

Информационная система мониторинга крупных диких животных в заповедниках на основе методов пространственного анализа и искусственного интеллекта

О.И. Христодуло, А.В. Соколова, М.С. Хайруллин, Е.В. Накаряков

1

Аннотация — Статья посвящена разработке информационной системы мониторинга объектов животного мира на заповедных территориях, основанной на интеграции методов искусственного интеллекта (ИИ) и пространственного анализа. Система предназначена для автоматизации сбора, передачи, хранения и интеллектуальной обработки данных мониторинга крупных диких животных на заповедных территориях, с целью повышения полноты и согласованности информации, используемой при принятии природоохранных решений. Авторами рассмотрен двухэтапный подход организации информационной системы мониторинга: 1) детекция объектов, их классификация с помощью ИИ; 2) аналитическая обработка полученных данных методами пространственного анализа: построение буферных зон и тепловых карт ареалов обитания крупных диких животных. В ходе исследования проведен анализ существующих подходов, применяемых в данной предметной области, описан метод построения ареала (мест обитания) вида по детекциям фотоловушек, предложена архитектура системы мониторинга крупных диких животных на основе микросервисов, которая объединяет сеть датчиков, модуль автоматического распознавания (на периферийных устройствах и/или сервере), хранилище пространственных данных и веб-интерфейс.

Ключевые слова — информационная система, обнаружение объектов, классификация животных, искусственный интеллект, пространственный анализ, мониторинг диких животных.

I. ВЕДЕНИЕ

Долгосрочное устойчивое развития территорий (УРТ) регионального, муниципального или местного образования – это комплекс мер при реализации деятельности человека, связанный с повышением уровня его жизни и направленный на достижение баланса между экономическими, социальными и экологическими факторами. Существует ряд

инструментов, которые позволяют реализовать основные цели УРТ, к ним можно отнести планирование территорий, внедрение ESG (Environmental, Social, Governance)-стратегии в деятельность предприятий, управление рисками и рациональное использование природных ресурсов [1, 2].

Принципы экологической (E - Environmental) ответственности, включённые в модель ESG, на ряду с глобальными проблемами борьбы с климатическими изменениями и загрязнения окружающей среды, включают в себя и сохранение видового биоразнообразия [3], где важную роль играют различные виды мониторинга (объектов животного мира, охотничьих ресурсов, среды обитания и др.) особо охраняемых природных территориях (таких как заповедники, национальные парки и др.), в результате которого формируются цифровые активы (включающие в себя данные с фотоловушек, акустических датчиков и т.д.) [4,5]. Они содержат в большом объеме информацию не только описательную и статистическую, но и пространственную, и мультимедийную, совместная обработка которой не возможна без современных информационных систем.

Масштабный анализ подобных систем, проведённый Рейчелом А. Кингом и его командой в [6], показал, что современные цифровые технологии имеют огромный потенциал в области развития алгоритмов обработки данных, методов создания и автоматизации рабочих процессов систем. При этом выявлено, что существующие цифровые платформы имеют ограничения в возможностях использования цифровых активов, связанные с оценкой и анализом получаемых данных [4,6,7,8]. Поскольку, большой объем графической и аудио информации, поступающей с датчиков, так называемых «сырых» данных, аналитические системы напрямую проанализировать без предварительной подготовки либо не могут, либо требуются значительные временные ресурсы для преобразования классическими методами, существует необходимость интеграции современных интеллектуальных методов. В природоохранной сфере в последние годы активно внедряются технологии искусственного интеллекта для обнаружения и классификации животных на изображениях и видео. Эти технологии не заменяют полевые исследования, а дополняют их, повышая полноту, оперативность и точность мониторинга диких животных. Полученные результаты могут быть интегрированы в

¹ Статья получена 2026.

О. И. Христодуло – Уфимский университет науки и технологий (УУНИТ); (email: o-hristodulo@mail.ru)

А.В. Соколова Уфимский университет науки и технологий (УУНИТ); (email: anna.vasilevna.sokolovs@gmail.com)

М. Хайруллин – Уфимский университет науки и технологий (УУНИТ); (email: ban54894@gmail.com)

Н.Е. Накаряков Уфимский университет науки и технологий (УУНИТ); (email: nakariakov.evgeny@yandex.ru)

информационную систему мониторинга для интерпретации результатов и выявления зависимостей – это разные участки единого процесса мониторинга: сенсоры и оповещение обеспечивают быстрый отклик, а информационная система — пространственно-временной анализ на основе методов искусственного интеллекта и геоинформационных технологий [9,10,11]. Так как зачастую отсутствует непрерывная передача данных первичных детекций от сенсоров в режиме близком к реальному времени, в рамках данной статьи рассматриваются методы и алгоритмы, которые реализуют информационную систему мониторинга объектов животного мира (на примере крупных диких животных) на территории заповедников с применением методов пространственного анализа и искусственного интеллекта (далее по тексту Система мониторинга), для организации сбора детекций с фотоловушек, хранения и аналитической обработки (буферные зоны, тепловые карты) информации. Далее рассмотрим применение методов искусственного интеллекта и пространственного анализа в мониторинге крупных диких животных в заповедниках более подробно.

II. РОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА И ИИ В МОНИТОРИНГЕ ОБЪЕКТОВ ЖИВОТНОГО МИРА

Системы на основе алгоритмов глубокого обучения уже показали свою эффективность в задачах автоматической классификации животных и человека. Так современные камеры-ловушки могут быть оснащены встроенными модулями ИИ, способными автоматически распознавать на изображениях животных, людей или транспортные средства. Системы оперативного обнаружения объектов (диких животных, нарушителей) уже существуют и успешно функционируют [12,13], они в режиме близком к реальному времени передают информацию со стационарных и мобильных камер, оснащённых тепловизорами и алгоритмами распознавания образов на устройства приемники [14].

