Научно-практическая статья/Research article
УДК 528.9:004.414.23 (597)
https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-92-100

О выборе территориальных единиц картографирования для моделирования экологической обстановки города (на примере Ханоя)

Д. К. Нгуен[1]✉

[1]Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Российская Федерация

e-mail: nguyendinhquan7788266@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается проблема выбора территориальных единиц картографирования при моделировании экологической обстановки крупного города. На примере Ханоя показано, что использование единственного типа пространственных единиц не позволяет одновременно учитывать природные закономерности миграции загрязняющих веществ, особенности пространственно непрерывных экологических факторов и требования государственного управления. Предлагается многоуровневая система операционных территориальных единиц (ОТЕ), включающая регулярную сетку, речные бассейны и единицы административно-территориального деления. Особое внимание уделяется обоснованию выбора сеточной ОТЕ первого уровня для картографирования пространственно непрерывных факторов городской среды. Выбор формы и размера сетки предлагается выполнять на основе шести критериев: свойств картографируемого явления, качества исходных данных, особенностей моделей и алгоритмов, масштаба картографирования, городской морфологии и чувствительности результатов к проблеме модифицируемой площадной единицы. В качестве базовой сеточной ОТЕ городского уровня предлагается регулярная шестиугольная сетка площадью около 25 га.

Ключевые слова: экологическое картографирование, ОТЕ, Ханой, шестиугольная сетка, речной бассейн, административные границы, MAUP

Для цитирования:
Нгуен Д. К. О выборе территориальных единиц картографирования для моделирования экологической обстановки города (на примере Ханоя). *Вестник СГУГиТ.* 2026. Т. 31, № 5. С. 92–100. https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-92-100

On the selection of mapping units for modelling urban environmental conditions (case study of Hanoi)

D. Q. Nguyen[1]✉

[1] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: nguyendinhquan7788266@gmail.com

Abstract. The article addresses the problem of selecting appropriate mapping units for modelling environmental conditions in large cities. Using Hanoi as a case study, the author demonstrates that reliance on a single type of spatial unit fails to simultaneously capture natural patterns of pollutant migration, the characteristics of spatially continuous environmental factors, and the requirements of administrative governance. To address this limitation, a hybrid system of operational territorial units

© *Д. К. Нгуен, 2026*

(OTU) that integrates a regular grid, river basins, and administrative-territorial divisions is proposed. Particular attention is given to substantiating the selection of first-level grid-based OTU for mapping spatially continuous factors of the urban environment. It is recommended that the selection of grid geometry and cell size be guided by six criteria: properties of the mapped phenomenon, quality of source data, characteristics of models and algorithms, mapping scale, urban morphology, and sensitivity of results to the modifiable areal unit problem (MAUP). As the baseline grid-based OTU at the city level, a regular hexagonal grid with a cell area of approximately 25 ha is proposed.

Keywords: environmental mapping, operational territorial unit (OTU), Hanoi, hexagonal grid, river basin, administrative boundaries, modifiable areal unit problem (MAUP)

For citation:
Nguyen D. Q. (2026). On the selection of mapping units for modelling urban environmental conditions (case study of Hanoi). *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 5. pp. 92–100. https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-92-100

Введение

В современных географических и геоэкологических исследованиях обоснование операционной территориальной единицы картографирования относится к числу ключевых методических задач. Способ пространственной дискретизации территории определяет не только визуальные свойства создаваемой карты, но и достоверность результатов пространственного анализа, корректность интерполяции, сопоставимость разнородных пространственных данных, а также практическую ценность моделей для экологического менеджмента.

В условиях крупного города эта задача заметно усложняется. Источники загрязнения здесь многочисленны и распределены неравномерно, застройка плотная и разнородная, транспортные потоки интенсивны, а естественный растительный покров сохранился лишь отдельными фрагментами. Привязывать оценку исключительно к административным районам в такой ситуации нецелесообразно: атмосферные примеси, шумовое и тепловое загрязнение, поверхностный сток распространяются независимо от границ кварталов и общин. Вместе с тем полностью отказаться от административных единиц невозможно: именно на них опираются государственный статистический учет, природоохранный мониторинг и принятие управленческих решений.

