Методика комплексной оценки и картографирования экологической безопасности среды при создании электронных экологических атласов городских территорий

Technique of integrated assessment and mapping of environmental safety in the creation of electronic environmental atlases of urban areas

Осипов / Osipov A.
Алексей Георгиевич
(zoyaks@yandex.ru)
кандидат географических наук.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского»
(ВКА им. А. Ф. Можайского) МО РФ,
доцент кафедры картографии.
г. Санкт-Петербург

Гомзяков / Gomzyakov A.
Александр Владимирович
(gomzyakov57@mail.ru)
ВКА им. А. Ф. Можайского,
преподаватель кафедры картографии.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: электронный экологический атлас – electronic environmental atlas; комплексная оценка экологической безопасности городской среды – comprehensive assessment of environmental safety of the urban environment; математико-картографическое моделирование – mathematical and cartographic modeling; синтетическое картографирование – synthetic mapping; геоинформационная система – geoinformation system.

В статье приведены факторы, которые необходимо учитывать при комплексной оценке экологической безопасности городской среды. Рассмотрена методика комплексной оценки и картографирования экологической безопасности городской среды с использованием ГИС, позволяющая осуществлять свертку информации и представлять полученные результаты в виде электронной синтетической карты. Приведены результаты апробации разработанной методики на примере Красногвардейского района города Санкт-Петербурга.

The article presents the factors that must be taken into account in a comprehensive assessment of the environmental safety of the urban environment. The technique of integrated assessment and mapping of environmental safety of the urban environment using GIS is considered, which allows for the convolution of information and presenting the results in the form of an electronic synthetic map. The results of the approbation of the developed technique on the example of the Krasnogvardeysky district of St. Petersburg are presented.

Введение

В настоящее время необходимым условием для принятия органами государственной власти сбалансированных решений по вопросам экологически безопасного освоения городских территорий является объективная и наглядная информация об экологической безопасности среды обитания [9].

Получение такой информации осуществляется на основе комплексной эколого-географической оценки территории, под которой авторы понимают математико-картографический, пространственный, многопараметрический анализ пригодности городской среды для обеспечения жизнедеятельности живых организмов, включая человека. Наиболее наглядным способом представления полученной информации является карта, позволяющая визуально оценивать экологический потенциал исследуемой территории и принимать решения по ее антропогенному освоению [1, 11, 19].

Вопросы комплексной эколого-географической оценки территории городов и представления ее результатов в виде карт широко освещены в научных работах [3, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 19], однако, несмотря на это, остро ощущается потребность в разработке современных методик создания синтетических карт экологического состояния городских территорий, в интересах экологически безопасного природопользования.

Для решения этой задачи целесообразно применять геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют в короткие сроки обрабатывать большие объемы пространственных данных и представлять полученные результаты в виде электронных карт [3, 4, 5, 15, 16].

В основу исследования была заложена следующая гипотеза: методика комплексной эколого-географической оценки состояния городской среды с использованием ГИС при создании электронных экологических атласов городских территорий является одним из механизмов повышения качества информационной поддержки принятия решений, по организации экологически безопасного городского пространства.

Материалы и методы

Важное место в формировании научно-обоснованной градостроительной политики должны занять электронные эколого-географическое атласы городских территорий, являющиеся уникальным средством представления пространственно распределенной экологической информации. Особое место в них занимают синтетические карты, которые дают целостное изображение исследуемых объектов или явлений в единых интегральных показателях. Эти карты не содержат характеристик отдельных компонентов объекта, но зато дают о нем цельное представление. Чаще всего они отражают типологическое районирование территории по комплексу показателей.

При создании синтетических карт электронных экологических атласов городских территорий должен использоваться системный подход, который проявляется в картографическом отображении комплексных (интегральных) показателей, характеризующих экологическое состояние городской среды.

Теоретической основой для комплексной эколого-географической оценки городских территорий является методология определения качества сложноорганизованных объектов, реализованная в виде усовершенствованного метода сводных показателей или в западной терминологии – построения «композитных индексов» [2, 4, 5, 6, 15]. Суть данного метода заключается в свертке нормированных показателей, характеризующих городское пространство с точки зрения его экологической безопасности для существования живых организмов, включая человека:

$$Q(q;w)=\sum_{i=1}^{m} q_i \cdot w_i, \qquad (1)$$

где: Q – сводный показатель экологической безопасности городской территории для существования живых организмов; q – вектор нормированных показателей свойств, определяющих экологическую безопасность городской территории для существования живых организмов; w – вектор весовых коэффициентов анализируемых показателей; m – количество анализируемых показателей.

