

# Принципы построения цифровой модели функционального территориального геотаксона с использованием ГИС-технологий

В. В. Алексеев<sup>1</sup>, Н. В. Орлова<sup>2</sup>, Р. Е. Вавилов<sup>3</sup>, В. С. Брызгалов<sup>4</sup>, В. А. Саранцева<sup>5</sup>

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

<sup>1</sup>vvalekseev@etu.ru, <sup>2</sup>rgnr.42@gmail.com, <sup>3</sup>nvorlova@etu.ru

<sup>4</sup>verabryzgalo@mail.ru, <sup>5</sup>veronika\_sarance@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается функциональное взаимодействие площадных территориальных подсистем и их классификация по степени карбонового воздействия. Приводится районирование территории на основе административных кадастровых территориальных единиц и функциональное районирование по степени производительности карбона каждым типом геотаксонов. Определяются источники выбросов, которые оказывают наиболее опасное воздействие на окружающую природную среду. Характеристики территориальных объектов при районировании территории описываются цифровой моделью объектов, которые на ней находятся, для создания системы оценки углеродного воздействия на основе ГИС-технологий.

**Ключевые слова:** карбоновое воздействие; карбоновый след; геотаксон; районирование территории; классификация геотаксонов; административное районирование; функциональное районирование; цифровая модель

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из приоритетных задач мирового сообщества является уменьшение негативного воздействия человека на окружающую среду. Наиболее распространенным фактором антропогенного воздействия, приводящего к отрицательным последствиям, является загрязнение природной окружающей среды, в частности, перенос различных вредных веществ на большие расстояния от источника загрязнения. [1]

Антропогенная эмиссия парниковых газов с высокой вероятностью может считаться основополагающим фактором изменений климата Земли и относится к одной из наиболее значимых экологических проблем современности.

Выбросы парниковых газов оказывают существенное влияние на все основные элементы системы «окружающая природная среда – общество», создавая разнообразные проблемы, влекущие за собой значительные прямые и косвенные экономические, экологические и социальные ущербы.

На уровень эмиссии парниковых газов влияет широкий круг самых разнообразных факторов. Это и климатические (площадь лесов, их породно-возрастная структура; площадь болот; почвенные характеристики), и экономические (структура экономики региона), и технологические (наличие технологий, отвечающих требованиям прогрессивности производства). [2]

Так, выбросы парниковых газов, связанных с деятельностью человека, составляют около 50% антропогенного воздействия на биосферу. Это в первую очередь эмиссия углекислого газа CO<sub>2</sub> и метана CH<sub>4</sub>, которая растёт более высокими темпами, чем общий экологический след. Совокупность таких выбросов получила название «карбоновый (углеродный) след» и, вследствие как экологических, так и экономических причин, требует соответствующего учета и оценки в рамках территориальных систем.

Экологические риски чрезмерного распространения карбонового следа таковы, что парниковые газы, улавливающие тепло, являются основной причиной глобального потепления, грозящего необратимыми изменениями экосистемы Земли. Поэтому поддержание карбонового баланса, путём снижения и компенсации углеродного следа, является актуальной задачей для мирового сообщества. В свою очередь, Российская Федерация обладает рядом преимуществ среди других стран по потенциалу снижения углеродного следа – поскольку располагает большими нетронутыми территориями, включая лесные, а также существенным внутренним резервом ресурсо- и энергосбережения. Страна способна реализовать это преимущество, как используя регенеративные возможности экосистем, так и повышая энергоэффективность производств.

Экономической причиной является введение Евросоюзом трансграничного углеродного налога при импорте товаров из других стран. Хотя углеродный налог по мнению международной организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСД) [3] и показал себя достаточно эффективным средством для уменьшения выбросов парниковых газов, а также признается наиболее эффективным и действенным способом сдерживания изменения климата с наименьшими негативными последствиями для экономики, для РФ введение такого налога может стать причиной ощутимых финансовых убытков. Поэтому необходимо сформировать собственную систему оценки карбонового следа (состояния) территории и анализа взаимного воздействия пограничных территорий.

Проведение количественного анализа карбонового состояния территориальной системы эффективно проводить с помощью геоинформационных технологий. Для этого проводится районирование исследуемой территории по информативным признакам, отражающим функциональную организацию территории, то есть её представление в виде геоинформационного слоя

(комплекса) территориальных ячеек с учетом оценки карбонового воздействия. [4]. Районирование территорий обеспечивает удобное представление и систематизацию характеристик в ГИС.