Задача выбора операционных территориальных единиц при экологическом картографировании крупных городов решалась ранее по-разному. В российской практике утвердилось сочетание регулярных квадратных сеток с административным делением и ландшафтными контурами [1–3]; в Европе в управлении качеством городской среды преобладают квадратные сетки фиксированного шага – например, сетка 200×200 м, принятая при выделении зон управления качеством атмосферного воздуха для Антверпена и Гданьска [4]. Параллельно развиваются глобальные дискретные сетки на шестиугольных ячейках, обеспечивающие равноудаленность центроидов смежных элементов [5], а для оценки состояния водной среды устойчиво применяется бассейновое районирование [6, 7]. Общим для этих работ является то, что операционная единица выбирается однократно и фиксируется для всего исследования, тогда как вопрос о согласовании нескольких типов единиц в рамках единой городской геоинформационной системы, как правило, не ставится. Применительно к быстрорастущим городам Юго-Восточной Азии, в частности к Ханою, такое обоснование до настоящего времени не выполнялось.

Таким образом, методическая проблема состоит в рассогласовании пространственных основ: экологические процессы в городе развиваются в границах, задаваемых физико-географическими закономерностями и морфологией застройки, тогда как статистическая информация и управленческие решения привязаны к административно-территориальному делению.

Цель исследования – обосновать систему операционных территориальных единиц для моделирования экологической обстановки крупного города и определить параметры базовой сеточной единицы городского уровня на примере Ханоя. Задачи исследования: 1) проанализировать опыт выбора операционных территориальных единиц при экологическом картографировании крупных городов; 2) сопоставить сеточный, ландшафтный и бассейновый подходы к дискретизации городского пространства и оценить их применимость к условиям Ханоя; 3) сформулировать критерии выбора формы и размера сеточной единицы первого уровня; 4) обосновать ее геометрические параметры; 5) разработать многоуровневую систему операционных территориальных единиц, объединяющую сеточные, бассейновые и административные единицы, и показать ее применение на территории Ханоя.

Методы и материалы

Исследование опиралось на пространственные данные по территории Ханоя за 2023–2025 гг. В их состав вошли векторные слои административного деления, гидрографической и дорожной сети, а также зоны экологического регулирования в масштабе 1 : 25 000. Городская морфология уточнялась по материалам дистанционного зондирования со спутников Sentinel-2. Отдельный блок составили точечные данные многолетнего мониторинга атмосферного воздуха. Использовались методы пространственного анализа, растровой алгебры и гидрологического моделирования в среде геоинформационных систем (ГИС). Обоснование операционных территориальных единиц выполнялось на основе сопоставления геометрических и содержательных географических свойств территории.

Результаты и обсуждение

В теории геоэкологического картографирования ОТЕ понимается как базовая пространственная ячейка, предназначенная для сбора, анализа, интерполяции, агрегирования и визуализации геоэкологических данных. Необоснованный выбор ОТЕ влечет за собой генерализацию и искажение пространственной структуры загрязнения, смещение результирующих экологических оценок, а также принятие ошибочных управленческих решений [1].

Одной из фундаментальных проблем пространственного анализа, обусловленных выбором операционных единиц, является эффект модифицируемой площадной единицы (Modifiable Areal Unit Problem – MAUP). Он состоит в статистической и геометрической зависимости результатов анализа от формы, размера и способа группировки дискретных пространственных элементов. Так, один и тот же массив точечных данных мониторинга атмосферного воздуха при пространственном агрегировании по административным районам, регулярной сетке или гидрографическим бассейнам приводит к существенно различающимся оценкам характера и структуры загрязнения [2–4, 3, 8].