Алгоритмы распознавания образов могут базироваться на современных моделях, таких как YOLO, TensorFlow и PyTorch, которые позволяют не только фиксировать факт обнаружения животных, но и классифицировать их по видам, а также сохранять результаты наблюдений в виде пространственных данных, для обработки которых применяют методы пространственного анализа [15,16,17].

В связи с этим, параллельно с платформами со средствами оперативного обнаружения нарушителей развиваются системы ситуационной осведомлённости [18], которые позволяют не только отображать на карте заповедника объекты наблюдения и мониторить обстановку в режиме реального времени, но и накапливать данные с определенным периодом, анализировать их и прогнозировать, получать стратегии по охране природы и управлению территориями.

Интеграция данных с камер наблюдения (фотоловушек) в информационную систему для дальнейшей обработки, позволяет исследователям получать полную картину о состоянии вида и решать

следующие классы задач [19]:

1. *Визуализация ареалов* обитаний объектов животного мира: дает возможность визуализировать ареалы обитания животных, анализировать пространственное распределение популяций и отслеживать их изменения с течением времени.
2. *Мониторинг в режиме* реального времени: каждая точка (пространственный объект) в информационной системе, обозначающая фотоловушку (реальный объект), может содержать информацию о количестве и виде животных, дате и времени их обнаружения, а также условиях среды. Это позволяет исследователям в режиме реального времени оценивать текущую ситуацию в заповеднике, а также анализировать поведенческие особенности видов.
3. *Пространственно-временной анализ данных*: дает представление о миграции, изменении активности, смещении границ ареалов обитания вида в зависимости от сезонных факторов или времени суток.
4. *Статистический анализ и прогнозирование*: возможность строить графики и тепловые карты активности животных по их координатам, визуализировать изменения ареалов и использовать прогнозные модели, предсказывающие изменения ареалов обитания в зависимости от изменений климатических и антропогенных факторов.

Интеграция методов глубокого обучения ИИ и пространственного анализа даёт возможность исследователям не только фиксировать и классифицировать животных, но и анализировать их миграцию, распределение и поведение с учётом пространственно-временных данных. Далее предложен метод построения ареала (мест обитания) вида (крупных диких животных) по детекциям фотоловушек с применением пространственного анализа.

III. МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ АРЕАЛА (МЕСТ ОБИТАНИЯ) ВИДА ПО ДЕТЕКЦИЯМ ФОТОЛОВУШЕК

В качестве базовой единицы информации, поступающей с фотоловушек в Систему мониторинга, принимается событие детекции — результат распознавания на снимке с указанием времени, координат, источника и класса объекта, а также ссылкой на исходное фото и показателем уверенности. На уровне предметной области событие связывается с каталогом камер и справочником классов животных, что обеспечивает корректный контекст наблюдения. Для последующей аналитики данные преобразуются в форматы доступные для пространственного анализа, в рамках данного исследования в PostgreSQL/PostGIS [20].

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма программного конвейера обработки данных с фотоловушек и их последующего использования в Системе мониторинга.

На первом этапе выполняется получение кадров с камер и автоматическое выявление объектов (детекция) с помощью модели компьютерного зрения, после чего

для подтверждённых детекций формируется структурированное сообщение (JSON), содержащее результаты распознавания и пространственно-

временные атрибуты события (идентификатор камеры, время фиксации, класс/вид, показатель достоверности).

