web 2.0 се разработват нови ГИС приложения – виртуални, потребителски, модулни и т. н., с използване на данни от разнообразни източници и предоставяне на електронни картографски услуги. ГИС и Web 2.0 позволяват изобразяване на информация в съответния пространствен и времеви формат, работа в интерактивен режим с Google Maps сателитни изображения и хибридни карти, уеб страници, блогове и др. Основният принцип за свободно достъпни данни в Web 2.0 осигурява възможности за тяхното модифициране, допълване и споделяне от потребителите. Всичко това предоставя много нова информация за ГИС базите данни, в т.ч. за състоянието и промените на ландшафтите, но създава и някои проблеми преди всичко по отношение на проверката (верификацията) и потвърждаването (валидацията) на данните.

За интегриране на геоинформационните технологии във връзка с процесите на наблюдение, измерване, обработка и анализ на данни и моделиране се прилагат три подхода: пълно, тясно и свободно интегриране (Y a n g, 2010). Както отбелязват G o o d c h i l d et al. (1992) всеки подход има своите предимства и недостатъци. При *пълното интегриране* се обединяват техники за анализ на изображения, пространствени анализи и динамично моделиране в един ГИС софтуерен пакет. Предимството на този подход е, че доставчиците на софтуера имат грижата за програмирането и техническата поддръжка. Главният недостатък е, че съвременният ГИС пазар изисква създаването на огромни бази данни и управлението на големи обеми информация, което ограничава разработването на сложни анализи на данни и функции за моделиране в един софтуер. Освен това не е реалистично да се очаква, че доставчиците на ГИС софтуер сами ще разработват нови инструменти без значителен натиск от страна на пазара. Подходът за *тясно интегриране* включва определени анализи на данни, динамично моделиране и възможности за интерактивна визуализация в ГИС софтуерен пакет с използване на ГИС програмиране, скрипт или конвенционално програмиране (B a t t y, X i e, 1994; P i j a n o w s k i et al., 2005). Тъй като съвременният

ГИС софтуер е сравнително гъвкав и потребителски ориентиран, потребителските приложения могат пряко да се свържат с различни програмни средства. Но тясното интегриране чрез ГИС програмни езици е предизвикателство за потребителите заради трудностите при работа с различни структури на данните. Поради това ограничение някои по-сложни инструменти не могат да се свържат лесно. Освен това потребителите се натоварват допълнително с техническата задача за програмиране. *Свободното интегриране* обхваща пакети или модули на стандартни ГИС, обработка на изображения, статистически анализи и динамично моделиране. Тези геоинформационни технологии могат да се интегрират чрез обмяна на ASCII файлове между пакетите или чрез използване на бинарни файлове с общ формат (L a n d i s, 1995; C l a r k e, G a u d o s, 1998). Предимството на подхода е, че не е необходимо да се разработва допълнителен софтуер, така че потребителите не се натоварват с тежките задачи за програмиране. В допълнение потребителите могат да използват пълния набор от разнообразни инструменти, достъпни в различните софтуерни пакети. Недостатък на този подход е възможността трансформацията на данни от различните пакети да бъде продължителна и съпроводена с грешки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пространствените анализи на състоянието и промените на ландшафтите са свързани с интегрирането на ГИС и дистанционни изследвания във връзка със събирането на данни, мониторинга на промените, обработката, анализите и визуализацията на получените резултати. Данните за земното покритие и земеползването предоставят информация за историческото и актуалното състояние на ландшафтите и могат да подпомогнат разкриването на движещите сили на настъпилите промени. Основното предизвикателство в геопространствените анализи и моделиране е възможността за използване на точни данни, които са съвместими пространствено и темпорално. В този смисъл изключително важна роля за моделиране на промените на ландшафтите имат данните от дистанционните изследвания, които осигуряват пълно пространствено покритие, подходяща резолюция, последователност на наблюдението и многократна повторяемост при висока ефективност на вложените финансови средства, ресурси и време.