В тематическом картографировании единицы пространственного анализа принято разделять на два таксономических уровня. К первому относятся минимальные оценочные единицы, применяемые для расчета, интерполяции или моделирования геоэкологических показателей. Второй уровень формируют агрегированные аналитические единицы, предназначенные для генерализации результатов, их содержательной интерпретации и последующего внедрения в практику экологического менеджмента [9]. В геоинформационной практике выделяют три базовых подхода к дискретизации пространства и формированию таких операционных элементов.

Сеточный подход, наиболее широко применяемый в современных геоинформационных технологиях, базируется на регулярных матрицах дискретизации (чаще всего квадратных ячейках), равномерно покрывающих исследуемую территорию. Практика применения регулярных геометрических ячеек в качестве ОТЕ для оценки динамики природно-техногенных процессов активно развивается в отечественных исследованиях [10]. Главное преимущество метода – существенное упрощение алгоритмов пространственного моделирования и растровой ал-

гебры, что позволяет оперативно интегрировать гетерогенные пространственные данные. Однако с позиций ландшафтно-экологического анализа регулярные геометрические ячейки лишены содержательного географического смысла. Они искусственно фрагментируют биотопы, не отражают природных границ, а также нивелируют целостность экосистем и направленность вещественно-энергетических потоков [11].

Ландшафтный подход базируется на выделении естественных таксономических единиц физической географии (ландшафтов, урочищ, фаций). Метод высокоэффективен при оценке устойчивости природной среды к антропогенным воздействиям, поскольку каждый природно-территориальный комплекс (ПТК) характеризуется определенной экологической емкостью [1]. Тем не менее в условиях плотной урбанизированной среды (на примере Ханоя) подстилающая поверхность претерпела коренную трансформацию в результате сплошной застройки и асфальтирования земель. Это размывает границы исходных ПТК и затрудняет их классическое картографирование на общегородском уровне. При этом физико-географические факторы (мезорельеф, направление стока, особенности подстилающей поверхности) сохраняют свое определяющее влияние на перенос загрязняющих веществ. Это требует перехода от выделения комплексных ландшафтных контуров к покомпонентному учету природных закономерностей.

Бассейновый подход служит наиболее репрезентативной методологической основой геоэкологических исследований, что особенно актуально для регионов с развитой гидрографической сетью. Речной бассейн рассматривается не как сугубо орографически ограниченная территория, а как целостная природная геосистема, функционирование которой обусловлено однонаправленным стоком вещества и энергии от водораздельных линий к эрозионным понижениям [6]. Любая антропогенная нагрузка на водосборную площадь – от складирования твердых коммунальных отходов и внесения агрохимикатов до сброса неочищенных городских сточных вод – кумулируется гидросетью и наиболее отчетливо проявляется в качественных и количественных показателях водной среды в замыкающем створе.

Геоэкологические процессы, выступающие объектом экологического картографирования, обладают различной пространственной спецификой. Распространение загрязняющих веществ в атмосфере детерминировано конфигурацией источников эмиссии, метеорологическими условиями и морфологией городской застройки. Трансформация водной среды обусловлена границами водосборных бассейнов, особенностями рельефа и направлением поверхностного стока. Акустическое и тепловое загрязнения формируют поля, геометрия которых не совпадает с границами административного деления. Вследствие этого возникает методическое противоречие: статистическая информация и данные органов управления привязаны к административным границам, тогда как природные процессы развиваются согласно физико-географическим закономерностям [8, 9]. Для разрешения данного противоречия предложена многоуровневая система операционных территориальных единиц, интегрирующая три взаимосвязанных пространственных уровня.

Первый уровень пространственного анализа базируется на регулярной пространственной сетке. Она предназначена для картографирования непрерывных биофизических параметров городской среды: качества атмосферного воздуха, шумового воздействия, характеристик теплового поля и других показателей, изменяющихся независимо от административно-территориального деления. Городская территория разбивается на геометрические ячейки – минимальные оценочные единицы. Параметры такой сетки нельзя задавать произвольно. Геометрию ячейки определяет прежде всего физико-географическая природа картографируемого явления, а не удобство вычислений. Исходя из этого, сформулированы шесть критериев, которые задают форму и линейные размеры базовой ячейки городского уровня.