## II. РАЙОНИРОВАНИЕ. ПОДГОТОВКА ТЕРРИТОРИИ К АНАЛИЗУ

Основной задачей является количественный анализ карбонового состояния территориальных систем (ТС) с помощью геоинформационных измерительных систем. Главной характеристикой для анализа является способность ТС к производству или поглощению карбона. Производительность карбона территориальной ячейкой (ТЯ) –  $s_{ne}$  (тонн/год км<sup>2</sup>) носит обозначение «+sne», а поглощение «-sne», где ne – географические координаты ТЯ (n – north, e – east). В данном исследовании точность измерения площади территорий принимается за (100м × 100м, ..., 1км × 1км), а количества вещества (0,1 т, ..., 1.0т) [4].

Для подготовки данных, характеризующих территорию, к решению задачи необходимо представить их в удобной для геоинформационных технологий форме. Для этого проводится районирование исследуемой территории по информативным признакам, то есть её представление в виде геоинформационного слоя (комплекса) территориальных ячеек с учетом оценки карбонового воздействия. Учитывая структурную организацию территории, проводится два вида районирования – административное и функциональное.

Административное районирование – представление территории в виде районов административной ответственности, имеет значение для экономической части исследования по причине того, что налоги на углеродных след взимаются по административной принадлежности. Административное районирование (АР) определяет области анализа величины карбонового следа и как исходный материал должен быть представлен в виде слоев цифровой карты (в виде раздела базы геоданных).

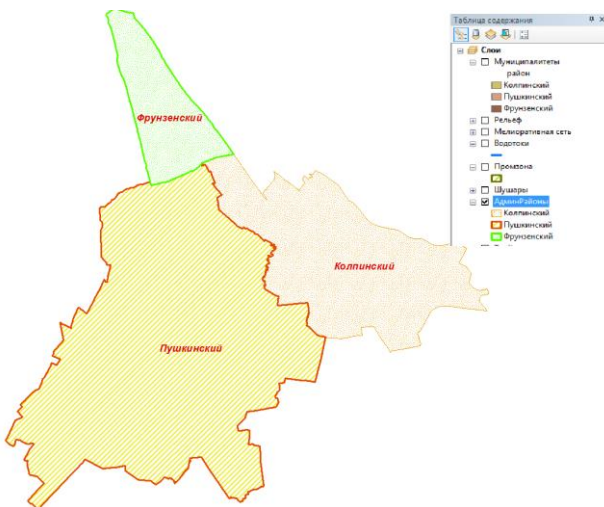


Рис. 1. Административные границы исследуемой территории

Функциональное районирование – разбиение исследуемой территории на территориальные объекты, выполняющие определенные функции и обладающие определенными характеристиками относительно

решаемой задачи (характеристиками по производительности карбона или его поглощения).

Поскольку при количественном анализе карбонового состояния территории речь идет о назначении ответственности за воздействие на окружающую природную среду, которая возлагается на административные органы, районирование анализируемой территории целесообразно производить на основе административных кадастровых территориальных единиц. Поэтому предполагается параллельный учет как административных границ, так и функциональных (рис. 2).

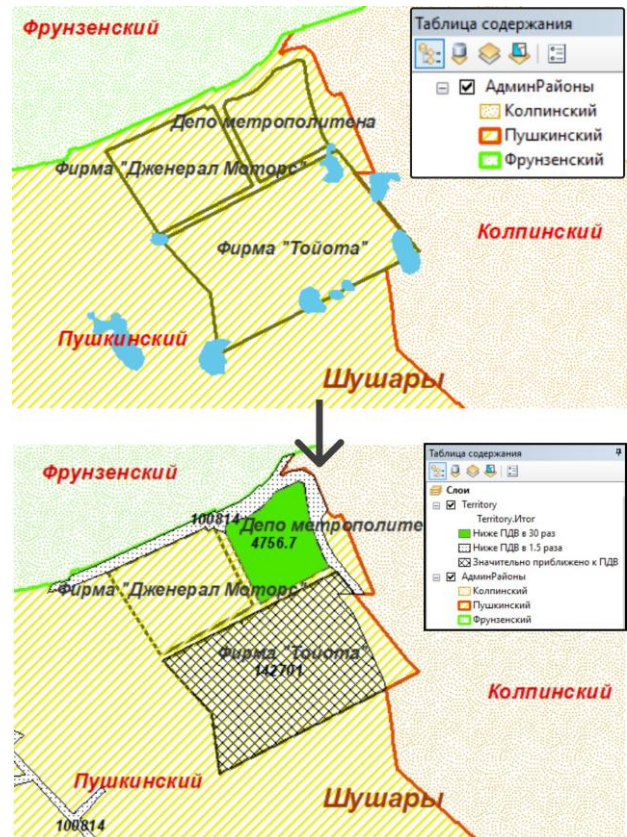


Рис. 2. Наложение административных границ территории на функциональный слой

## III. ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОТАКСОНОВ

В качестве объекта анализа будет использоваться понятие «геотаксон», обозначающий территориальную ячейку, обладающую рядом свойств, связанных с поставленной задачей. В данном случае это заданная производительность карбона, имеющей постоянное или функциональное значение, а также значения важных характеристик:

количество CO<sub>2</sub> за год:

$$M_{CO_2NE} = \iiint_{NET} c_{ne}(t) dndedt, \text{ т} \quad (1)$$

средняя производительность CO<sub>2</sub>:

$$C_{CO_2NE} = M_{CO_2NE} / \left( \iint_{NE} s_{ne} dnde \right) = \iiint_{NET} c_{ne}(t) dndedt / \left( \iint_{NE} s_{ne} dnde \right), \text{ т/год} \quad (2)$$

где NE – множества географических координат, принадлежащих анализируемому геотаксону, T – время анализа, – площадь территориальной единицы.