Значения вектора w должны удовлетворять условиям:

$$\sum_{i=1}^{m} w_i = 1, \qquad w_i \geq 0, \qquad i = 1,\ldots,m. \qquad (2)$$

Синтетические карты электронных экологических атласов городских территорий создаются путем обобщения и графического отображения в среде ГИС пространственно-распределенной информации о степени пригодности городской территории для существования живых организмов, включая человека. Данный подход ориентирован на информационное обеспечение работ в области экологически безопасного градостроительного проектирования и управления городским хозяйством.

Результаты

Разработанная авторами методика включает в себя шесть блоков: 1) создание информационной модели для комплексной эколого-географической оценки городских территорий; 2) определение для показателей, входящих в информационную модель, коэффициентов весомости; 3) разработка оценочной шкалы экологической безопасности городской территории для существования живых организмов, включая человека; 4) создание электронных аналитических карт для свойств городской территории, определяющих ее экологическую безопасность для существования живых организмов, включая человека; 5) автоматическое деление городской территории на расчетные участки (геотаксоны, патчи); 6) оценка и синтетическое картографирование экологической безопасности городской территории для существования живых организмов, включая человека.

Кратко рассмотрим содержание основных блоков разработанной методики.

Первый блок. Основное назначение информационной модели заключается в том, чтобы определить и структурировать информацию, необходимую для комплексной эколого-географической оценки городских территорий на уровне концептуального представления. В процессе создания информационной модели разрабатываются четыре справочника: правил оценки, операций, реализующих процедуру оценки, данных необходимых для выполнения операций, связей между операциями и данными и на их основе формируется обобщенная информационная модель.

Второй блок. Для определения ненормированных весовых коэффициентов используется методика, приведенная в работе [17]. Ее суть заключается в том, что все показатели, характеризующие экологическую безопасность городской территории для существования живых организмов, включая человека, сравниваются друг с другом.

После чего определяются ненормированные вектора весовых коэффициентов и относительная согласованность матрицы.

Для определения значения случайной согласованности используются данные, приведенные в работе [15].

Величина относительной согласованности мнений эксперта считается приемлемой, если она находится в интервале от 0 до 10%. В противном случае, экспертам предлагается пересмотреть свои суждения.

Нормированные вектора весовых коэффициентов рассчитываются по следующей зависимости:

$$P_j = \overline{P}_{j1} \times \ldots \times \overline{P}_{jn},$$

где P_j – нормированный вектор весового коэффициента j-го показателя; $\overline{P}_{j1} \ldots \overline{P}_{jn}$ – ненормированные вектора весовых коэффициентов 1-го и n-го уровней информационной модели связанные в пределах одной ветви с j-м показателем; n – количество уровней в информационной модели.

Для определения меры согласованности мнений всех экспертов, участвующих в ранжировании, используется коэффициент конкордации Кендалла, приведенный в работе [18].

Третий блок. В основу разработки оценочной шкалы экологической безопасности городских территорий для существования живых организмов, включая человека, заложены подходы, применяемые при создании моделей-классификаций. Правила их построения подробно изложены в работах [4, 5].

При построении оценочной шкалы для каждого показателя, характеризующего экологическую безопасность городских территорий для существования живых организмов, включая человека, в числителе приводятся оценочные значения левой и правой границы классов, а в знаменателе их нормированные характеристики. В последней строке для каждого класса приводятся интегральные показатели нормированных характеристик и ширина их диапазона в пределах класса.

Для нормирования оценочных значений показателей предлагается использовать кусочно-степенные функции вида (4) для прямой связи и (5) для обратной связи. Параметр λ в (4) и (5) в нашем случае целесообразно принимать равным 1,0.