Критерий 1: физико-химические и пространственные свойства картографируемого явления. Выбросы автотранспорта и уровень шума дают резкие локальные перепады – зна-

чения заметно различаются уже на соседних улицах. Взвешенные частицы PM2.5 и PM10, напротив, формируют более сглаженное, хотя и неоднородное поле. Поэтому единый шаг сетки не может подходить сразу для всех типов загрязнения и уровней обобщения.

Критерий 2: пространственное разрешение и качество исходных данных. Размер ячейки должен согласовываться с разрешением спутниковых снимков, а также с плотностью и дискретностью метеорологических, картографических и наземных наблюдений. Если сделать шаг сетки слишком мелким, возникает эффект ложной точности: карта выглядит детальнее, чем это позволяет исходная информация.

Критерий 3: особенности применяемых моделей и алгоритмов. Сетка как ОТЕ должна быть совместима с процедурами обработки: пространственной интерполяцией, масштабированием данных, расчетом прогнозных параметров, растровой алгеброй, сопоставлением результатов моделирования. От нее требуется двойственное качество: достаточная генерализация, чтобы проявилась внутригородская неоднородность, и одновременно устойчивость, при которой показатели остаются статистически достоверными.

Критерий 4: целевой масштаб картографирования. Размер операционной единицы должен быть жестко привязан к масштабному уровню задачи. Для локального моделирования – отдельной улицы, транспортного узла – нужны высокое разрешение и минимальная ячейка. На региональном и общегородском уровнях шаг дискретизации, наоборот, укрупняют ради нужной степени генерализации.

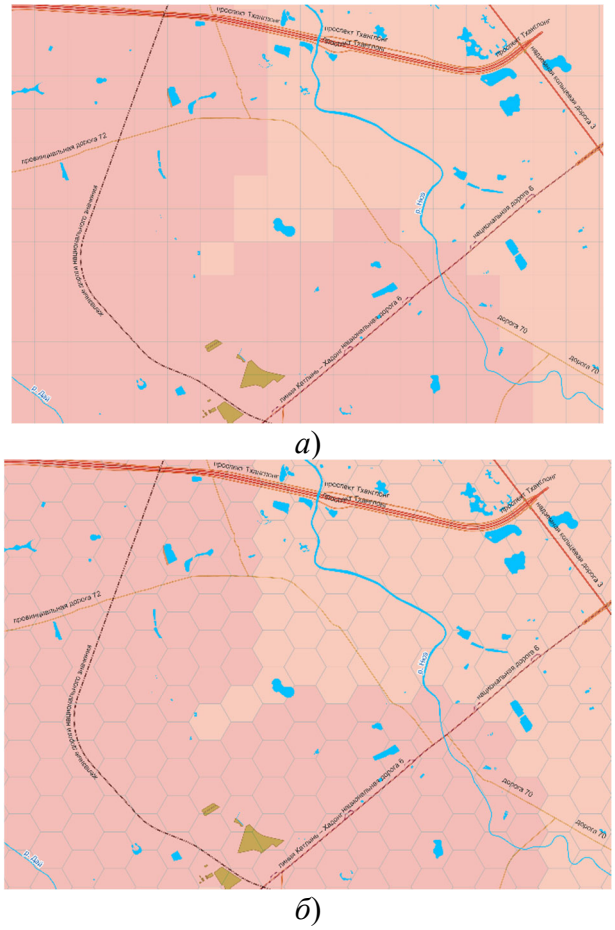
Критерий 5: морфология урбанизированных территорий и пространственная структура источников загрязнения. Ханой в этом отношении крайне неоднороден. Плотная жилая застройка соседствует здесь с крупными транспортными магистралями и промышленными зонами, рядом сохраняются традиционные ремесленные поселки, а между ними вклиниваются водоемы и массивы зеленых насаждений. Регулярная сетка должна улавливать эти контрасты, а не размывать их. Пространственная структура города – функциональное зонирование и плотность застройки – во многом определяет картину экологической обстановки на общегородском уровне [12].