Геотаксон состоит из территориальных единиц, которые покрывают его площадь. В зависимости от структуры территориальной системы (природной или техногенной экосистемы) геотаксоны можно разделить на четыре функциональные группы по функции производительности карбона.

1. Производительность постоянна на всей территории геотаксона (ГТП) –  $c_{net} = \text{const}$
2. Производительность определяется множеством территориальных единиц, имеющих различные значения (ГТПП) –  $c_{net} = \{ (c_{1ne}, c_{2ne}, \dots, c_{kne}, \dots, c_{kne}), n, e \}$ , где K – число территориальных единиц.
3. Производительность определяется видом технологического процесса (ТП) – моделью выброса или сброса –  $c_{net} = f(tp(\dots), n, e, t)$ .
4. Модель взаимного воздействия, трансграничный перенос. Производительность определяется пространственной функцией, описывающей характеристики трансграничного переноса (ГТПП) – моделью атмосферных процессов –  $c_{net} = f\{ (c_{1ne}, c_{2ne}, \dots, c_{rne}, \dots, c_{rne}), n, e \}$  с корреляционными связями, учитывающими розу ветров анализируемого региона или характеристики глобальных атмосферных.

Основой для классификации геотаксонов выступает функциональное районирование. Каждый тип геотаксона обладает своей производительностью карбона, своей функцией и образует слой геоданных. Для полной классификации таксонов проводится идентификация всех объектов, природных и технологических, на исследуемой территории, после чего вся площадь территории полностью покрывается геотаксонами. Далее осуществляется полное покрытие административного района геотаксонами различных типов, отражающими структуру района. Для этого проводится классификация геотаксонов, которая подробно рассматривалась в статье SCM-2022 [4].

#### IV. ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ

Наиболее опасное воздействие на окружающую природную среду (ОПС) оказывают выбросы промышленных предприятий и транспорта. Характеристики выбросов определяются технологическим процессом предприятия, его структурой, а транспортные выбросы – характеристиками автомобильного потока (состав, интенсивность и др.). То есть характеристики территориального геотаксона (ТГ) могут быть описаны цифровой моделью объектов, которые на нем находятся (промышленное предприятие, транспортная инфраструктура).

Рассмотрим принципы построения цифровой модели функционального территориального геотаксона (ЦМФГ).

Основным информативным параметром ЦМФГ в соответствии с международным стандартом являются:

- количество CO<sub>2</sub> за год,
- средняя производительность CO<sub>2</sub>,

формулы (1) и (2) которых были приведены в третьем разделе.

Так как для анализа карбонового баланса учитываются как административные границы, так и функциональная принадлежность, контролируемый район полностью покрывается административными ГТ  $G_{\text{адм}NE}$ , каждый из которых обладает своей структурой и характеристиками. NE – множество координат территориальных единиц (территориальная единица  $g_{ne}$  (единичный геотаксон) – это один пиксель площади, имеющий заданный размер, определенный алгоритмом анализа: 1 м<sup>2</sup>, 10 м<sup>2</sup> и т.д.), описывающих заданный геотаксон;  $ne \in S_{NE}$ , где  $S_{NE}$  – площадь геотаксона, которая в свою очередь равна  $S_{NE} = \sum_{NE} g_{ne}$ . В этом случае площадь административного района будет равна

$$S_{\text{адм}NE} = \sum_{\text{адм}NE} g_{ne}, ne \in S_{\text{адм}NE}.$$

На рис. 3 представлена 3D модель объединения функционального и административного слоёв.