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & x_i \le \min_i, \\ \left(\dfrac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i}\right)^{\lambda}, & \min_i < x_i \le \max_i, \\ 1, & x_i > \max_i \end{cases} \quad (4)$$

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \le \min_i, \\ \left(\dfrac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i}\right)^{\lambda}, & \min_i < x_i \le \max_i, \\ 0, & x_i > \max_i. \end{cases} \quad (5)$$

Для определения интегральных показателей нормированных характеристик границ классов при равновесомых значениях используется зависимость (6), а при неравновесомых значениях зависимость (7):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{m} q_i}{m}, \quad (6)$$

$$I' = \sum_{i=1}^{n} q_i P_i. \quad (7)$$

где: I, I' – интегральный показатель нормированной характеристики границы класса соответственно при равновесомых и неравновесомых значениях показателей; q_i – нормированное оценочное значение i-го показателя; m – число показателей, участвующих в оценке.

Четвертый блок. Аналитические карты отображают пространственное распределение по территории города факторов, характеризующих экологическую безопасность городской среды для существования живых организмов, включая человека. Аналитические карты создаются в среде ГИС с применением стандартного или специально разработанного программного обеспечения [15].

Пятый блок. Деление городской территории на расчетные участки осуществляется путем автоматического суммирования в среде ГИС аналитических карт. В пределах сформированных расчетных участков каждый анализируемый показатель имеет только одно значение.

Шестой блок. Реализация данного блока начинается с определения значений показателей, участвующих в оценке. Затем по зависимостям (4), (5), (6) или (7) рассчитываются интегральные значения экологической безопасности городских территорий для существования живых организмов, включая человека, которые вносятся в семантическую базу данных.

Электронные синтетические карты экологической безопасности (ЭБ) городских территорий для существования живых организмов, включая человека, создаются путем распределения вычисленных значений согласно квалиметрическим шкалам по классам, те участки, которые попадают в один класс, объединяются в один ареал и отображаются соответствующим условным знаком.

Обсуждение результатов

Созданная методика была апробирована на примере Красногвардейского района Санкт-Петербурга, рис. 1.

В начале работы была сформирована информационная модель, графически представленная на рис. 2.

В соответствии с моделью экологическая безопасность территории зависит от: 1) загрязнения воздуха, характеризующегося нормированными (относительно

Рис. 1. Расположение Красногвардейского района в пределах Санкт-Петербурга

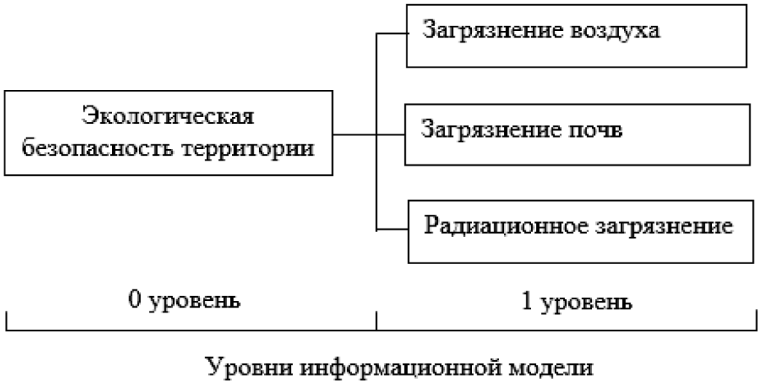

Рис. 2. Графическое представление обобщенной информационной модели оценки экологической безопасности Красногвардейского района Санкт-Петербурга для существования живых организмов, включая человека

Таблица 3

Оценочная шкала границ классов экологической безопасности Красногвардейского района Санкт-Петербурга для существования живых организмов, включая человека

Показатель	Класс экологической безопасности					min	max	Тип связи
	1	2	3	4	5			
Загрязнение воздуха, норм. среднегодовые концентр.	3,0–2,4	2,4–1,8	1,8–1,2	1,2–0,6	0,6–0	0	10	обратная
	0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–1,0			
Загрязнение почв, балл опасности.	10–8	8–6	6–4	4–2	2–0	0	10	обратная
	0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–1,0			
Радиационное загрязнение, мк Р/ч	25–20	20–16	16–12	12–10	10–6	6	25	обратная
	0–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,8	0,8–1,0			
Интегральный показатель экологической безопасности	0–0,23	0,23–0,43	0,43–0,63	0,63–0,80	0,80–1,0			
	Δ= 0,23	Δ= 0,20	Δ= 0,20	Δ= 0,17	Δ= 0,20			