Все още няма разработен универсален подход за интегриране на ГИС и дистанционни изследвания при съвременните научни, в т.ч. ландшафтни, проучвания, въпреки широкото признаване на необходимостта от това. Разгледаните три подхода притежават различни предимства и недостатъци, но на този етап всеки един от тях осигурява конкретни решения на определени задачи. Затова понастоящем се използват и трите подхода, като е необходимо да се направи експертно обоснован избор при разработването на всяко конкретно приложение.

ЛИТЕРАТУРА

- Г л а в ч е в, А. 2012. ГИС: Web 2.0 променя ситуацията. <http://sagabg.net/tags/8886/> (Посетен на 14.03.2012).
- П о п о в, А. 2012. Географски информационни системи: основи на геоинформационното моделиране. Изд. „Анубис“, С., 471 стр.
- A l c a m o, J., R. L e e m a n s, E. K r e i l e m a n. 1998. Global Change Scenarios of the 21st Century. Results from the IMAGE 2.1 Model. London: Pergamon & Elseviers Science, 296 pp.
- B a t t y, M., Y. X i e. 1994. Modelling inside GIS: Part I. model structures, exploratory spatial data analysis and aggregation. – *International Journal of Geographic Information Systems*, 8(3), 291-307.
- B u r g i, M., A. M. H e r s p e r g e r, N. S c h n e e b e r g e r. 2004. Driving forces of landscape change – current and new directions. – *Landscape Ecology*, 19(8), 857-868.
- B u t l e r, D. 2006. Virtual globes: the web-wide world. – *Nature*, 439(7078), 776-778.
- C a s t e l l a, J. C., P.H. Verburg. 2007. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountainarea of Vietnam. – *Ecological Modelling*, 202, 410-420.
- C l a g g e t t, P. R., C. A. Jantz, S.J. Goetz, C. Bisland. 2004. Assessing development pressure in the Chesapeake Bay Watershed: An evaluation of two land-use change models. – *Environmental Monitoring and Assessment*, 94, 129-146.
- C l a r k e, K. C., J. G a y d o s. 1998. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. – *International Journal of Geographic Information Science*, 12(7), 699-714.
- C l a r k e, K. C., B. O. P a r k s, M. P. C r a n e, (Eds.). 2002. Geographic information systems and environmental modeling. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- C o p p e d g e, B. R., D. M. E n g l e, S. D. F u h l e n d o r f. 2007. Markov models of land cover dynamics in a southern Great Plains grassland region. – *Landscape Ecology*, 22, 1383-1393.
- C h r i s m a n, N. 2005. Full circle: more than just social implications of GIS. – *Cartographica*, 40(4), 23-35.
- D a n g e r m o n d, J. 2003. Foreword. – In P. Longley and M. Batty (Eds.), *Advanced spatial analysis: the CASA book of GIS*, Redlands, CA: ESRI Press.
- G a l l a n t, A. L., T. R. L o v e l a n d, T. L. S o h l, D. E. N a p t o n. 2004. Using an ecoregion framework to analyze land-cover and land-use dynamics. – *Environmental Management*, 34, 89-110.
- G i l l a n d e r s, S. N., N. C. C o o p s, M. A. W u l d e r, S. E. G e r g e l, T. N e l s o n. 2008. Multi-temporal remote sensing of landscape dynamics and pattern change: describing natural and anthropogenic trends. – *Progress in Physical Geography*, 32(5), 503-528.
- G o o d c h i l d, M. F. 1997. What is Geographic Information Science? NCGIA Core Curriculum in GIScience, <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u002/u002.html>, posted October 7, 1997.
- G o o d c h i l d, M. F. 2007. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. – *GeoJournal*, 69(4), 211-221.
- G o o d c h i l d, M. F., R. H a i n i n g, S. W i s e. 1992. Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities. – *International Journal of Geographic Information Systems*, 6(5), 407-423.
- G u n t h e r, O., R. M u l l e r. 1999. From GISystems to GIServices: spatial computing in the Internet marketplace. – In: M. Goodchild, M.J. Egenhofer, R. Fegeas&C.Kottman (Eds.), *Interoperability in geographic information systems*, 427-442.
- H a l l, C. A. S., H. T i a n, G. P o n t i u s, J. C o r n e l l. 1995. Modelling spatial and temporal patterns of tropical land use change. – *Journal of Biogeography*, 22, 753-757.