Критерий 6: чувствительность результатов моделирования к эффекту модифицируемой площадной единицы (MAUP). Любая дискретизация непрерывного пространства вносит искажения, и форма и размер ячейки должны сводить их к минимуму, причем важна не только площадь ячейки, но и ее геометрия, характер смежности с соседними ячейками и устойчивость показателей при дальнейшей генерализации.

Система изложенных критериев свидетельствует об отсутствии универсального шага сетки, применимого для моделирования всех видов атмосферного загрязнения. Тем не менее для функционирования городской экологической ГИС требуется стандартизированная ОТЕ в виде регулярной сетки, обеспечивающая сопоставление разнородных экологических показателей в рамках единой геопространственной основы. В качестве сетки первого уровня предложена регулярная гексагональная сетка с площадью ячейки около 25 га [13]. Выбор таких геометрических параметров является методическим компромиссом. С одной стороны, эта площадь достаточна для отображения внутригородской контрастности экологической обстановки, например, для дифференциации зон интенсивной транспортной нагрузки, промышленной и плотной жилой застройки. С другой стороны, такой уровень генерализации нивелирует влияние локальных пропусков в данных мониторинга и исключает избыточную детальность, не подтвержденную точностью исходных материалов.

Выбор гексагональной сетки обусловлен ее ключевыми преимуществами перед традиционной квадратной сеткой (рис. 1). Гексагональная ячейка характеризуется изотропной топологической смежностью: каждый элемент имеет шесть смежных ячеек, центроиды которых находятся на равном расстоянии от центра данного элемента. У квадратных матриц есть известная слабость: смежность по стороне (ортогональная) и по вершине (диагональная) неравнозначны, и эта неоднозначность искажает пространственно-статистиче-

ский анализ связности, кластеризации, направлений распространения процессов. Шестиугольная сетка от этого недостатка свободна. Она снимает эффект пространственной анизотропии и точнее передает конфигурацию пространственных структур, не порождая артефактов, связанных с жесткой ориентацией квадратов по вертикали и горизонтали.



а)

б)

Рис. 1. Влияние типа сетки на конфигурацию границ зон концентрации PM2.5 (детальные фрагменты карт): *а*) прямоугольная сетка 500 × 500 м; *б*) эквивалентная ей шестиугольная сетка площадью 25 га

Второй уровень образуют природно-географические единицы, в первую очередь речные бассейны и их подбассейны. Данный уровень необходим для оценки экологического состояния водной среды, определения ассимиляционного потенциала водных объектов, моделирования процессов аккумуляции загрязняющих веществ и анализа суммарной антропогенной нагрузки на водосборные площади. При изучении гидросферы использование административных границ или регулярных сеток менее репрезентативно, поскольку пространственный перенос загрязняющих веществ обусловлен геоморфологическими особенностями рельефа и направлением поверхностного стока [6, 7]. Применительно к Ханою в качестве ОТЕ второго уровня приняты водосборные бассейны рек города, организованные иерархически: бассейн крупной реки включает бассейны ее притоков. Речная сеть относится к двум системам: р. Хонг, с подсистемами рек Нюэ и Дай, и р. Тхайбинь, представленной р. Кау; территории непосредственного стока в главные русла отнесены к частным водосборам. На рис. 2 иерархия показана на примере основных водотоков. Эти операционные единицы позволяют учитывать локализацию источников сброса и анализировать качественный состав донных отложений.

Бассейновый подход не заменяет сеточный, а дополняет его границы бассейнов применяют там, где развитие экологических процессов напрямую зависит от направления водного стока.