Примечание: 1 класс – низкий; 2 класс – ниже среднего; 3 класс – средний; 4 класс – выше среднего; 5 – класс – высокий

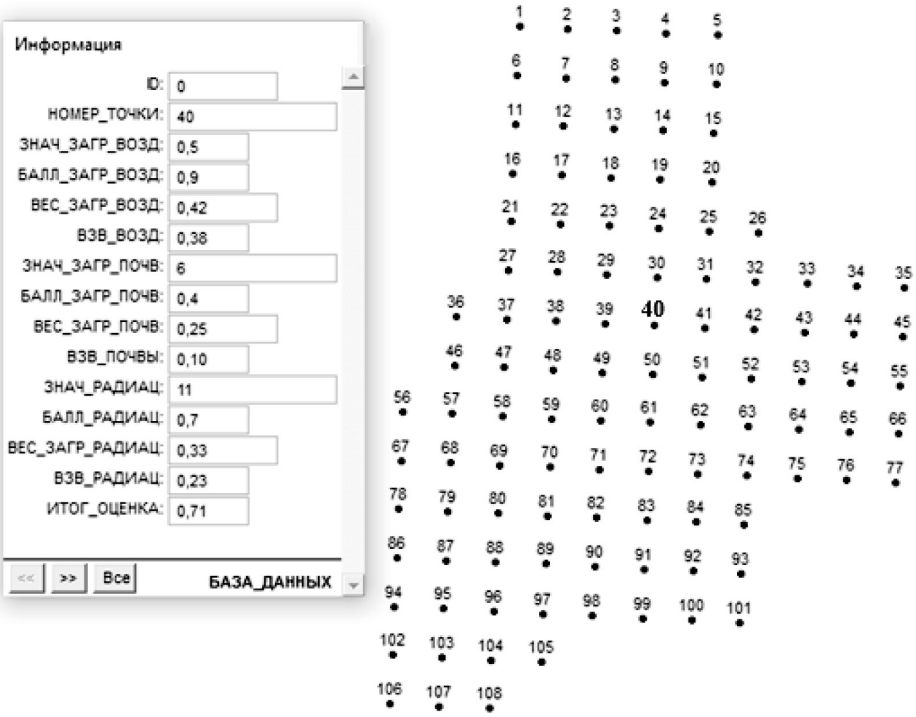

Рис. 3. Фрагмент базы данных для точки 40

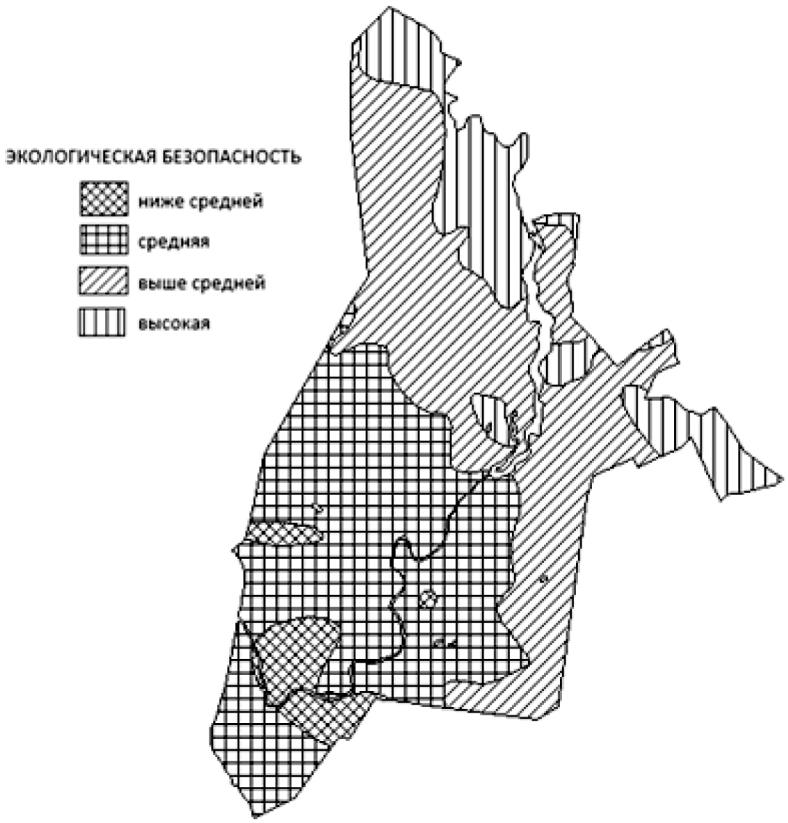

Рис. 4. Карта экологической безопасности Красногвардейского района Санкт-Петербурга для существования живых организмов, включая человека