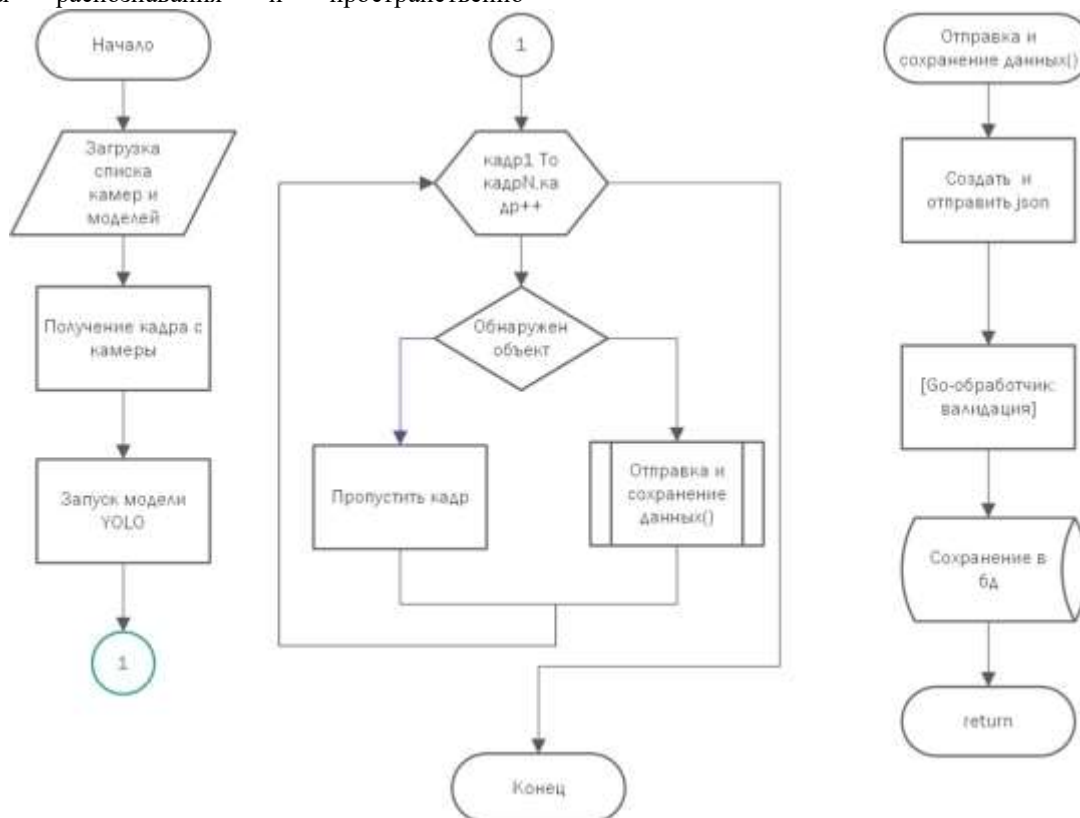


Рисунок 1 Блок-схема алгоритма обработки видеопотока с фотоловушек

Далее сообщение передаётся в сервер-контроллер (Go-API), где выполняются валидация и нормализация данных, и затем запись в базу данных с поддержкой пространственных объектов. С момента сохранения детекций запускается этап анализа: на основе событий рассчитываются производные пространственные данные (буферные зоны регистраций, агрегации по территории и периоду наблюдений, а также тепловые карты плотности), формирующие итоговые слои для визуализации и интерпретации [17].

Go-обработчик валидации — это серверный модуль, который принимает данные (например, из формы/REST-запроса), проверяет их корректность и целостность (типы, обязательные поля, диапазоны, уникальность, геометрию/координаты, связи со справочниками), нормализует и приводят к единому виду, а затем сохраняет запись в пространственную базу данных. Сразу после успешного сохранения запускается следующий этап: пространственный анализ — в фоне или в очереди задач формируются и пересчитываются пространственные данные (GiST, пересечения/вхождения в зоны, буферы, привязка к слоям, агрегаты по территориям, расчёт показателей), результаты заносятся в отдельные таблицы/поля и становятся доступными для создания карт, отчётов и аналитики (рис. 2).

Местообитание вида в пределах исследуемой территории рассматривается как совокупность участков, ассоциированных с регистрациями вида, полученными средствами автоматизированного мониторинга. Оценка пространственного распределения выполняется по

параметрам регистраций фотоловушек: координаты точки наблюдения, время, таксономическая принадлежность и показатель достоверности детекции (confidence).

Метод включает два этапа: (1) построение буферных зон вокруг точек регистраций для формирования области пространственного влияния наблюдений; (2) построение тепловой карты плотности регистраций (например, методом KDE), отражающей неоднородность пространственного распределения и позволяющей выделить участки с наибольшей концентрацией наблюдений.

Буферная зона (buffer) в пространственном анализе — это область заданного расстояния вокруг одного или нескольких пространственных объектов, как правило, представляемая полигоном, построенным вокруг точки/линии/полигона на указанную дистанцию [[21]].

В рамках настоящей работы буферизация выполняется при регистрации вида, полученной по результатам обработки материалов фотоловушек.

Детектор формирует класс/вид и параметры детекции в координатах фото (например, bounding box). Поэтому базовым пространственным представлением регистрации является геопривязанная точка p_i (точка установки камеры, связанная с событием детекции). Буфер для i -й регистрации задаётся как

$$B_i = \text{Buffer}(p_i, R_i), \quad (1)$$

где R_i — радиус буфера (в метрах), интерпретируемый как пространственная область влияния регистрации (аппроксимация неопределённости локализации и/или детектируемой зоны) [22].



Рисунок 2 Блок-схема алгоритма классификации вида на фотоловушке
1. Построение буферных зон ареала обитания вида.

Под «буферами ареала обитания вида» в рамках данной статьи корректно понимать буферные зоны регистраций вида — множество полигонов $\{B_i\}$, построенных по совокупности подтверждённых детекций. Радиус R_i задаётся по параметрам мониторинга, доступным в данных: (1) фиксированным значением R для выбранного типа камеры/условий; либо (2) как атрибут R_i , зависящий, например, от класса вида/условий, съёмки/достоверности, детекции (confidence).

Пусть i -я детекция вида s_i получена при обработке фото- или видеоматериала фотоловушки и сопоставлена пространственно-временной записи наблюдения. Каждой детекции соответствует геопривязанная точка $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i)$ в выбранной системе координат (плоской метрической), где (x_i, y_i) — координаты точки регистрации. Атрибутивная часть записи включает: временную метку t_i , идентификатор вида s_i (класс детекции) и показатель достоверности $c_i \in [0, 1]$ (confidence).

Буферная зона для детекции i задаётся радиусом R (в метрах) и представляет собой область на местности, соответствующую пространственной окрестности точки регистрации. Величина R интерпретируется как параметр пространственного влияния одной регистрации и может задаваться: (i) фиксированно (единый радиус для выбранного вида/камер/условий), либо (ii) как R_i — величина, зависящая от атрибутов наблюдения (например, условий съёмки или достоверности детекции). Тогда буфер радиуса R описывается множеством

$$B_R(x_0, y_0) = \{ (x, y) \mid d((x, y), (x_0, y_0)) \leq R \}, \quad (2)$$

где $d((x, y), (x_0, y_0))$ — расстояние между двумя точками плоскости: произвольной точкой (x, y) и точкой

регистрации (x_0, y_0) . В случае использования плоской метрической системы координат d задаётся евклидовой метрикой

$$d_E((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (3)$$

Таким образом, формулы (2) – (3) определяют геометрию буферной зоны вокруг точки регистрации \mathbf{p}_i в координатах (x, y) .

Далее объединение буферов (например, операция union/dissolve) используется для получения первичного приближения области присутствия, которое затем сопоставляется с результатами построения тепловой карты плотности регистраций [[23]].

2. Построение тепловой карты.

