

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНОВ НА ЛАНДШАФТНОЙ ОСНОВЕ

© 2021 г. А. К. Черкашин^а, *, С. И. Лесных^а, **

^аИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

*E-mail: akcherk@irknok.net

**E-mail: tyara@irigs.irk.ru

Поступила в редакцию 14.08.2020 г.

После доработки 18.05.2021 г.

Принята к публикации 25.05.2021 г.

Взаимодополняющие инструменты управления территорией — геоинформационный мониторинг (ГИМ) и геоинформационные системы (ГИС) — в единстве обеспечивают сбор, хранение, обработку, представление и визуализацию географических данных. ГИС — часть информационного блока организационной системы территориального управления, а ГИМ решает задачи связи наблюдаемой ситуации с ГИС, наполняет инвариантную базу данных ГИС для решения многочисленных задач. Особое место в ГИМ занимает мониторинг старых и новых источников, пространственно-распределенных данных разного происхождения. Технология ГИМ-ГИС разрабатывалась и реализовывалась на примере муниципальных районов Иркутской области и Республики Бурятия при решении различных проблем с использованием данных космического мониторинга и корректирующих наземных исследований. В системном анализе по технологии ГИМ-ГИС районы рассматриваются в качестве обновляющегося геоинформационного объекта территориального планирования и управления в конкретной ландшафтной среде для обеспечения безопасности и эффективности жизнедеятельности. Для обработки локальной информации определены триадные схемы формального синтеза данных на основе групповых операций. Организован сбор, подготовка и картографическая визуализация данных в ГИМ-ГИС о заражении местного населения клещевым энцефалитом в Прибайкалье.

Ключевые слова: геоинформационный мониторинг, геоинформационная система, муниципальный район, обработка пространственных данных, ландшафтная ГИС

DOI: 10.31857/S0869607121040029

ВВЕДЕНИЕ

Важным этапом на пути практического использования географических знаний стало создание геоинформационных систем (ГИС) и геоинформатики как науки о методах преобразования пространственных данных. Геоинформатика рассматривается в единстве с дистанционным зондированием и картографированием, которые связаны с формированием и обработкой разного рода геоизображений — распознаванием графических образов, их количественным и качественным анализом [1]. Появляется возможность рассматривать геоинформатику как высшую форму организации и проведения географических исследований и научного преобразования данных и знаний [24, 25].

Геоинформационная система воспринимается в разных масштабах не только как компьютерное программное обеспечение или база пространственно-распределенных данных, но и как сложная система регулирования информационных потоков в обще-

стве, начиная от сбора данных до потребления геоизображений в геологических процессах [3]. Геоинформационная система формируется на нескольких уровнях: информационном, программном, интегрированном, технологическом, сетевом, организационном. В последнем случае ГИС рассматривается в качестве важной части территориального управления взаимодействием природы, хозяйства, населения и органов власти, становящимися источниками и потребителями информации [31].

Десятилетия геоинформационная география формируется как прикладная наука, что имеет важное значение для существования самой географии [36]. Особенно это важно для мониторинга состояния участков территории и их границ на фоне природных и социально-экономических процессов разной интенсивности и направленности с последующим формированием баз данных ГИС из разных источников. Современное дистанционное зондирование для наполнения базы данных ГИС о земной поверхности использует различные платформы, включая спутниковые, бортовые, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), воздушные и наземные транспортные средства, а также пространственные данные реанализа для оценки изменения среды изучаемых районов [34]. БПЛА занимают промежуточное место между инструментами наземных и спутниковых наблюдений в системе комплексного экологического мониторинга [33]. Для оценки изменений в землепользовании привлекаются исторические карты для формирования сетки границ кадастровых земельных участков путем их оцифровки, геопривязки, векторизации и сравнения с помощью ГИС [16, 37].

Территориальная ГИС пополняется текущей информацией, обеспечивающей механизмы прямой коммуникации власти и местных жителей муниципальных районов, что позволяет онлайн отвечать на обращения жителей, быстро реагировать на повседневные проблемы. ГИС становится инструментом совместной работы различных служб, интеграции общества [30, 35].

Обновляющаяся ГИС, поддерживающая функции геоинформационного мониторинга, концентрирует и преобразует потоки пространственных данных и знаний, предлагая полезные для использования в быту, в обществе и на производстве сведения для оценки ситуации и решения задач территориального управления на разных уровнях организации. В этом процессе в первую очередь необходимо получать новую объективную информацию, позволяющую делать обоснованный выбор, для чего требуются особые средства, основанные на позициях географического мышления.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И МЕТОДЫ

Традиционно мониторинг рассматривается как система повторных наблюдений за состоянием элементов природной среды, распределенных в пространстве и изменяющихся во времени, с целью оценки тенденций изменения этого состояния и прогнозирования его изменения под воздействием различных факторов и условий. Стандартная архитектура систем мониторинга включает в себя подсистемы сбора, хранения и анализа информации, в которых, соответственно, осуществляется сбор и совместная обработка данных о природной среде, анализ и моделирование явлений, процессов и тенденций их развития [9].

С появлением геоинформатики теория мониторинга получила дальнейшее развитие за счет применения интегрированных информационных систем обработки данных [4, 22]. Появившийся геоинформационный мониторинг (ГИМ) является самым объемным видом мониторинга, позволяющим изучать наибольшее число геотехнических и природных систем [11]. Его цель — исследование состояний пространственных объектов, их пространственных отношений, взаимодействия объектов с окружающей средой, мониторинг окружающей среды. ГИМ позволяет решать широкий класс задач: мониторинг городских территорий, пожароопасных зон, чрезвычайных ситуаций, подвижных объектов, земель, экологический и эпидемиологический мониторинг и т.д.

По характеру источников и повторяемости ГИМ подразделяется на фоновый, текущий и оперативный [4]. Фоновый мониторинг — это базовые наблюдения за естественным состоянием объектов (земель, лесов и т.д.), результаты которых являются средовой нормой для сравнения. В регионах он проводится специально уполномоченными государственными органами Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, земле-, лесо- и охотоустройства, в заповедниках и на научных полигонах. Текущий мониторинг постоянно осуществляется на предприятиях и населением для контроля за текущими изменениями состояния окружающей среды в результате сброса-выброса загрязнителей, для предупреждения и ликвидации последствий. Оперативный мониторинг необходим для выявления нарушений законодательства и реализуется на нерегулярной основе службами государственной инспекции. В архитектуре системы оперативного мониторинга появляются подсистемы оповещения, вывода и коррекции, направленные на быстрое (немедленное) реагирование на обнаруженные несоответствия в системе [9].

В плане геоинформационного обеспечения все виды мониторинга используют единую картографическую, фактологическую и инструментальную информацию, например, общегеографические и ландшафтные карты, данные наземных наблюдений, обладающие заведомо большей точностью и используемые для валидации данных дистанционного мониторинга для приведения в известность состояния среды, управления территорией и обеспечения безопасности жизнедеятельности [15].