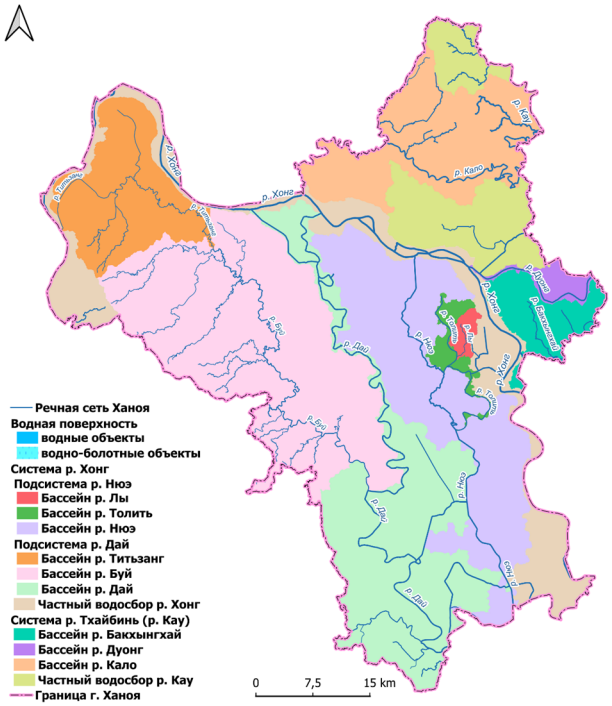


Рис. 2. Пространственная дифференциация водосборных бассейнов городской территории Ханоя

Третий уровень ОТЕ представлен единицами административно-территориального деления. Несмотря на высокую аналитическую эффективность регулярных сеток и гидрографических бассейнов при геоэкологическом моделировании, управленческие решения традиционно принимаются в границах официального территориального деления [14]. В связи с этим границы общин и городских кварталов целесообразно использовать в качестве итоговых единиц пространственного обобщения. Подобный подход позволяет интегрировать результаты научных оценок в действующую систему государственного учета [15], экологического нормирования и административного планирования. Наряду с границами районов важную роль играют установленные зоны экологического регулирования со специальным правовым режимом (ЗОУИТ в российской терминологии, а зоны строгой охраны и зоны ограничения эмиссии – во вьетнамской) (рис. 3).



Рис. 3. Карта современного состояния экологического зонирования территории Ханоя (2025 г.). Толщина линии речной сети отражает порядок реки

Согласно законодательству Вьетнама, экологическое зонирование территории предусматривает выделение зон строгой охраны, зон ограничения эмиссии и иных регулируемых пространственных элементов (Национальное собрание СРВ. Закон об охране окружающей среды от 17.11.2020 № 72/2020/QH14. – Ханой. – Текст : электронный; Правительство СРВ. Постановление от 10.01.2022 № 08/2022/NĐ-CP «О детальном регулировании отдельных положений Закона об охране окружающей среды». – Ханой. – Текст : электронный). К зонам строгой охраны относятся наиболее уязвимые территории, включая центральные городские районы, водосборы источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, природные заповедники, а также охранные зоны объектов историко-культурного наследия и центральные (ядерные) зоны объектов всемирного природного наследия. Зоны ограничения эмиссии объединяют буферные территории, ключевые водно-болотные угодья, водоохранные коридоры и иные экосистемы с высокой антропогенной чувствительностью. Цифровое представление данных границ в среде экологической ГИС позволяет автоматизировать сопоставление фактических или смоделированных показателей загрязнения с нормативными требованиями, а также оперативно генерировать уведомления для органов государственного управления.

Заключение

Обоснование операционной территориальной единицы картографирования служит определяющим методическим фактором достоверного моделирования геоэкологической обстановки урбанизированных территорий. На примере Ханоя показано, что изолированное использование какого-либо одного типа пространственных элементов не позволяет решить весь комплекс исследовательских задач.