Тепловая карта строится по параметрам, извлечённым из фото- и видеоданных фотоловушек на этапе обработки: для каждой детекции регистрируется временная метка и показатель достоверности (confidence), который может применяться как вес при расчёте плотности детекций (количество на 1 фотоловушке / количество всех обнаружений).

Тепловая карта в работе интерпретируется как карта пространственной плотности регистраций вида, построенная по множеству геопривязанных детекций $\{\mathbf{p}_i\}$ за заданный период и/или для выбранного вида s . На практике для построения используется ядровая оценка плотности (Kernel Density Estimation, KDE [24]), при которой вклад каждой детекции в значение плотности задаётся ядровой функцией и может быть взвешен показателем достоверности c_i и/или числом детекций в интервале времени. В результате получается поле $H(x, y)$, отражающее неоднородность распределения детекций в пространстве: большие значения $H(x, y)$ соответствуют участкам с более высокой концентрацией подтверждённых регистраций, а изолинии/пороговая отсечка по $H(x, y)$ используются для выделения зоны присутствия вида.

Тогда оценка плотности в точке (x, y) определяется как

$$H(x, y) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i} \sum_{i=1}^n w_i \cdot K_h(d_E((x, y), (x_i, y_i))), \quad (4)$$

где $K_h(\cdot)$ — гауссова ядровая функция с параметром сглаживания h (bandwidth), а d_E — евклидово расстояние между точкой карты (x, y) и точкой регистрации (x_i, y_i) .

Значения $(p(x))$ визуализируются в виде цветной карты: «горячие» зоны указывают на места скопления животных.

Для каждой детекции i формируется запись наблюдения $r_i = \{\mathbf{p}_i, t_i, s_i, c_i\}$, где $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i)$ — координаты детекции (в принятой метрической системе координат), t_i — временная метка (в пределах выбранного интервала наблюдений $[T_1, T_2]$), s_i — идентификатор вида, c_i — показатель достоверности детекции (confidence). Для последующего пространственного анализа территория представляется регулярной сеткой G с шагом Δ (размер ячейки, м). Буфер радиуса R вокруг точки \mathbf{p}_i реализуется в дискретном виде как множество ячеек $C_i(R) \subseteq G$, центры которых попадают в окрестность детекции:

$$C_i(R) = \{g \in G \mid d_E(\text{center}(g), \mathbf{p}_i) \leq R\}. \quad (5)$$

Вычисление $C_i(R)$ выполняется алгоритмом поиска в ширину (BFS) на графе смежности ячеек сетки (4- или 8-соседство): обход начинается с ячейки, содержащей p_i , и распространяется «волной» до тех пор, пока накопленное расстояние от стартовой ячейки не превысит R . Таким образом, BFS используется как вычислительная процедура построения буфера в растровом представлении, обеспечивая однозначное соответствие между параметрами наблюдения r_i (координаты (x_i, y_i) , период $[T_1, T_2]$, вид s_i , достоверность c_i) и дискретной геометрией буферной зоны, применяемой далее при агрегации и построении карт плотности (рис. 3). На рисунке 3 представлена визуализация результатов пространственного анализа данных фотоловушек в виде тепловой карты плотности детекций животных. Синие маркеры соответствуют точкам размещения фотоловушек, а контуром выделена граница анализируемой территории обитания. Цветовая градация от синего к красному отражает увеличение плотности детекций: участки с более тёплыми цветами соответствуют зонам наибольшей концентрации регистраций животных.

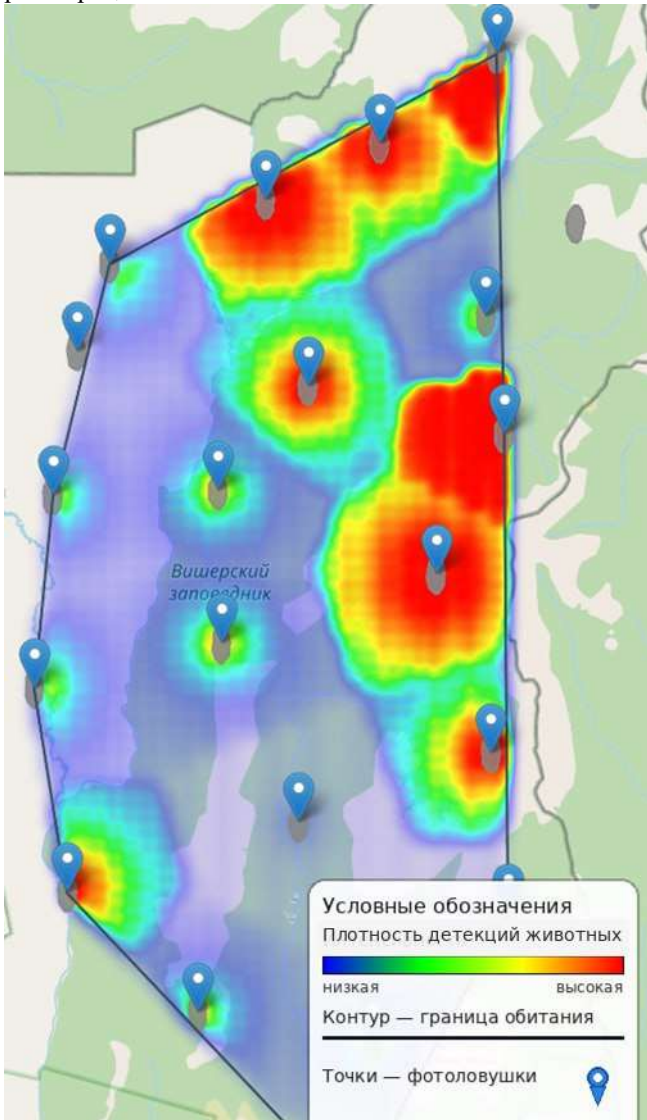


Рисунок 3 Реализация алгоритма BFS

При использовании 8-соседства расстояние в ходе обхода накапливается дискретно: переход в

ортогонально смежную ячейку увеличивает путь на Δ , а переход в диагонально смежную — на $\Delta\sqrt{2}$. Ячейка g включается в множество $C_i(R)$, если минимальная накопленная длина пути от стартовой ячейки до g не превышает R ; в непрерывной постановке это эквивалентно условию $d_E(\text{center}(g), p_i) \leq R$ с учётом дискретизации территории шагом Δ . (Если используется 4-соседство, учитываются только ортогональные переходы с шагом Δ .)