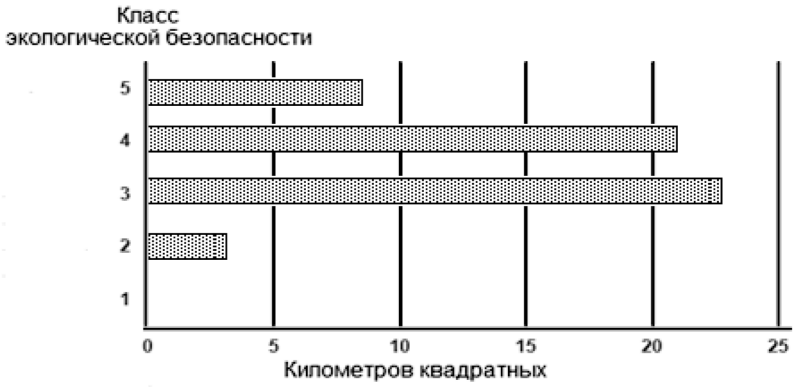

Рис. 5. Распределение земель Красногвардейского района Санкт-Петербурга по классам экологической безопасности

ПДК) среднегодовыми концентрациями основных загрязняющих веществ; 2) загрязнения почв, характеризующегося баллом опасности; 3) радиационным загрязнением, характеризующимся мощностью дозы гамма-излучения (мкР/ч).

Затем были определены коэффициенты весомости показателей, характеризующих экологическую безопасность территории. В экспертизе участвовало восемь специалистов из Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга, Комитета по градостроительству и архитектуре и других организаций.

По результатам обработки материалов экспертного опроса были получены следующие нормированные коэффициенты весомости анализируемых показателей: загрязнение воздуха – 0,42; радиационное загрязнение – 0,33; загрязнение почв – 0,25.

После чего была разработана оценочная шкала границ классов экологической безопасности Красногвардейского района Санкт-Петербурга для существования живых организмов, включая человека, табл. 3.

Затем в среде ГИС «MapInfo» для определения экологической безопасности Красногвардейского района Санкт-Петербурга для существования живых организмов, включая человека, была создана база данных, включающая в себя 108 точек, расположенных друг от друга на расстоянии 1 км. Для каждой точки были определены показатели, характеризующие загрязнение воздуха, почв и радиационное загрязнение, и на их основе с учетом весовых коэффициентов произведена оценка экологической безопасности. На рис. 3 в качестве примера приведен фрагмент базы данных для точки 40.

После чего согласно оценочной шкалы границ классов экологической безопасности Красногвардейского района Санкт-Петербурга для существования живых организмов, включая человека (табл.3), в среде ГИС «MapInfo» методом построения изолиний были выделены ареалы классов, рис. 4.

Распределение земель Красногвардейского района Санкт-Петербурга для существования живых организмов, включая человека по классам экологической безопасности приведено на рис. 5.

Исходя из полученных данных, о распределении земель Красногвардейского района Санкт-Петербурга по классам экологической безопасности следует, что:

– 8,39 кв. км имеют высокий класс экологической безопасности;

– 20,99 кв. км имеют класс экологической безопасности выше среднего;

– 22,62 кв. км имеют средний класс экологической безопасности;

– 2,95 кв. км имеют класс экологической безопасности ниже среднего.

Результаты выполненных исследований не противоречат результатам исследований, проведенных ранее.

Заключение

Важность данного исследования заключается в создании реально действующего механизма обеспечения органов государственной власти наглядной информацией об экологическом состоянии городских территорий, что позволит принимать сбалансированные решения по вопросам их развития. Заложенные в основу разработанной методики подходы базируются на исследованиях, проведенных авторами с 2006 года по настоящее время [4, 5, 14], которые были доложены на множестве всероссийских и международных конференций, где получили поддержку и одобрение.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на совершенствование подходов к определению репрезентативных характеристик экологической безопасности городских территорий и их интегративных свойств.