Предложенная многоуровневая система ОТЕ позволяет совместить научную обоснованность геоэкологического анализа с требованиями государственного менеджмента. Первый уровень, представленный регулярной гексагональной сеткой с площадью ячейки около 25 га, служит единой геопространственной основой общегородского масштаба, минимизирующей искажения пространственного анализа от эффекта MAUP. Второй уровень – речные бассейны и подбассейны – отражает физико-географические закономерности функционирования гидросферы. Третий уровень, включаю-

щий административные границы и зоны с особыми условиями использования территорий, обеспечивает прямую интеграцию расчетных данных в действующие правовые и управленческие механизмы городского планирования, трансформируя теоретические модели в прикладной инструмент экологического контроля.

Научная новизна работы заключается в обосновании многоуровневой системы операционных территориальных единиц, в которой сеточные, бассейновые и административные единицы используются не как взаимоисключающие альтернативы, а как согласованные уровни единой геопространственной основы, и в определении параметров базовой гексагональной ячейки (около 25 га) для условий крупного быстрорастущего города Юго-Восточной Азии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стурман В. И. Экологическое картографирование: учебное пособие. М. : Аспект Пресс, 2003. 251 с.

2. Макаров В. З., Новаковский Б. А., Чумаченко А. Н. Эколого-географическое картографирование городов. М. : Научный мир, 2002. 196 с.

3. Павлова А. Н., Чумаченко Н. А., Ермолаева Е. И. Геоинформационное картографирование медико-экологической ситуации в крупном промышленном городе (на примере г. Балаково). Известия Саратовского университета. Новая Серия. Сер. Науки О Земле. 2007. Т. 7, № 1. С. 21–26.

4. Badach J., Voordeckers D., Nyka L., Van Acker M. A framework for Air Quality Management Zones – useful GIS-based tool for urban planning: Case studies in Antwerp and Gdańsk. Build-ing and Environment. 2020. Т. 174. С. 106743.

5. Sahr K., White D., Kimerling A. J. Geodesic Discrete Global Grid Systems. Cartography and Geographic Information Science. 2003. Т. 30, № 2. С. 121–134.

6. Yermolaev O. P., Usmanov B. M., Muharamova S. S. The Basin Approach and Mapping to the Anthropogenic Impact Assessment on the East of the Russian Plain. Int. J. Appl. Eng. Res. 2015. Т. 10, № 20. С. 41178–41184.

7. Mukharamova S., Ivanov M., Yermolaev O. Assessment of Anthropogenic Pressure on the Volga Federal District Territory Using River Basin Approach. Geosciences. 2020. Т. 10, № 4. С. 139.

8. Openshaw S. The modifiable areal unit problem. Norwich: Geo, 1984. 40 с.

9. Shen J., Chen C., Wang Y. What are the appropriate mapping units for ecosystem service assessments? A systematic review. Ecosyst. Health Sustain. 2021. Т. 7, № 1. С. 1888655.

10. Бешенцев А. Н., Петров С. А., Борисова Т. А., Лубсанов А. А. Картографическая оценка долговременной динамики природопользования дельтовой территории по разновремен-ным топографическим картам. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 2. С. 62–72.

11. Cleland D. T., Avers P. E., McNab W. H., Jensen M. E., Bailey R. G., King T., Russell W. E. National Hierarchical Framework of Ecological Units. Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources. New Haven, CT: Yale University Press, 1997. С. 181–200.

12. Трубина Л. К., Лисакова О. А., Хлебникова Т. А. Зеленая инфраструктура как инструмент устойчивого развития урбанизированных территорий. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 5. С. 140–150.

13. Birch C. P. D., Oom S. P., Beecham J. A. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. Ecol. Model. 2007. Т. 206, № 3–4. С. 347–359.

14. Stenis J., Romanov M., Hogland W. Analysis and Classification of Modern Methods of Ecological Normalization of Anthropogenic Load: Russia vs. the West. Open Environ. Eng. J. 2011. Т. 4. С. 181–189.

15. Бирюков Д. А., Костеша В. А., Юнусов А. Г. Обоснование необходимости учета земель боевых сражений в Едином государственном реестре недвижимости. Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 3. С. 116–127.