В условиях неоднородной среды вводится поле весов $w(u, v)$, отражающее проходимость (стоимость перемещения) по ячейкам/узлам сетки. Тогда расстояние во взвешенной метрике между точкой регистрации (x_0, y_0) и произвольной точкой (x, y) определяется как минимальная суммарная стоимость пути:

$$d_w((x_0, y_0), (x, y)) = \min_{\pi: (x_0, y_0) \rightarrow (x, y)} \sum_{(u, v) \in \pi} w(u, v), \quad (6)$$

где π — путь по смежным ячейкам сетки, а $w(u, v) \geq 0$ — вес (стоимость) соответствующей ячейки/перехода. При равных весах $w = \text{const}$ выражение сводится к невзвешенному случаю и может быть вычислено алгоритмом поиска в ширину (BFS), тогда как при неоднородных весах применяются алгоритмы поиска пути минимальной стоимости.

Алгоритмы и способы построения ареалов выполняют корректную работу механизмов сбора детекций, их валидации, хранения и анализа данных.

IV. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Предложенные методы и алгоритмы были реализованы в рамках Системы мониторинга объектов животного мира на заповедных территориях, построенной на основе микросервисной архитектуры [[25]]. Выбор такого подхода обусловлен тем, что он обеспечивает модульность и независимое развитие компонентов (приём данных, ИИ-обработка, хранение и пространственный анализ), горизонтальное масштабирование ресурсоёмких этапов обработки данных (прежде всего автоматического распознавания объектов и пространственных расчётов), отказоустойчивость за счёт изоляции сервисов и повторяемости обработки, а также упрощает сопровождение и обновление моделей и аналитических процедур без прерывания функционирования системы в целом. Кроме того, микросервисная архитектура повышает воспроизводимость вычислительного конвейера и облегчает интеграцию с внешними источниками данных и пользовательскими интерфейсами.

Архитектура разработанной системы представлена на рисунке 4. Она включает следующие основные компоненты: подсистему интеллектуального распознавания животных, серверную часть API, базу данных (подсистема пространственного анализа) и пользовательский интерфейс (веб-клиент) [[21]].

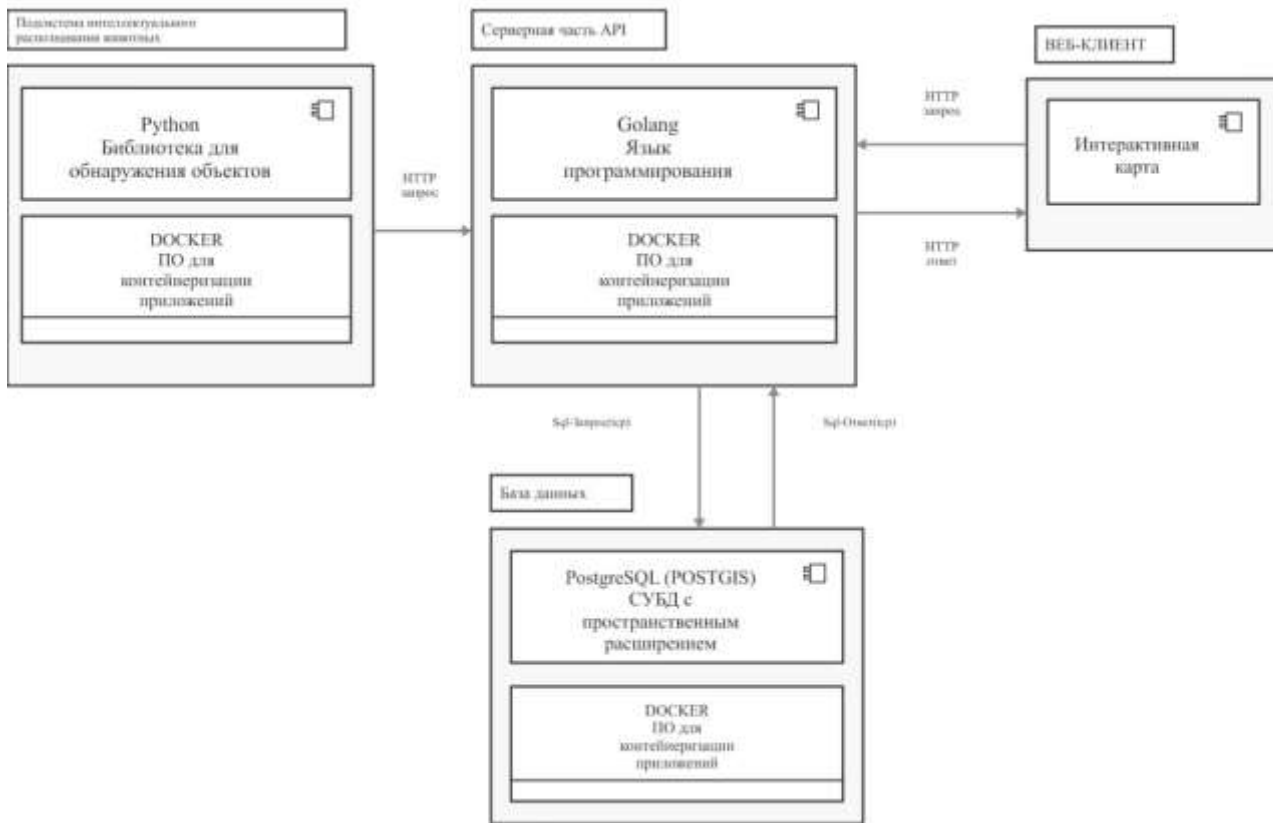


Рисунок 4 Архитектура информационной системы мониторинга крупных диких животных на территории заповедника