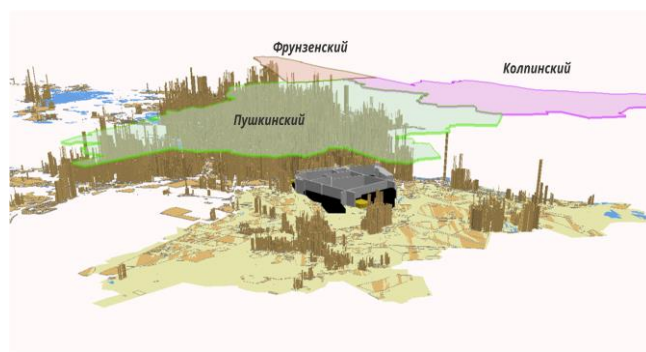


Рис. 3. 3D модель объединения функционального и административного слоёв

Однако, административное районирование не отражает качественную организацию существующего карбонового баланса, производство и поглощение карбона, степени взаимодействия производственных, промышленных, жилых и природных территорий. Поэтому районирования целесообразно проводить геоинформационными слоями, объединяя в виде слоя геотаксоны одного функционального класса – функциональные геотаксоны (ФГТ). Например,

- промышленные предприятия –  $G_{\text{прп}NE}$ ,
- сельскохозяйственные предприятия –  $G_{\text{схп}NE}$ ,
- транспортные системы –  $G_{\text{трп}NE}$ ,
- жилые зоны –  $G_{\text{жз}NE}$ ,
- природные комплексы –  $G_{\text{прк}NE}$ .

Рассмотрим принцип организации функционального ГТ (ФГТ) на примере слоя промышленных производств –  $G_{\text{прп}NE}$ . ФГТ имеет в своей структуре промышленное производство, воздействие которого на ОПС описывается системой цифровых моделей, направленных на расчет информативных показателей степени воздействия.

Например, цифровая модель функционального геотаксона (ЦМФГ), на территории которого находится промышленное предприятие, может быть представлена как оценка приземной концентрации газа,

рассчитывается в условиях максимального воздействия выбрасываемых газов на ОПС

$$C_{пр}(x, y, z) = F(V_d, H, D, V_v, M_{ид}, T_d),$$

где:  $C_{пр}$  – приземная концентрация газа,  $V_d$  – скорость выхода дымового газа из трубы,  $H$  – высота трубы,  $D$  – диаметр трубы,  $V_v$  – скорость ветра,  $M_{ид}$  – количество выбрасываемого газа,  $T_d$  – температура дымового газа.

Результат расчета показан на рис. 4.

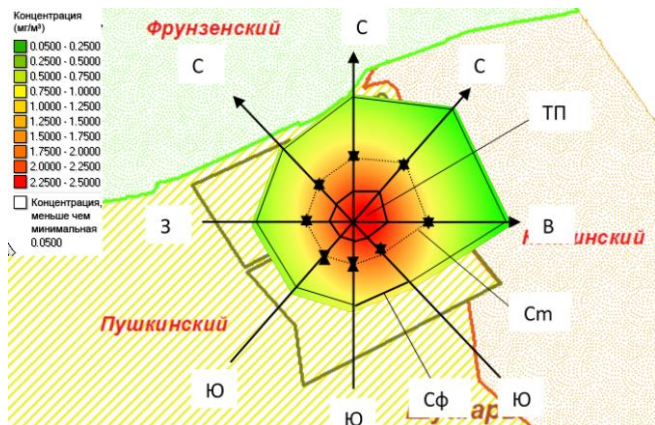


Рис. 4. Воздействие выбрасываемых газов на ОПС

Расчет производится относительно точки выброса газа в атмосферный воздух, на основе данных, описывающих технологический процесс, или результатов контрольных измерений.

Так как для построения «полной» ЦМФГ необходимо произвести расчет всех направлений распространения загрязнения в соответствии с розой ветров, которая также представлена на рис. 4. Роза ветров определяет

направление и границы расчета. Расчет проводится в единицах международного стандарта – тонн в год и по Российской методике – максимальная приземная концентрация.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для количественной оценки и анализа карбонового баланса исследуемая территория должна быть представлена в виде функциональных единиц и оценок, которые определяют количество воспроизводимого карбона. Учитываются как административные границы, так и территории по виду выбросов карбона. Рассмотрено построение цифровой модели функционального геотаксона, которой можно описать его характеристики. Система, в которой рассматриваемая территория представлена в виде геотаксонов, обеспечивает автоматизацию оценки карбонового баланса для промышленных территорий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Допустимые выбросы радиоактивных и химических веществ в атмосферу / Е.Н. Теверовский, Н.Е. Артемова и др. Энергоатомиздат, 1985, 216 с.
- [2] Оценка состояния железнодорожного пути с применением геоинформационной технологии / В.В. Алексеев, П.Г. Королев, Н.В. Орлова, А.А. Минина и [др.] СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. 160 с.
- [3] Taxing Energy Use, 2019 [https://www.oecd-ilibrary.org/taxation/taxing-energy-use-2019\\_a399854c-en](https://www.oecd-ilibrary.org/taxation/taxing-energy-use-2019_a399854c-en)
- [4] Алексеев В.В., Орлова Н.В., Вавилов Р.Е., Брызгалов В.С. Классификация геотаксонов по степени карбонового воздействия // Межд. конф. по мягким вычислениям и измерениям по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2022). СПб. 2022 г. Т.1. С. 215-217.