Наглядным примером мониторинга является организация стационарных ландшафтных исследований по методу комплексной ординации [20] на пробных площадях (выделах фаций, участков биогеоценозов) полигон-трансекта. Наблюдения проводятся синхронно с различной повторностью группами исследователей разных специальностей для изучения особенностей местных природных режимов. Этому предшествует нивелирование местности и детальное ландшафтное и иное тематическое картографирование профильной полосы трансекта с выделением опытных участков и с их привязкой к сетке точек разметки местности (пикетам) и ареалам типов фаций. В итоге формируются пространственно-временные ряды показателей, оформленные в базу данных ГИС. Многолетние стационарные наблюдения позволяют судить о сезонной ритмике и восстановительной динамике геосистем. Синхронность наблюдений обеспечивает выявление характера и тесноты связей между компонентами средствами многомерной статистики и математического моделирования [21].

Мониторинг проводится в несколько этапов, соответствующих его стандартной архитектуре: выбор объектов наблюдения, организация и проведение наблюдений адекватными средствами измерения, инвентаризация полученных данных по территории, хранение, систематизация, обработка и предоставление информации [5]. Здесь соединены функции собственно мониторинга (наблюдения и измерения) и информационной системы хранения и обработки данных, или, по биологической аналогии, глаз и мозга организма. Подчеркиваются качества организованности, системности, изменчивости и территориальности мониторинга, что делает его особенно важным для обеспечения географических исследований. По этой причине реализация мониторинга проходит по этапам системного анализа с использованием возможностей ГИС [14] с созданием математических моделей, прогнозных и оптимизационных карт. В этой технологии база данных ГИС формируется как инвентаризационно-информационный объект, подлежащий количественному и качественному системному изучению. Важнейшими свойствами данных является их актуальность, полнота, достоверность и точность географической привязки, что связывает мониторинг с задачами метрологии прямых и косвенных измерений [26].

В схеме территориального координационного управления [27] с разделением функций и полномочий мониторинг как система наблюдения и измерения не имеет самостоятельного институционального значения. Его основная функция — наполнение

информационных систем. В этом качестве мониторинг выступает как посредник (представитель) между реальностью и информационными структурами, куда включены не только средства массовой информации (СМИ), но и инструменты научного анализа и визуализации сведений, в частности, ГИС-картографирования ситуации. Виды мониторинга различаются по целевой установке – направлению (вектору) предоставления и использования информации о ситуации. ГИМ в структуре территориального управления – это деятельность, ориентированная на наполнение и актуализацию инвариантных баз данных и знаний ГИС, привлекаемых для решения самых разных задач. Иллюстрацией мониторинга является работа информационных агентств – специализированных организаций, обслуживающих СМИ. Их основная функция – снабжение оперативной информацией репортерами со всего мира редакций газет, телевидения, других организаций и частных лиц, являющихся подписчиками на его новостную продукцию. Агентства предоставляют “сырую” фактическую информацию без ее содержательной интерпретации. Важным источником информации для принятия решений являются жалобы, обращения и сообщения населения. Существует возможность в режиме “мобильный репортер” получать новости о жизни района, поселка и даже отдельной семьи или человека. Контент-анализ таких сообщений с целью содержательной интерпретации выявленных количественных закономерностей предоставляет материал для тематического ГИС-моделирования и картографирования.

По масштабу выделяют глобальный, региональный и локальный уровни ГИМ. Локальный мониторинг применяют к отдельным территориальным объектам и муниципальным районам, где отслеживаются местные характеристики среды. Муниципальный район является самостоятельной самоуправляемой территорией с пространственно распределенной структурой организации жизни природы, общества и производства и в то же время – это элементарный уровень полномасштабного проявления действия структур управления [3]. Рассмотрение муниципального района в качестве постоянно обновляющегося пространственного объекта позволяет достигнуть необходимого уровня информированности для территориального планирования и управления с учетом основных природных, экономических и социальных условий обеспечения безопасности и эффективности жизнедеятельности [15].

ЛАНДШАФТНАЯ ГИС ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Функциональная ориентация ГИМ-ГИС – комбинированная и многоцелевая, поскольку сбор информации осуществляется безотносительно к запросам пользователей и обеспечению решения конкретных проблем. Это может быть научно-исследовательская и информационно-справочная система или учетно-кадастровая система, предназначенная для территориального управления с возможностью системного анализа и моделирования. В соответствии с требованием полноты сконцентрированной в ГИС информации такие ГИС должны содержать данные, позволяющие удовлетворять различные запросы. При появлении задач, требующих качественно новой информации, эта информация добавляется в базу данных и используется наравне со старыми сведениями.

Выделяются переменные и постоянные составляющие базы данных ГИС фоновой, текущего и оперативного мониторинга. Постоянной, инвариантной основой являются сетки контуров, представленные административными, ландшафтными, лесо-устроительными и растровыми границами членения территории. Каждая ячейка сетки (район, ареал, выдел, пиксел) связана со значениями атрибутов базы данных ГИС, которые сохраняются, пополняются, обновляются, преобразуются и отображаются на картах. Эта информация становится основой для интерпретации результатов ГИМ. Особое значение для содержательной трактовки данных и знаний имеет ГИМ-ГИС, построенная на ландшафтной основе: сначала как система информационного обеспе-

чения географических исследований и организации ГИМ, а затем как средство интерпретации данных с ландшафтно-картографической привязкой [23]. Ландшафтная ГИС создается в виде электронного варианта ландшафтной карты с сеткой границ выделов с атрибутивными данными по каждому из выделов [7]. Множество фаций (или иных подразделений) легенды карты упорядочено в факторальную систему, их параметры закодированы: для каждой фации составлено подробное покомпонентное описание (паспорт фации) в специальной базе данных – основе для интерпретации содержания методом переклассификации легенды. При этом принимается, что одни и те же значения данных в разных ландшафтных обстоятельствах (фациях) выражают отличающееся содержание, трактуются своеобразно. В качестве эталонов внутриландшафтного сравнения и сопряженного изучения природных режимов используются равнинные коренные фации местных проявлений зональной нормы или естественные ненарушенные хозяйственной деятельностью ландшафты.

Теоретический потенциал ландшафтоведения имеет фундаментальную ценность для разработки стратегии поведения человека в конкретном природном окружении. По этой причине первостепенное значение для ландшафтоведения имеют расширение и углубление полевых исследований, ландшафтное картографирование и разработка конструктивных концепций, которые позволят существенно поднять общественную значимость ландшафтоведения [6]. Ландшафтно-картографическая основа обладает инвариантными свойствами в смысле независимости ее формы и содержания от концептуальных основ создания ландшафтных карт и от системного подхода при их тематической интерпретации. При этом постулируется объективность выделения границ при физико-географическом районировании и типологическом картографировании, причем границы проводятся не по градиентам признаков, а на основе различия функциональных связей компонентов соседних участков [8]. На этом базируется технология ландшафтно-интерпретационного картографирования, позволяющая при наличии причинно-следственных связей переводить ландшафтные карты в карты нового тематического содержания, используя базы данных ГИС [23].