1. *Микросервис: подсистема интеллектуального распознавания животных* обеспечивает сбор, предварительную обработку и передачу на центральный сервер информации, поступающей от сети сенсоров, установленных в ключевых точках: цифровых фотоловушек и видеокамер (в том числе тепловизионных). Встроенные модули компьютерного зрения на основе нейросетей выполняют на месте детекцию объектов на каждом кадре (например, определяют появление человека или животного) [5]. Выявленные события с указанием времени, координат и класса объекта передаются на центральный сервер [27].

2. *Микросервис: серверная часть API*

Принимает поток детекций в формате JSON и сохраняет его в базе данных. В качестве хранилища используется СУБД с поддержкой пространственных данных (например, PostgreSQL/PostGIS [20, 23]), обеспечивающая последующий пространственный анализ данных. Каждая детекция записывается как географическая точка с атрибутами (время, вид, связанное изображение и др.), формируя исторический архив наблюдений для последующего анализа распределения животных [28, 29].

ТАБЛИЦА 1. СТРУКТУРА ТАБЛИЦЫ РЕГИСТРАЦИИ ДЕТЕКЦИЙ

Поле	Тип	Назначение
event_id	UUID (PK)	Уникальный идентификатор события детекции
camera_id	UUID/TEXT (FK)	Идентификатор фотоловушки/камеры
t	TIMESTAMP	Временная метка детекции
species_id	TEXT/INT	Класс/вид (идентификатор

Поле	Тип	Назначение
		объекта детекции)
confidence	REAL	Показатель достоверности детекции, $c_i \in [0;1]$
geom	geometry(Point, SRID)	Геометрия события (точка регистрации)
media_uri	TEXT	Ссылка/путь к исходному медиафайлу
bbox	JSONB (опц.)	Параметры локализации в кадре (bounding box/контур)
payload	JSONB (опц.)	Исходный JSON-пакет (для трассируемости)
created_at	TIMESTAMP	Время записи в базу данных

3. *Микросервис: база данных (подсистема пространственного анализа)*

Выполняет обработку и визуализацию пространственных данных наблюдений. н обеспечивает реализацию основных процедур пространственного анализа в задачах мониторинга объектов животного мира: построение буферных зон вокруг точек наблюдений и тепловых карт плотности [12]. В разработанной системе акцент делается на буферизацию и тепловые карты как наиболее информативные инструменты для выделения мест обитания животных и «горячих» точек их активности. Например, сотрудник заповедника через интерфейс выбирает интересующий вид животного и временной диапазон, после чего система формирует буферные зоны и тепловое представление данных, отображаемые на интерактивной карте (рис. 3) [[10]].

4. *Микросервис: пользовательский интерфейс (веб-клиент)*

Предоставляет пользователям интерактивный доступ к функционалу системы. На электронной карте

заповедника отображаются слои данных: точки размещения камер, зарегистрированные детекции, а также результирующие аналитические объекты (построенные буферные зоны, области повышенной активности и т. д.). Интерфейс позволяет фильтровать отображаемую информацию по видам животных, временным интервалам и зонам интереса, просматривать статистику по каждой камере (например, количество срабатываний, последние снимки), а также запускать аналитические операции – построение буферов или генерацию тепловых карт – в режиме реального времени (рис.5).

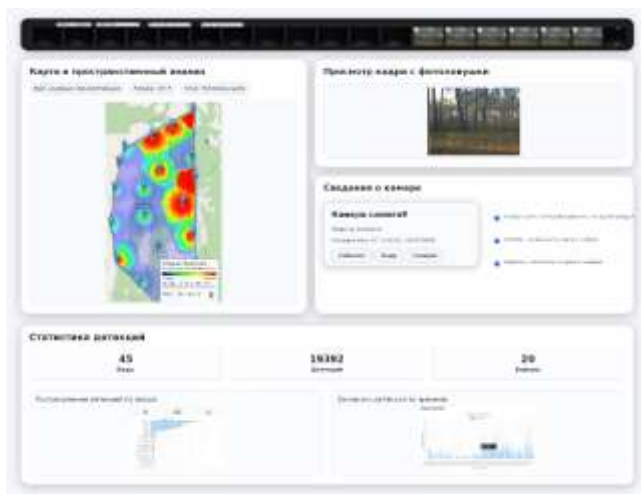


Рисунок 5 Всплывающее окно инструментов пространственного анализа

Все перечисленные компоненты объединены в информационную систему, которая сочетает методы ИИ-обработки «сырых» данных с фотоловушек при мониторинге крупных диких животных и пространственного анализа мест их обитания в рамках одной инфраструктуры [[11]].