REFERENCES

1. Sturman, V. I. (2003). *Ekologicheskoe kartografirovanie [Ecological Mapping]*. Moscow: Aspekt Press Publ., 251 p. [in Russian].

2. Makarov, V. Z., Novakovskiy, B. A., & Chumachenko, A. N. (2002). *Ekologo-geograficheskoe kartografirovanie gorodov [Ecological-Geographical Mapping of Cities].* Moscow: Nauchnyy Mir Publ., 196 p. [in Russian].

3. Pavlova, A. N., Chumachenko, N. A., & Ermolaeva, E. I. (2007). Geoinformation mapping of the medico-ecological situation in a large industrial city (a case study of Balakovo). *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya Seriya. Seriya Nauki o Zemle [Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences],* 7(1), 21–25 [in Russian].

4. Badach, J., Voordeckers, D., Nyka, L., & Van Acker, M. (2020). A framework for Air Quality Management Zones – useful GIS-based tool for urban planning: *Case studies in Antwerp and Gdańsk. Building and Environment,* 174, 106743. DOI 10.1016/j.buildenv.2020.106743.

5. Sahr, K., White, D., & Kimerling, A. J. (2003). Geodesic discrete global grid systems. *Cartography and Geographic Information Science,* 30(2), 121–134. DOI 10.1559/152304003100011090.

6. Yermolaev, O. P., Usmanov, B. M., & Mukharamova, S. S. (2015). The basin approach and mapping to the anthropogenic impact assessment on the East of the Russian Plain. *International Journal of Applied Engineering Research,* 10(20), 41178–41184.

7. Mukharamova, S., Ivanov, M., & Yermolaev, O. (2020). Assessment of anthropogenic pressure on the Volga Federal District territory using river basin approach. *Geosciences,* 10(4), 139. DOI 10.3390/geosciences10040139.

8. Openshaw, S. (1984). The Modifiable Areal Unit Problem. Norwich: Geo Books, 40 p. (Concepts and Techniques in Modern Geography, No. 38).

9. Shen, J., Chen, C., & Wang, Y. (2021). What are the appropriate mapping units for ecosystem service assessments? A systematic review. *Ecosystem Health and Sustainability,* 7(1), 1888655. DOI 10.1080/20964129.2021.1888655.

10. Beshentsev, A. N., Petrov, S. A., Borisova, T. A., & Lubsanov, A. A. (2024). Cartographic assessment of long-term dynamics of nature management of a delta territory from multi-temporal topographic maps. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT],* 29(2), 62–72. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-62-72 [in Russian].

11. Cleland, D. T., Avers, P. E., McNab, W. H., Jensen, M. E., Bailey, R. G., King, T., & Russell, W. E. (1997). National hierarchical framework of ecological units. In M. S. Boyce & A. W. Haney (Eds.), Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources (pp. 181–200). New Haven, CT: Yale University Press.

12. Trubina, L. K., Lisakova, O. A., & Khlebnikova, T. A. (2023). Green infrastructure as a tool for sustainable development of urbanized areas. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT],* 28(5), 140–150. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-140-150 [in Russian].

13. Birch, C. P. D., Oom, S. P., & Beecham, J. A. (2007). Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, 206(3–4), 347–359. DOI 10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041.

14. Stenis, J., Romanov, M., & Hogland, W. (2011). Analysis and classification of modern methods of ecological normalization of anthropogenic load: Russia vs. the West. *The Open Environmental Engineering Journal*, 4, 181–189. DOI 10.2174/1874829501104010181.

15. Biryukov, D. A., Kostesha, V. A., & Yunusov, A. G. (2021). Justification of necessity for battlefields registration in the unified state real estate register. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT],* 26(3), 116–127. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-3-116-127 [in Russian].

Об авторе

Нгуен Динь Куан – аспирант кафедры картографии.

Author details

Nguyen Dinh Quan – PhD Student, Department of Cartography.

Получено / Received 17.08.2026
Поступила после рецензирования / Revised 15.09.2026
Принята к публикации / Accepted 02.10.2026