ТЕОРИЯ И МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При наличии обширного материала мониторинговых наблюдений основной проблемой реализации системы ГИМ-ГИС становится разработка теоретического базиса решения задач геоинформатики с помощью математических моделей преобразования данных ГИС. Накоплен достаточный опыт решения задач оценивания, прогнозирования и оптимального управления, который можно обобщить в графических схемах моделирования (рис. 1). В учении о геосистемах В.Б. Сочава [19] уделял большое внимание созданию графов процессов и явлений в географических исследованиях. Разрабатываются графы сравнения мозаик территории и выявляются пространственные закономерности связи между частями различных ландшафтов, климатическими условиями, участками землепользования и населением, полезными для планирования и управления ресурсами [29]. Давно продемонстрирована полезная связь ориентированных графов с системами дифференциальных уравнений, позволяющих делать расчеты [2].

В технологии геоинформационного моделирования ГИМ-ГИС применяется триадный принцип организации знаний и формирования уравнений. Ф.Н. Мильков [12] обращал внимание на важность использования правила триады в физической географии, согласно которому различаются крайние (окраинные, противоположные) позиции и срединная позиция, наиболее полно отражающая характерные черты объекта или явления. Триада – известное понятие философского конструирования и мышления. У Г. Гегеля триада – универсальная схема логики процесса развития: тезис *А* (исходная позиция), антитезис *В* (переход в противоположность, отрицание), синтез *С*

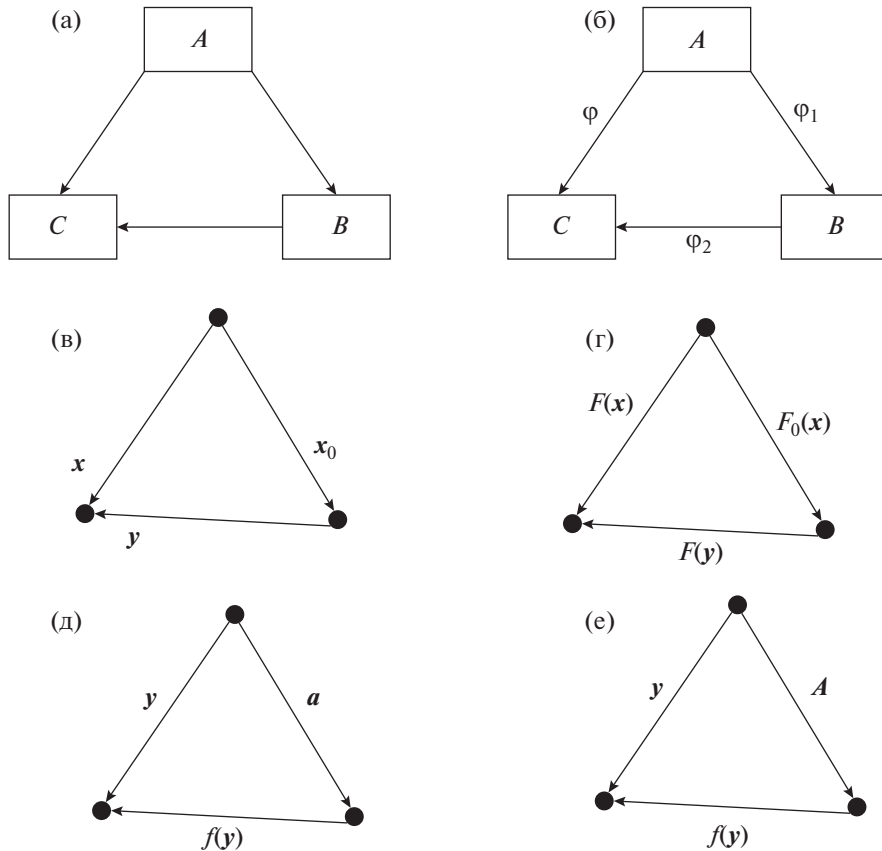


Рис. 1. Треугольные схемы обработки ГИМ-данных: (а) логическая триада; (б) коммутативная диаграмма; (в) векторная сумма; (г) функциональная сумма; (д) скалярное произведение; (е) операторные преобразования.

Fig. 1. Triangular GIM data processing schemes: (a) logical triad; (б) commutative diagram; (в) vector sum; (г) functional sum; (д) scalar product; (е) operator transformation.

противоположностей A и B в новое единство, противоположное первым двум (опосредование, отрицание отрицания). Такая логика напоминает групповые операции в математике, когда произведение целых чисел $C = AB$ дает новое, не равное исходным числам целое число, или сумма двух действительных чисел $C = A + B$ — новое вещественное число (рис. 1а).

Такой подход распространяется на другие треугольные ориентированные графы, из которых складывается сложная сетка связей элементов, например, сетка графа соседства ареалов фаций в ландшафте или органов местного управления на территории района. Всякий раз треугольный граф системно понимается по-разному и выражается с помощью соответствующих формул. На рис. 1б показан коммутативный треугольник, широко применяющийся для формализации отношений (морфизмов, стрелок φ) в математической теории категорий. В географии он отражает связи φ компонентов комплексов и комплексов между собой $\varphi: A \rightarrow B \rightarrow C$, что используется, например, для выделения ландшафтных границ по критерию функциональной связности [8]. Коммутативность морфизмов соответствует групповому отношению $\varphi = \varphi_1\varphi_2$, согласно

которому результат преобразований $\varphi: A \rightarrow C$ не зависит от последовательности преобразований $\varphi: A \rightarrow B \rightarrow C$.

Сложение векторов $\mathbf{x} = \mathbf{y} + \mathbf{x}_0$ (рис. 1в) – суммы нормального состояния географической среды $\mathbf{x}_0$ и меры отклонения $\mathbf{y}$ от нормы (возмущение), дает характеристику текущего состояния $\mathbf{x}$ геосистемы. Здесь прослеживается аналогия между задачами фонового $\mathbf{x}_0$, оперативного $\mathbf{y}$ и текущего $\mathbf{x}$ ГИМ. Основная задача ГИМ – выявление с помощью фоновых характеристик ландшафтно-типологических карт поместных отклонений $\mathbf{y} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_0$ от нормы и поиск методов их регулирования.

В терминах группы действительных чисел дается функциональная оценка состояния геосистемы по аддитивному принципу $F(\mathbf{x}) = f(\mathbf{y}) + F_0(\mathbf{x})$ (рис. 1г). Существует базовая аксиома ландшафтного анализа, согласно которой любая оценка $F(\mathbf{x})$ есть функция многообразия состояния ландшафтной среды $F_0(\mathbf{x})$ и некоторого возмущающего воздействия $f(\mathbf{y})$, определенного отклонениями характеристик компонентов геосистем от нормы $\mathbf{y} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_0$. Поиск таких оценочных формул является одной из центральных проблем применения результатов ГИМ при решении экологических задач [17].