Таким образом, разработанная архитектура обеспечивает интеграцию подсистем интеллектуального распознавания, хранения, пространственного анализа и визуализации данных мониторинга, создавая единый контур обработки наблюдений за дикими животными на заповедных территориях.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграция методов искусственного интеллекта и пространственного анализа расширяет возможности мониторинга объектов животного мира на заповедных территориях. В данной работе предложена архитектура Системы мониторинга, объединяющая оперативную детекцию объектов (крупных животных) с аналитической обработкой пространственных данных наблюдений. Подсистема интеллектуального распознавания животных на основе нейросетевых алгоритмов обеспечивает автоматическое обнаружение животных на изображениях, полученных с фотоловушек, что существенно ускоряет обработку «сырых» данных мониторинга. Одновременно подсистема пространственного анализа позволяет анализировать накопленные детекции: строить буферные зоны вокруг мест обнаружений, генерировать карты плотности обитания (тепловые карты), выделять

кластеры активности. Применение алгоритма BFS демонстрирует, каким образом можно решать задачу построения зон вокруг наблюдений на дискретной сетке, что закладывает основу для реализации более сложных пространственных вычислений в системе.

Таким образом, применение системы мониторинга крупных диких животных в заповедниках на основе методов пространственного анализа и искусственного интеллекта повышает эффективность как природоохранных мероприятий, так и научных исследований, за счет автоматического отслеживания видов и оценки пространственного распределения ареалов их обитания.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Ерохина Т. Б., Хакимова М. Д. Концепция устойчивого роста (EGS) как инструмент для привлечения инвесторов // Вестник РГЭУ РИНХ. 2022. №1 (77). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-ustoychivogo-rosta-esg-kak-instrument-dlya-privlecheniya-investorov> (дата обращения: 18.02.2026).
- [2] Mager, F. A. Visualization of Solar Radiation Using Three-Dimensional Computer Graphics Technologies / F. A. Mager, A. V. Sokolova, O. I. Khristodulo // Scientific Visualization. – 2024. – Vol. 16, No. 2. – P. 45-55. – DOI 10.26583/sv.16.2.04. – EDN QYISPC.
- [3] Соловьев А.Н. Заповедание территорий в аспекте природопользования. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2020. 250 с. – ISBN 978-5-907372-19-1
- [4] National Center for Ecological Analysis and Synthesis (NCEAS). Closing the Gap: How NCEAS Is Using AI to Unlock the Full Potential of Biodiversity Monitoring. — [Электронный ресурс] / NCEAS. — URL: <https://www.nceas.ucsb.edu/news/closing-gap-how-nceas-using-ai-unlock-full-potential-biodiversity-monitoring> (дата обращения: 22.02.2026). — Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [5] Богданова, О.В., и др. Понятие мониторинга земель объектов особо охраняемых природных территорий — [Электронный ресурс] / cyberleninka.ru — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-monitoringa-zemel-obektov-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territoriy>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [6] Rachel A King and Benjamin S Halpern 2025 Environ. Res. Lett. 20 064022 DOI 10.1088/1748-9326/add02d <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/add02d/pdf>
- [7] Karlsson D, Hartop E, Forshage M, Jaschhof M, Ronquist F (2020) The Swedish Malaise Trap Project: A 15 Year Retrospective on a Countrywide Insect Inventory. Biodiversity Data Journal 8: e47255. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e47255>
- [8] Cavender-Bares J, Gamon J A and Townsend P A (eds) 2020 Remote Sensing of Plant Biodiversity (Springer International Publishing) (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-33157-3>)
- [9] Линкина А.В. Перспективы применения ai-технологий в области охраны окружающей среды — [Электронный ресурс] / vestnikvvt.ru — URL: <https://vestnikvvt.ru/ru/journal/article?id=153>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [10] Kalhor, Davood & Poirier, Mathilde & Pusenkova, Anastasiia & Maldague, Xavier & Gauthier, Gilles & Galstian, Tigran. (2021). A Camera Trap to Reveal the Obscure World of the Arctic Subnivean Ecology. IEEE Sensors Journal. PP. 1-1. 10.1109/JSEN.2021.3122203.
- [11] Чиглинцева Е.С. Основные принципы использования геоинформационных систем в экологии и природопользовании. — [Электронный ресурс] / cyberleninka.ru — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-principy-ispolzovaniya-geoinformatsionnyh-sistem-v-ekologii-i-prirodopolzovanii>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [12] Мартынов, С. П. Методы и средства экологического мониторинга. — М.: Наука, 2020. — 240 с. — [Электронный ресурс] / elib.pnzgu.ru — URL: <https://elib.pnzgu.ru/files/eb/LQrUu2HLHa4F.pdf>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.