- Jansson, T., M. M. Bakker, B. Boitier, J. Fougeyrolla, H. van Meijl, P. J. Verkerk. 2008. Linking models for land-use analysis: Experiences from the SENSOR project. – In: 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists. EAAE 2008, Ghent, Belgium.
- Jensen, J. R. 2005. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (3rd), Prentice Hall, 526 p.
- Jiang, B., X. Yao (eds.). 2010. Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics. – GeoJournal Library 99. Springer Science+Business Media B.V., 445 p.
- Krek, A. 2006. Geographic information as an economic good. – In: GIS for sustainable development. Campagna M., Taylor and Francis.
- Landis, J. 1995. Imaging land use futures: applying the California urban futures model. – Journal of the American Planning Association, 61(1), 438-457.
- Longley, P. A. 2002. Geographical information systems: will developments in urban remote sensing and GIS lead to “better“ urban geography? – Progress in Human Geography, 26(2), 231-239.
- Mattews, R. B. 2006. The People and Landscape Model (PALM): Towards full integration of human decision-making and biophysical simulation models. – Ecological Modelling, 194(4), 329-343.
- McGarrigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel, E. Ene. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Moreira, E., S. Costa, A. P. Aguiar, G. Camara, T. Carneiro. 2009. Dynamical coupling of multiscale land change models. – Landscape Ecology, 24, 1183-1194.
- Muller, M. R., J. Middleton. 1994. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. – Landscape Ecology, 9(2), 151-157.
- Ozah, A. P., F. A. Adesina, A. Damii. 2010. A deterministic cellular automata model for simulating rural land use dynamics: A case study of Like Chad basin. ISPRS Archive, XXXVIII, Part 4-8-2-W9, Core Spatial Databases-Updating, Maintenance, and Services- From Theory to Practice Haifa, Israel.
- Parker, D., D. Brown, J. G. Polhill, S. M. Manson, P. Deadman. 2006. Illustrating a new “conceptual design pattern“ for agent-based models and land use via five case studies: MR POTATOHEAD framework. – In: A.L. Paredes and C.H. Iglesias (Eds.), Agent-based Modelling in Natural Resource Management (pp.29-62). Valladolid, Spain: Universidad de Valladolid.
- Petit, C., T. Scudder, E. Lambin. 2001. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: Resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. – International Journal of Remote Sensing, 22(17), 3435-3436.
- Pijanowski, B. C., D. G. Brown, B. A. Shellito, G. A. Manik. 2002. Using neural networks and GIS to forecast land-use change: A land transformation model. – Computers, Environment and Urban Systems, 26, 553-575.
- Pijanowski, B. C., S. Pithadia, B. A. Shellito, K. Alexandridis. 2005. Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States. – International Journal of Geographical Information Science, 19(2), 197-215.
- Pontius, Jr., R. G., J. D. Cornwell, C. A. S. Hall. 2001. Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: Application and validation for Costa Rica. – Agriculture, Ecosystems and Environment, 85, 191-203.
- Rogan, J., D. Chen. 2004. Remote sensing technology for land cover and land use mapping and monitoring. – Progress in Planning, 61(4), 301-325.