Рис. 1д поясняет, как выглядит функция $f(\mathbf{y}) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y}$ – скалярное произведение векторов $\mathbf{a} \cdot \mathbf{y}$, где $\mathbf{y} = \{y_i\}$ – вектор показателей отклонения $y_i = x_i - x_{0i}$ от нормы x_{0i} по каждому компоненту i геосистемы; $\mathbf{a} = \{a_i\}$ – ковектор чувствительности влияния изменения величины y_i на изменение оценки $f(\mathbf{y})$. Расчетное уравнение

$$f(\mathbf{y}) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y} = \sum_{i=1}^n a_i y_i = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} y_i, \quad a_i = \frac{\partial f}{\partial y_i}, \quad f(\mathbf{y}) = F(\mathbf{x}) - F(\mathbf{x}_0). \quad (1)$$

Для квалиметрии косвенных измерений это соотношение дает множество оценочных однородных функций $f(\mathbf{y})$, среди которых наиболее известны разные средние значения n величин $\mathbf{y} = \{y_i\}$ с весовыми коэффициентами $\mathbf{w} = \{w_i\}$, например, для среднего арифметического $a_i = w_i/n$, геометрического – $a_i = (w_i/n)/(f(\mathbf{y})/y_i)$. Форму, аналогичную (1), имеет критерий Понтрягина при решении задач оптимального управления и создания оптимизационных карт [13].

Если используется многокритериальная оценка (вектор-функция) $\mathbf{f} = \{f_j(\mathbf{y})\}$, то $\mathbf{f} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{y}$, где $\mathbf{A} = \|a_{ij}\|$ – матрица коэффициентов a_{ij} воздействия (оператор преобразования) (рис. 1е). С помощью уравнения $\mathbf{f} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{y}$ описывается система взаимодействия разных относительных величин $\mathbf{y} = \{y_i\}$. Например, приняв $f_j(\mathbf{y}) = dy_j/dt$ – скорость изменения показателя y_j во времени t – получим систему дифференциальных уравнений. В частности, исследовались процессы гомеостатического регулирования породного состава горно-таежных лесов [10]. Использовались модели в показателях отклонения $\mathbf{y}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{x}_0$ переменных характеристик геосистем $\mathbf{x} = \{x_i\}$ от их равновесного значения $\mathbf{x}_0 = \{x_{0i}\}$:

$$\frac{dy_1}{dt} = a_{11}y_1 + a_{21}y_2 + a_{31}y_3, \quad \frac{dy_2}{dt} = a_{12}y_1 + a_{22}y_2 + a_{32}y_3, \quad \frac{dy_3}{dt} = a_{13}y_1 + a_{23}y_2 + a_{33}y_3,$$

где $y_i = x_i - x_{0i}$ – отклонение текущего запаса x_i i -й группы пород от потенциального запаса x_{0i} (древостой 1 – мелколиственных, 2 – светлохвойных, 3 – темнохвойных пород).

Для изучения механизмов динамики горной тайги составлялись эскизы таблиц хода роста на основе поведельных таксационных показателей из базы данных ГИС лесо-строительного мониторинга Слюдянского лесхоза [10]. С помощью модели проведен количественный анализ взаимодействия древостоев мелколиственных, светлохвойных и темнохвойных пород и проверены базовые гипотезы механизмов сукцессионных смен сложных по составу лесонасаждений в разных местоположениях и построен прогноз (рис. 2).

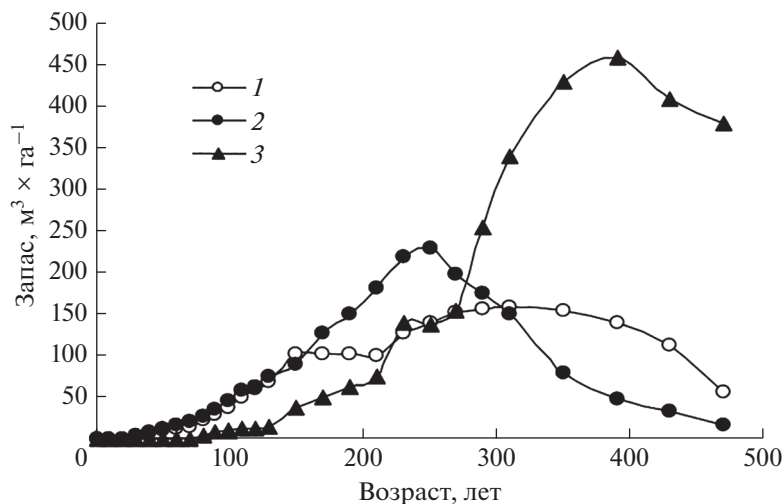


Рис. 2. Изменение с возрастом запасов древостоев горно-таежных бруснично-зеленомошных лесов III бонитета северо-восточного макросклона хр. Хамар-Дабан по группам пород: 1 – мелколиственные, 2 – светлохвойные, 3 – темнохвойные.

Fig. 2. Age-related changes of wood stock of mountain lingonberry-green-mossed taiga of the forest capacity III of the northeast macroslope at Hamar-Daban range by tree species group: 1 – small-leaved deciduous, 2 – light coniferous, 3 – dark coniferous forests.

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ГИМ-ГИС-ПРОЕКТОВ

Методика ГИМ разрабатывалась и реализовалась в Слюдянском и Жигаловском районах Иркутской области и Кабанском районе Республики Бурятия. Подробно проработана ГИМ-ГИС Слюдянского муниципального района [3, 28] с множеством приложений и серией карт. ГИС района основана на опыте крупномасштабного картографирования геосистем по снимкам космического мониторинга, решения проблем управления территориями и планирования региональной политики землепользования. Она базируется на понимании, что для решения большинства задач управления территориальным развитием уровень муниципального района реализации ГИС-проектов является оптимальным, поскольку появляется возможность с его помощью создавать ГИС большого территориального охвата и формировать детальные ГИС населенных пунктов.

Слюдянский район является одним из проблемных районов Иркутской области. Он охватывает южное побережье озера Байкал, где сосредоточены крупные автомобильные и железнодорожные магистрали, размещены отходы закрытого Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, сохранились уникальные лесные массивы и природные комплексы. Район расположен в центральной экологической зоне озера и может рассматриваться в качестве модельной территории управления, поскольку позволяет решать задачи, предусмотренные законом об охране оз. Байкал. Решение этих проблем требует современного информационного обеспечения для анализа сценариев развития района в противоречивых условиях деятельности. Таким средством решения территориальных задач становятся геоинформационные системы ГИМ-ГИС [3].