Литература

1. Алексеенко, Н. А. О видах и типах экологических карт / Н.А. Алексеенко // Геодезия и картография. – 2004. – № 7. – С. 44–51.

2. Волкова, И. С. Проблемы регионального экологического картографирования / И.С. Волкова, Н.В. Проскурина, С.В. Щербинина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 12 (8). – С. 80–53.

3. Габдуллина, Л. А. Научно-методические аспекты разработки и использования ГИС для геоэкологической оценки территории (на примере Ижевска): специальность 25.00.36 «Геоэкология»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Габдуллина Любовь Александровна; Удмуртский государственный университет. – Пермь, 2007. – 19 с.

4. Дмитриев, В. В. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. II. Методы интегральной оценки устойчивости наземных и водных геосистем / В.В. Дмитриев, А.Н. Огурцов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2013. – № 3. – С. 88–103.

5. Дмитриев, В. В. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. III. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем / В.В. Дмитриев, А.Н. Огурцов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2014. – № 4. – С. 114–130.

6. Калманова, В. Б. Выбор и обоснование методов оценки экологического состояния урбанизированных территорий /

В.Б. Калманова // Региональные проблемы. – 2010. – Т. 13, № 2. – С. 67–71.

7. Калманова, В. Б. Геоэкологическое картографирование урбанизированных территорий (нв примере г. Биробиджана) / В.Б. Калманова // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение: материалы Международной научной конференции. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2015. – С. 566–574.

8. Карпова, Л. А. Опыт применения картографического метода исследования при эколого-хозяйственной оценки территории / Л.А. Карпова // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству». – Алтайский государственный университет. – 2017. – С. 470–472.

9. Краснов, Е. В. Геоэкологическое картографирование в системе оптимизации регионального природопользования / Е.В. Краснов, О.Е. Любимов, А.В. Ясевич // Актуальные проблемы геоэкологии. Методологические, теоретические и региональные вопросы геоэкологии: материалы международной научной конференции. – Тверь, 2002. – С. 82–83.

10. Картографирование загрязнения воздушной среды промышленных городов: материалы международной конференции «Интеркарто-6» (г. Апатиты, 22–24 августа 2010 г.) // ГИС Ассоциация: сайт. – URL: http://www.gisa.ru/1001.html (дата обращения: 17.10.2022).

11. Макаров, В. З. Эколого-географическое картографирование городов. / В.З. Макаров, Б.А. Новаковский, А.Н. Чумаченко. – Москва: Научный мир, 2002. – 196 с.

12. Межуева. Т. В. Разработка и исследование методики комплексной оценки земель населённых пунктов: специальность 25.00.26 «Землеустройство, кадастр и мониторинг земель»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Межуева Татьяна Васильевна; Сибирская государственная геодезическая академия. – Новосибирск, 2011. – 21 с.

13. Мирзеханова, З. Г. Экологические основы организации городских территорий (на примере Хабаровска) / З.Г. Мирзеханова, Н.А. Нарбут // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32, № 4. – С. 111–120.

14. Осипов, А. Г. Геоэкологическая оценка пригодности территории Будогощского городского поселения Киришского муниципального района Ленинградской области для рекреационного освоения / А.Г. Осипов, М.П. Долгова // Информация и Космос. – № 3. – 2014. – С. 54–61.

15. Осипов, А. Г. Методика комплексной оценки оперативно-тактических свойств местности в системах поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий / А.Г. Осипов, А.Н. Ефимов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2014. – № 642. – С. 102–109.

16. Лопандя, А. В. Основы ГИС и цифрового тематического картографирования: Учебно-методическое пособие / А.В. Лопандя, В.А. Немтинов. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2009. – 72 с.

17. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.

18. Сазонов, А. А. Применение коэффициента ранговой конкордации в экспертных оценках управления персоналом / А.А. Сазонов // Наука и современность. – 2015. – № 41. – С. 141–146.

19. Макаров, В. З. Эколого-географическое картографирование городов / В.З. Макаров, Б.А. Новаковский, А.Н. Чумаченко. – Москва: Научный мир, 2012. – 196 с.