- Silva, M. P. S., G. Camara, M. I. S. Escada, R. C. M. De Souza. 2008. Remote-sensing image mining: Detecting agents of land-use change in tropical forest areas. – International Journal of Remote Sensing, 29(16), 4803-4822.
- Sohl, T., B. Sletter. 2012. Role of Remote Sensing for Land-Use and Land-Cover Change Modeling. – In: Giri, Ch. (Ed.). Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications. CRC Press, Taylor & Francis Remote Sensing Applications Series, 225-242.
- Sohl, T. L., K. L. Saylor. 2008. Using the FORE-SCE model to project land-cover change in the southeastern United States. – Ecological Modelling, 219, 49-65.
- Sohl, T. L., K. L. Saylor, M. A. Drummond, T. R. Loveland. 2007. The FORE-SCE model: A practical approach for projecting land cover change using scenario-based modeling. – Journal of Land Use Science, 2(2), 103-126.
- Stengers, B., R. Leemans, B. Eickhout, B. de Vries, L. Bouwman. 2004. The land-use projections and resulting emissions in the IPSS SRES scenarios as simulated by the IMAGE 2.2 model. – GeoJournal, 61, 381-393.
- Tang, J., L. Wang, Z. Yao. 2007. Spatio-temporal urban landscape change analysis using the Markov chain model and a modified genetic algorithm. – International Journal of Remote Sensing, 15(10), 3255-3271.
- Tang, Z., B. A. Engel, B. C. Pijanowski, K. J. Lim. 2005. Forecasting land-use change and its environmental impact at a watershed scale. – Journal of Environmental Management, 76, 35-45.
- Valbuena, D., P. H. Verburg, A. K. Bregt, A. Ligtenberg. 2010. An agent-based approach to model land-use at a regional scale. – Landscape Ecology, 25(2), 185-199.
- Veldkamp, A., E. F. Lambin. 2001. Predicting land-use change. – Agriculture, Ecosystems and Environment, 85, 1-6.
- Verburg, P. H., G. H. J. DeKoning, K. Kok, A. Veldkamp, J. Bouma. 1999. A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use. – Ecological Modelling, 116, 45-61.
- Verburg, P. H., B. Eickhout, H. van Meijl. 2008. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. – The annals of Regional Science, 42, 55-77.
- Walsh, S. J., B. Entwistle, R. R. Rindfuss, P. H. Page. 2006. Spatial simulation modeling of land-use/land-cover change scenarios in northeastern Thailand. A cellular automata approach. – Journal of Land Use Science, 1(1), 5-28.
- Wang, Y., B. R. Mitchell, J. Nugranad-Marzilli, Bonynge, Y. Zhou, G. Shriver. 2009. Remote sensing of land-cover change and landscape context of the National Parks: A case study of the Northeast Temperate Network. – Remote sensing of Environment, 13, 1453-1461.
- Ward, D., S. Phinn, A. Murray. 2003. Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data. – The Professional Geographer, 52(3), 371-386.
- Xiba, X., Z. Feng, Z. Jianming. 2006. Modeling the impact of different policy scenarios on urban growth in Lanzhou with remote sensing and cellular automata. Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS 2006. Denver, CO, 1435-1438.
- Yang, X. 2010. Integration of remote sensing with GIS for urban growth characterization. – In: Jiang, B., X. Yao (eds.). 2010. Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics. GeoJournal Library 99, Springer Science+Business Media B.V., 223-250.
- Yang, X. (Ed.). 2005. Special issue: urban remote sensing. – Computers, Environment and Urban Systems, 29(5), 497-616.

Департамент География при НИГГТ – БАН
 rvatseva@gmail.com

INTEGRATION OF GIS AND REMOTE SENSING FOR LANDSCAPE CHANGE ANALYSIS

R. Vatseva

(S u m m a r y)

Monitoring and investigation of landscape change involves the integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) for data acquisition, processing, analysis and visualization. This article reviews the Remote Sensing and GIS integration for landscape change characterization, as well as the main approaches to integrate geospatial technologies, their main capabilities and limitations.

The dynamic evolution of GIS for nearly five decades does not change their basic analytical part and opportunities for revealing of spatial relationships of objects. Current GIS technologies include not only an analytical part, but integrate the monitoring and quantitative measurements with spatial analysis and modeling into a one system, which identifies them as crucial tool for landscape studies. At the same time GIS is highly dependent upon existing sources of data, particularly the operational data. Remote Sensing provide multi-source, multi-scale and multi-temporal data that are quite important for monitoring and mapping landscape change. Image processing techniques, such as transformation, classification, interpretation and change detection are applied to derive needed information from imagery. The data presenting historical and current spatial patterns of landscape change are needed for spatial analysis and modelling in GIS environment, including scenario development and driving-force analysis. A summary of most commonly used models for land cover and landscape change that have direct impute from Remote Sensing imagery is presented.

The article highlights the main approaches to integrate GIS and Remote Sensing in relation to monitoring, measurement, data processing, analysis and modeling, taking out their main advantages and disadvantages. There is a need for more comprehensive approaches that integrate Remote Sensing technologies and GIS analysis and modeling for developing various applications.