Разработанный ГИС-проект является информационной инструментальной основой решения задач управления территорией и оценки ее состояния, содержащей большой объем различной информации для детального и глубокого изучения перспектив

развития территории. Особенность данного проекта заключается в том, что он выполнен на основе космической информации. Все множество разнородного материала по территории района представлено в едином плане. Накопление таких данных позволяет детализировать экологическую ситуацию и обеспечить информацией модели, оптимизирующие управление территорией и качественное регулирование отношений в системе “природа–хозяйство–население”.

На территориях муниципальных районов производилась инвентаризация материалов, находящихся в хозяйственном использовании. Сюда вошли фондовые картографические материалы, карты лесной таксации, землеустройства, космоснимки “Ресурс-Ф2М” (камера МК-4) в масштабе 1 : 800 000 с разрешением на местности 6–8 м в четырех спектральных каналах, карта особо охраняемых территорий, нормативно-правовые документы, данные натурных исследований, информация гидрометеослужбы по изменению климатических и гидрологических характеристик и т.д. Этот этап является первоначальным в технологии технической реализации ГИМ-ГИС. Далее следовал этап привязки растровой информации к территории, этап дешифрирования и векторизации космоснимков с корректировкой по исходным картографическим материалам и результатам маршрутных наблюдений, а также в зависимости от существующей в обществе системы земельных отношений, зафиксированной в законодательной базе.

На основе проведенной инвентаризации на территориях выделены объекты, являющиеся источниками воздействия на окружающую среду и участки, сохранившиеся как фоновые (горно-таежные леса). Результатом этих мероприятий по технологии ГИМ-ГИС стало представление о современном состоянии горно-таежных экосистем, их компонентов и элементов, тенденций их изменения, а также выделены репрезентативные участки для данной территории (бассейны рек Куда, Каторжанка и Шумиха, бассейн р. Бабха у г. Байкальска, Энхалукский заказник с его окрестностями). На этих участках проводились наземные исследования. Их целью было уточнить и проверить результаты дешифрирования космоснимков, собрать информацию для разработки моделей и методов анализа дистанционных данных. Наземные наблюдения проводились двумя методами: 1) маршрутные наблюдения с визуальной, описательной, фотографической и видеофиксацией ландшафтов; 2) трансектное обследование территории с количественной фиксацией параметров биогеоценозов [21].

Вся собранная информация была уточнена, систематизирована, статистически обработана, проанализирована и отображена в ГИС районов в картографическом виде, позволяющем решать задачи мониторинга и управления. Накопленный по Слюдянскому району научный материал, разработанный при создании рамочного ландшафтного плана М 1 : 200 000, послужил отправной точкой для дальнейшего картографирования. В результате было создано комплексное картографическое произведение нового вида, а именно электронный атлас, интегрирующий современную информацию и знания о природе, ресурсах, экономике, экологии, населении и культуре района и представляющий эту информацию в виде и формах, пригодных для решения различных проблем территориального развития [17, 28].

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ГИМ-ГИС

Задачи создания, уточнения и обновления тематических карт являются одними из наиболее актуальных направлений ГИМ, поскольку ошибки на этом этапе влекут за собой искажение результатов дальнейших расчетов и выводов. Одним из примеров картографирования по схеме ГИМ-ГИС на ландшафтной основе служит проведенный медико-экологический мониторинг [32], в котором от исходной информации зависят решения органов управления в сложной, постоянно меняющейся эпидемической обстановке.

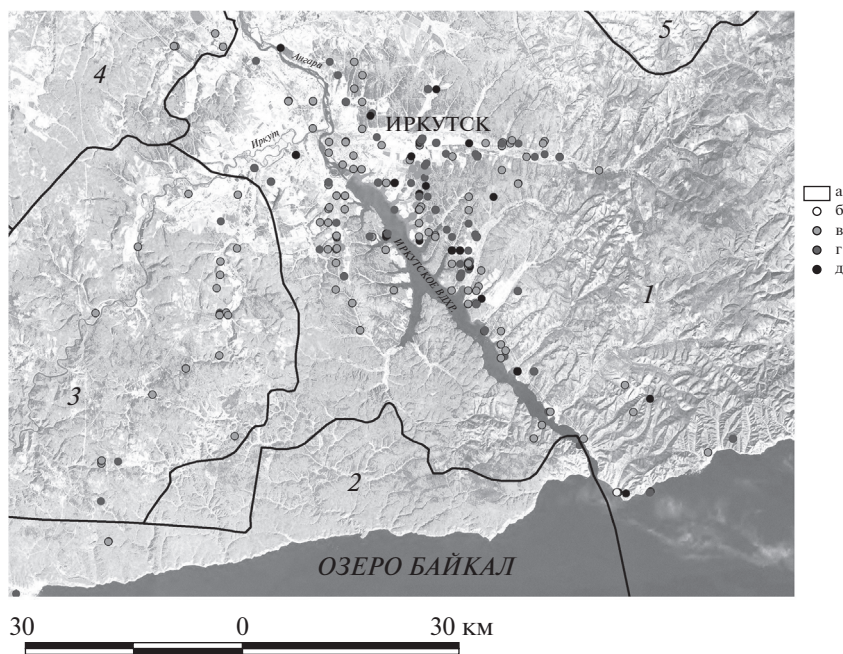


Рис. 3. Результаты геоинформационного мониторинга поместного заражения и заболевания населения клещевым энцефалитом в Прибайкалье в разные годы. Муниципальные районы Иркутской области: 1 – Иркутский, 2 – Слюдянский, 3 – Шелеховский, 4 – Ангарский, 5 – Эхирит-Булгатский Усть-Ордынского Бурятского округа. Условные обозначения: а – границы муниципальных районов; клинические формы заболевания: б – легкая, в – средней тяжести, г – тяжелая, д – критическая.

Fig. 3. The results of geoinformation monitoring of local infection and disease of the population with tick-borne encephalitis in the Baikal region in different years. Municipal districts of the Irkutsk region: 1 – Irkutsky, 2 – Slyudyansky, 3 – Shelekhovsky, 4 – Angarsky, 5 – Ekhirit-Bulagatsky Ust-Orda Buryat district. Conventional notation: а – boundaries of municipal districts; clinical forms of the disease: б – mild, в – moderate, г – severe, д – critical.

Эпидемиологическая информация имеет свои особенности [32]. Она разнообразна по содержанию (заболеваемость, носительство, демографические сведения, характеристики возбудителя и внешней среды и др.) и по источникам (официальная статистическая и полученная в результате научных полевых и аналитических исследований); для нее характерны большие объемы и сложность структуры. Наиболее трудной задачей здесь становится формирование единых подходов к сбору и анализу первичной информации о выявленных случаях заболевания с оптимизацией информационных потоков по заданным критериям (качество и количество, оперативность, непрерывность, достоверность).

При формировании эпидемиологической информации в системе ГИМ-ГИС второй задачей является территориальная привязка показателей. Обычно основой выступает карта административно-территориального деления изучаемой территории, где населенные пункты или административные районы становятся объектами привязки, а в качестве атрибутивной информации принимаются данные об эпидемическом состоянии их населения. Такие карты составляются в мелком масштабе, имеют справочный характер. Применение территориально-ландшафтной привязки дает возможность пространственно представить информацию о случаях заражения, связать ее с конкретной географической средой местоположения, добавить новые данные мони-

торинга реакции населения на природные опасности и в итоге проследить многолетнюю динамику развития ситуации с ее прогнозированием по конкретному месту и времени. На рис. 3 приведены результаты геоинформационного мониторинга и картографирования поместного заражения населения клещевым энцефалитом в Прибайкалье в разные годы.

На карте показаны случаи укусов, подтвержденные лабораторными анализами, ранжированные по тяжести клинической формы заболевания (от легкой до критической, приведшей к летальному исходу), зафиксированные на территории Иркутской области. Установленные случаи заражения приурочены к автомобильным трассам и местам отдыха населения: прибрежной зоне Байкала и Ангары, кустарниковым зарослям и лиственным лесам по долинам рек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Данное исследование отражает опыт работы по реализации ГИС-проектов и ГИС-моделированию и выявляет закономерности геоинформационного обеспечения и преобразования пространственных данных. Определяется позиция ГИМ в системе территориального управления как опосредующего звена связи территориальных объектов с их цифровыми моделями — геоинформационными объектами.

Геоинформационный мониторинг — пространственно распределенное и повторяющееся во времени наблюдение и измерение — неразрывно связан с созданием и наполнением геоинформационных систем, что обычно рассматривается в комплексе средств сбора, хранения, обработки и представления географической информации (ГИМ-ГИС). Остальные наблюдения и измерения — локальные и неповторяющиеся — можно считать вариантами мониторинга, решающими свои частные задачи без должного пространственно-временного охвата, но необходимые в исследованиях. Разделение функций ГИМ и ГИС дает возможность лучше формулировать и решать собственные им проблемы. ГИС в широком смысле выступает в качестве части информационного блока организационной системы территориального управления, а ГИМ решает задачи связи наблюдаемой реальности с блоком ГИС. Прослеживаются инструментальные и технологические различия двух систем.

Наглядной иллюстрацией ГИМ-ГИС являются аэрокосмический мониторинг и организация ландшафтных стационарных исследований по методу комплексной ординации. Во всех случаях ключевым моментом реализации ГИМ становится создание и использование ландшафтно-типологической карты для организации сбора, хранения и преобразования информации. ГИС территории муниципального района должна быть ландшафтной ГИС, открывающей большие возможности для создания тематических моделей и карт средствами ландшафтно-картографической интерпретации географических данных и знаний, т.е. логического вывода, в том числе средствами математического моделирования.

В процедуре формирования ГИС района ответственным этапом является инвентаризация первичной информации из различных источников, что можно рассматривать в качестве своеобразного постоянно действующего ГИМ за старыми и новыми источниками пространственных данных, включая сообщения информационных агентств и СМИ. Важные этапы — первичная обработка, картографическое и инфографическое представление накопленной информации и геоинформационное математическое моделирование, результаты которых зависят от достоверности собранной ГИМ информации, а также совершенства моделей и методов ее преобразования. Существует общая триадная схема формального синтеза информации различной сложности на основе групповых операций объединения противоположных начал: прямых и косвенных измерений, геосистемы и ее среды, состояний и их трансформации, векто-

ров и ковекторов переменных. Применение этих операций проводится в последовательности процедур системного анализа.

Методика ГИМ-ГИС разрабатывалась и реализовалась на примере муниципальных районов Иркутской области и Республики Бурятия при решении различных проблем территориального управления с использованием данных космического мониторинга и корректирующих наземных исследований. Специально организован сбор, подготовка и визуализация данных по схеме ГИМ-ГИС о заражении местного населения клещевым энцефалитом в Прибайкалье. Реализация каждого ГИС-проекта требует решения новых задач геоинформационного мониторинга на основе расширяющихся возможностей количественного измерения пространственных объектов с созданием их все более точных “геоинформационных образов” на разных уровнях обобщения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянт А.М. Теория геоизображений. М.: ГЕОС, 2006. 261 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.
3. Геоинформационная система управления территорией / А.К. Черкашин, А.Д. Китов, И.В. Бычков и др. Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2002. 151 с.
4. Затягалова В.В. Философия геоинформационного мониторинга // Перспективы науки и образования. 2015. № 1(13). С. 17–23.
5. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
6. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение вчера и сегодня // Изв. РГО. 2006. Т. 138. Вып. 5. С. 1–20.
7. Истомина Е.А. Ландшафтная ГИС как инструмент оценивания и планирования использования земель // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: материалы XII Международной ландшафтной конференции. Т. 2. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2017. С. 341–347.
8. Истомина Е.А., Черкашин А.К. Выделение границ функционально однородных ареалов на космических снимках на основе вычисления определителя Якоби // География и природные ресурсы. 2013. № 1. С. 157–165.
9. Кореньков В.В., Мицын П.В., Дмитриенко П.В. Архитектура системы мониторинга центрального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ // Информационные технологии и вычислительные системы. 2012. № 3. С. 31–42.
10. Лесных С.И., Черкашин А.К. Модельный анализ взаимодействия разных групп пород в процессе сукцессионных изменений горной тайги // Изв. Иркутского государственного университета. Серия “Биология. Экология”. 2016. Т. 15. № 1. С. 11–24.
11. Максимова М.В. Мониторинг пространственных объектов // European Researcher. 2012. V. 36. № 12-1. С. 2114–2117.
12. Мильков Ф.Н. Правило триады в физической географии // Землеведение. Т. 15. М.: Изд-во МГУ, 1984. С. 18–25.
13. Мясникова С.И., Черкашин А.К. Оптимизационное геоинформационное картографирование // Геодезия и картография. 2007. № 4. С. 38–42.
14. Мясникова С.И., Черкашин А.К. Прогнозное геоинформационное картографирование // Геодезия и картография. 2010. № 11. С. 30–33.
15. Мясникова С.И., Черкашин А.К. Геоонтология создания серии карт муниципальных районов // Геодезия и картография. 2012. № 12. С. 41–48.
16. Пахахинова З.З., Бешенцев А.Н., Гармаев Е.Ж. Создание ГИС-мониторинга природопользования бассейна озера Байкал // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 08. С. 647–651.
17. Савиных В.П. Применение геоинформационного мониторинга для решения экологических задач // Перспективы науки и образования. 2015. № 4(16). С. 28–33.
18. Слюдянский район Иркутской области: природа, хозяйство и население. Атлас (48 карт). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. [Электронный ресурс – CD].
19. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. 319 с.
20. Сочава В.Б., Волкова В.Г., Дружинина Н.П. и др. Метод комплексной ординации в ландшафтоведении и биогеоценологии // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1967. Вып. 14. С. 3–17.
21. Фролов А.А., Черкашин А.К. Высотный градиент как комплексный фактор формирования микрозональности ландшафтов и серийности геосистем // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 14–24.

22. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг // Изв. вузов. учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2005. № 5. С. 151–155.
23. Черкашин А.К. (ред.) Ландшафтно-интерпретационное картографирование. Новосибирск: Наука, 2005. 424 с.
24. Черкашин А.К. География и геоинформатика // География и природ. ресурсы. 2006. № 4. С. 19–29.
25. Черкашин А.К. Геоинформатика – высшая география // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Т. 1. Калининград: Международная картографическая ассоциация, 2006. С. 6–11.
26. Черкашин А.К. Географическая точность и особенности метрологического моделирования геопространственных данных // Украинський метрологічний журн. 2014. № 2. С. 7–15.
27. Черкашин А.К., Лесных С.И., Склянова И.П. Координационное управление природоохранной деятельностью региона: концептуальная модель // Теоретическая и прикладная экономика. 2019. № 3. С. 81–97.
<https://doi.org/10.25136/2409-8647.2019.3.24404>. URL: http://e-notabene.ru/etc/article_24404.html
28. Экологический атлас Байкальского региона. Комплексный модуль субрегиональных и муниципальных карт. Условия и факторы формирования экологической обстановки в Слюдянском районе Иркутской области. URL: <http://atlas.isc.irk.ru/>
29. Cantwell M.D., Forman R.T.T. Landscape graphs: Ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes // Landscape Ecology. 1993. V. 8. № 4. P. 239–255.
30. Craig W., Harris T., Wiener D. (eds.). Community participation and geographical information systems. N.Y.: CRC Press, 2002. 383 p.
31. Johnston R.J. Geography and GIS // Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications, John Wiley & Sons, Ltd., 2006. P. 27–35.
32. Lesnykh S.I., Mel'nikova O.V. Generation of Databases and Visualization of Current Epidemiological Information for Purposes of a Medical-Ecological Monitoring of a Region // Geogr. Nat. Resour. 2019. V. 40. P. 115 (дата обращения 12.04.2021).
<https://doi.org/10.1134/S1875372819020033>
33. Medvedev A., Telnova N., Alekseenko N., Koshkarev A., Kuznetchenko P., Asmaryan S., Narykov A. UAV-Derived Data Application for Environmental Monitoring of the Coastal Area of Lake Sevan, Armenia with a Changing Water Level // Remote sensing. 2020. № 12, P. 3821.
<https://doi.org/10.3390/rs12223821>
34. Ryu, Joo-Hyung, et al. "EDITORIAL: Special Issue on "Advances in Remote Sensing and Geoscience Information Systems of the Coastal Environments." // J. Coastal Res. 2019. P. V–XI.
www.jstor.org/stable/26778930 (дата обращения 12.04.2021).
35. Thompson M.M., Arceneaux B.N. Public participation geographic information systems: A model of citizen science to promote equitable public engagement // Advancing equity planning now, N. Krumholz, K.W. Hexter (eds). Cornell University Press. 2018. P. 243–262.
<https://www.jstor.org/stable/10.7591/j.ctv43vr3d.16> (дата обращения 12.04.2021).
36. Vannieuwenhuyze B. Pixels or Parcels?: Parcel-Based Historical GIS and Digital Thematic Deconstruction as Tools for Studying Urban Development // Mapping Landscapes in Transformation: Multidisciplinary Methods for Historical Analysis. Leuven University Press Publisher. 2019. P. 217–236. <https://www.jstor.org/stable/j.ctvj5f4w6.12> (дата обращения 12.04.2021).
37. Yano K. GIS and quantitative geography // GeoJ. The contribution of GIS to geographical research. 2000. V. 52. № 3. P. 173–180.

Geoinformation Monitoring of the Territory Municipal Areas on Landscape Basis

A. K. Cherkashin^{1,*} and S. I. Lesnykh^{1,**}

¹Sochava Institute of geography SB RAS, Irkutsk, Russia

*E-mail: akcherk@irknok.net

**E-mail: tyara@irigs.irk.ru

Complementary tools for managing the territory – geoinformation monitoring (GIM) and geoinformation systems (GIS) – in unity provide the collection, storage, processing, presentation and visualization of geographical data. GIS is a part of the information block of the organizational system of territorial management, and the GIM solves the problems of linking the observed situation with the GIS, fills the invariant GIS database for solve numerous problems. Monitoring of old and new sources, spatially distributed data of different origins occupies a special place in GIM. The GIM-GIS technology was developed and implemented on the example of municipal districts of the Irkutsk region and the Republic of Buryatia when solving various problems using space monitoring data and corrective ground-based

surveys. In a system analysis using GIM-GIS technology, regions are considered as an updated geo-informational object of territorial planning and management in a specific landscape environment to ensure safety and efficiency of life. For processing local information, triad schemes of formal data synthesis based on group operations are proposed. The collection, preparation and cartographic visualization of data in the GIM-GIS on infection of the local population with tick-borne encephalitis in the Baikal region have been organized.

Keywords: geoinformation monitoring, geoinformation system, municipal area, spatial data processing, landscape GIS

REFERENCES

1. *Berlyant A.M.* Teoriya geoizobrazhenij. M.: GEOS, 2006. 261 s.
2. *Ventcel' E.S.* Issledovanie operacij. M.: Sovetskoe radio, 1972. 552 s.
3. Geoinformacionnaya sistema upravleniya territoriej / A.K. Cherkashin, A.D. Kitov, I.V. Bychkov i dr. Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN, 2002. 151 s.
4. *Zatyagalova V.V.* Filosofiya geoinformacionnogo monitoringa // Perspektivy nauki i obrazovaniya. 2015. № 1(13). S. 17–23.
5. *Izrael' Yu.A.* Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoj sredy. M.: Gidrometeoiz-lpodat, 1984. 560 s.
6. *Isachenko A.G.* Landshaftovedenie vchera i segodnya // Izv. RGO. 2006. V. 138. Vyp. 5. S. 1–20.
7. *Istomina E.A.* Landshaftnaya GIS kak instrument ocenivaniya i planirovaniya ispol'zovaniya zemel' // Landshaftovedenie: teoriya, metody, landshaftno-ekologicheskoe obespechenie prirodopol'zovaniya i ustojchivogo razvitiya: materialy XII Mezhdunarodnoj landshaftnoj konferencii. T. 2. Tyumen': Izdatel'stvo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2017. S. 341–347.
8. *Istomina E.A., Cherkashin A.K.* Vydelenie granicz funkcional'no odnorodnyh arealov na kosmicheskikh snimkah na osnove vychisleniya opredelitelya Yakobi // Geografiya i prirodnye resursy. 2013. № 1. S. 157–165.
9. *Koren'kov V.V., Micyn P.V., Dmitrienko P.V.* Arxitektura sistemy monitoringa central'nogo informacionno-vychislitel'nogo kompleksa OIYaI // Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy. 2012. № 3. S. 31–42.
10. *Lesnyx S.I., Cherkashin A.K.* Model'nyj analiz vzaimodejstviya raznyh grupp porod v processe sukcesionnyh izmenenij gornoj tajgi // Izv. Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Biologiya. Ekologiya", 2016. V. 15. № 1. S. 11–24.
11. *Maksimova M.V.* Monitoring prostranstvennyh ob'ektov // European Researcher. 2012. V. 36. № 12-1. S. 2114–2117.
12. *Mil'kov F.N.* Pravilo triady v fizicheskoy geografii // Zemlevedenie. V. 15. M.: Izd-vo MGU, 1984. S. 18–25.
13. *Myasnikova S.I., Cherkashin A.K.* Optimizacionnoe geoinformacionnoe kartografirovanie // Geodeziya i kartografiya. 2007. № 4. S. 38–42.
14. *Myasnikova S.I., Cherkashin A.K.* Prognoznoe geoinformacionnoe kartografirovanie // Geodeziya i kartografiya. 2010. № 11. S. 30–33.
15. *Myasnikova S.I., Cherkashin A.K.* Geoontologiya sozdaniya serii kart municipal'nyh rajonov // Geodeziya i kartografiya. 2012. № 12. S. 41–48.
16. *Paxaxinova Z.Z., Beshencev A.N., Garmaev E.Zh.* Sozdanie GIS-monitoringa prirodnopol'zovaniya bassejna ozera Bajkal // Optika atmosfery i okeana. 2018. V. 31. № 08. S. 647–651.
17. *Savinyh V.P.* Primenenie geoinformacionnogo monitoringa dlya resheniya ekologicheskikh zadach // Perspektivy nauki i obrazovaniya, 2015. № 4(16). S. 28–33.
18. Slyudyanskij rajon Irkutskoj oblasti: priroda, hozjajstvo i naselenie. Atlas (48 kart). Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2012. [Elektronnyj resurs – CD].
19. *Sochava V.B.* Vvedenie v uchenie o geosistemax. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otделение, 1978. 319 s.
20. *Sochava V.B., Volkova V.G., Druzhinina N.P. i dr.* Metod kompleksnoj ordinacii v landshaftovedenii i biogeocenologii // Dokl. In-ta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka. 1967. Vy'p. 14. S. 3–17.
21. *Frolov A.A., Cherkashin A.K.* Vysotnyj gradient kak kompleksnyj faktor formirovaniya mikrozonality landshaftov i serijnosti geosistem // Geografiya i prirodnye resursy. 2012. № 1. S. 14–24.
22. *Czyetkov V.Ya.* Geoinformacionnyj monitoring // Izv. vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos'emka. 2005. № 5. S. 151–155.
23. *Cherkashin A.K.* (red.) Landshaftno-interpretacionnoe kartografirovanie. Novosibirsk: Nauka, 2005. 424 s.
24. *Cherkashin A.K.* Geografiya i geoinformatika // Geografiya i prirod. resursy. 2006. № 4. S. 19–29.
25. *Cherkashin A.K.* Geoinformatika – vysshaya geografiya // Ustojchivoe razvitie territorij: teoriya GIS i prakticheskij opyt. V. 1. Kaliningrad: Mezhdunarodnaya kartograficheskaya asociaciya, 2006. S. 6–11.

26. Cherkashin A.K. Geograficheskaya tochnost' i osobennosti metrologicheskogo modelirovaniya geoprostranstvennykh dannyh // Ukrains'kij metrologichnij zhurnal. 2014. № 2. S. 7–15.
27. Cherkashin A.K., Lesnyh S.I., Sklyanova I.P. Koordinacionnoe upravlenie prirodoohrannoj deyatelnosti'yu regiona: konceptual'naya model' // Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika. 2019. № 3. S. 81–97. DOI 10.25136/2409-8647.2019.3.24404. URL: http://e-notabene.ru/etc/article_24404.html
28. E'kologicheskij atlas Bajkal'skogo regiona. Kompleksnyj modul' subregional'nyh i municipal'nyh kart. Usloviya i faktory formirovaniya ekologicheskoy obstanovki v Slyudyanskom rajone Irkutskoj oblasti. URL: <http://atlas.isc.irk.ru/>
29. Cantwell M.D., Forman R.T.T. Landscape graphs: Ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes // Landscape Ecology. 1993. Vol. 8. № 4. P. 239–255.
30. Craig W., Harris T., Wiener D. (eds.). Community participation and geographical information systems. N.Y.: CRC Press. 2002. 383 p.
31. Johnston R.J. Geography and GIS // Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications, John Wiley & Sons, Ltd., 2006. P. 27–35.
32. Lesnykh S.I., Mel'nikova O.V. Generation of Databases and Visualization of Current Epidemiological Information for Purposes of a Medical-Ecological Monitoring of a Region // Geogr. Nat. Resour. 2019. V. 40. P. 115. <https://doi.org/10.1134/S1875372819020033> (data obrashheniya 12.04.2021).
33. Medvedev A., Telnova N., Alekseenko N., Koshkarev A., Kuznetchenko P., Asmaryan S., Narykov A. UAV-Derived Data Application for Environmental Monitoring of the Coastal Area of Lake Sevan, Armenia with a Changing Water Level // Remote sensing. 2020. № 12, P. 3821. DOI 10.3390/rs12223821
34. Ryu, Joo-Hyung et al. "EDITORIAL: Special Issue on "Advances in Remote Sensing and Geoscience Information Systems of the Coastal Environments." // J. Coastal Res. 2019. P. V–XI. www.jstor.org/stable/26778930 (data obrashheniya 12.04.2021).
35. Thompson M.M., Arceneaux B.N. Public participation geographic information systems: A model of citizen science to promote equitable public engagement // Advancing equity planning now, N. Krumholz, K.W. Hexter (eds). Cornell University Press. 2018. P. 243–262. <https://www.jstor.org/stable/10.7591/j.ctv43vr3d.16> (data obrashheniya 12.04.2021).
36. Vannieuwenhuyze B. Pixels or Parcels?: Parcel-Based Historical GIS and Digital Thematic Deconstruction as Tools for Studying Urban Development // Mapping Landscapes in Transformation: Multidisciplinary Methods for Historical Analysis. Leuven University Press Publisher, 2019. P. 217–236. <https://www.jstor.org/stable/j.ctvjsf4w6.12> (data obrashheniya 12.04.2021).
37. Yano K. GIS and quantitative geography // GeoJ. The contribution of GIS to geographical research. 2000. V. 52. № 3. P. 173–180.