- [13] Огурцов С.В., и др. Применение технологий искусственного интеллекта при обработке изображений с фотоловушек: принципы, программы, подходы. — [Электронный ресурс] / ecorpri.ru — URL: <https://ecorpri.ru/journal/article.php?id=14662>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [14] RESOLVE. TrailGuard AI and Nightjar. — [Электронный ресурс] / RESOLVE. — URL: <https://www.resolve.ngo/projects/trailguard-ai-and-nightjar> (дата обращения: 22.02.2026). — Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [15] Tabak M. A., Norouzzadeh M. S., Wolfson D. W., et al. Machine learning to classify animal species in camera trap images: Applications, challenges, and solutions // *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2019. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2019.00257/full>
- [16] У. Коннор О'Мэлли, и др. Машинное обучение позволяет в больших масштабах прогнозировать ареал обитания широко распространённых хищников в различных экорегионах — [Электронный ресурс] / link.springer.com — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-024-01903-2>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [17] Бочарников В.Н. Геоинформационные технологии для оценки и сохранения биоразнообразия — [Электронный ресурс] / dissercat.com — URL: <https://www.dissercat.com/content/geoinformatsionnye-tekhnologii-dlya-otsenki-i-sokhraneniya-bioraznoobraziya>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [18] Wall J., Lefcourt J., Jones C. [и др.]. EarthRanger: An open-source platform for ecosystem monitoring, research and management // *Methods in Ecology and Evolution*. — 2024. — Vol. 15, No. 11. — P. 1968–1979. — DOI: 10.1111/2041-210X.14399.
- [19] Хайруллин, М. С. AI-мониторинг живых существ на территории заповедников / М. С. Хайруллин // Мавлютовские чтения : Материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции. В 9-ти томах, Уфа, 25–29 ноября 2024 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. – С. 679–686. – EDN TXLZDY.
- [20] PostGIS Documentation. PostGIS 3.1 Manual. — [Электронный ресурс] / postgis.net — URL: <https://postgis.net/documentation/>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [21] Esri Support. GIS Dictionary. Buffer. — [Электронный ресурс] / Esri Support. — URL: <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/buffer> (дата обращения: 22.02.2026). — Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [22] Nakashima Y., Hongo S., Mizuno K. et al. Double-observer approach with camera traps can correct imperfect detection and improve the accuracy of density estimation of unmarked animal populations — [Электронный ресурс] / *Scientific Reports (Nature)*. — URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-05853-0> (дата обращения: 23.02.2026). Режим доступа: свободный. — Текст: электронный
- [23] PostGIS Documentation. ST_Buffer. — [Электронный ресурс] / postgis.net. — URL: https://postgis.net/docs/en/ST_Buffer.html (дата обращения: 22.02.2026). — Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [24] ArcGIS Pro Documentation. How Kernel Density works. — [Электронный ресурс] / Esri. — URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm> (дата обращения: 22.02.2026). — Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [25] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025684141 Российская Федерация. Программа для мониторинга животных на территориях заповедников с использованием искусственного интеллекта : заявл. 29.07.2025 : опубл. 11.09.2025 / М. С. Хайруллин, А. В. Соколова, О. И. Христодуло, Е. В. Накаряков; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий». – EDN NLYKVR.
- [26] Хайруллин, М. С. ИИ-мониторинг заповедных территорий: детекция животных и пространственный анализ данных / М. С. Хайруллин, Е. В. Накаряков // Мавлютовские чтения : Материалы XIX Всероссийской молодёжной научной конференции. В 8-ми томах, Уфа, 24–28 ноября 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 786–797. – EDN HGRFYX.
- [27] Ю. Ю. Никифорова, СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ экорегионах — [Электронный ресурс] / kubsau.rus — URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/b97/b9762071dbe21967c8a3be879ec1410a.PDF>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [28] Трифонова Т.А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. — [Электронный ресурс] / iprbookshop.ru — URL: <https://www.iprbookshop.ru/110100.html>, (дата обращения: 05.06.2025) Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.
- [29] Гвоздев В.Е., Христодуло О.И. Формальная процедура анализа свойств системы обращения с твердыми коммунальными отходами на основе положений эвергетики, аппарата теории надежности и ГИС-технологий // *International Journal of Open Information Technologies*. 2020. Т. 8. № 10. С. 90–96.

Ольга Игоревна ХРИСТОДУЛО

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, (УУНИТ) (<https://uust.ru/>)
email: o-hristodulo@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3987-6582>.

Анна Васильевна Соколова

кандидат технических наук, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, (УУНИТ) (<https://uust.ru/>)
email: anna.vasilevna.sokolova@gmail.com

Марат Салаватович Хайруллин

магистрант, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, (УУНИТ) (<https://uust.ru/>)
email: ban54894@gmail.com

Евгений Викторович Накаряков

магистрант, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, (УУНИТ) (<https://uust.ru/>)
email: nakariakov.evgeny@yandex.ru

An information system for monitoring large wild animals in nature reserves based on spatial analysis and artificial intelligence methods

O.I. Khristodoulo, A.V. Sokolova, M.S. Khairullin, E.V. Nakaryakov

Abstract – This article focuses on the development of an information system for monitoring wildlife in protected areas, based on the integration of artificial intelligence (AI) and spatial analysis methods. The system is designed to automate the collection, transmission, storage, and intelligent processing of large wild animal monitoring data in protected areas, with the goal of improving the completeness and consistency of information used in conservation decision-making. The authors examined a two-stage approach to organizing an information monitoring system: 1) object detection and classification using AI; 2) analytical processing of the obtained data using spatial analysis methods: constructing buffer zones and heat maps of large wild animal habitats. The study analyzed existing approaches used in this subject area, described a method for constructing a species' range (habitat) based on camera trap detections, and proposed an architecture for a large wild animal monitoring system based on microservices that integrates a sensor network, an automatic recognition module (on peripheral devices and/or a server), a spatial data warehouse, and a web interface.

Keywords – information system, object detection, animal classification, artificial intelligence, spatial analysis, wildlife monitoring.

REFERENCES

- [1] Erohina T. B., Hakimova M. D. Koncepciya ustojchivogo rosta (EGS) kak instrument dlya privlecheniya investorov // Vestnik RGEU RINH. 2022. №1 (77). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-ustoychivogo-rosta-esg-kak-instrument-dlya-privlecheniya-investorov> (date of access: 18.02.2026).
- [2] Mager, F. A. Visualization of Solar Radiation Using Three-Dimensional Computer Graphics Technologies / F. A. Mager, A. V. Sokolova, O. I. Khristodoulo // Scientific Visualization. – 2024. – Vol. 16, No. 2. – P. 45-55. – DOI 10.26583/sv.16.2.04. – EDN QYISPC.
- [3] Solov'ev A.N. Zapovedanie territorij v aspekte prirodoopol'zovaniya. – Moskva: Tovarischestvo nauchnyh izdanij KMK, 2020. 250 s. – ISBN 978-5-907372-19-1
- [4] National Center for Ecological Analysis and Synthesis (NCEAS). Closing the Gap: How NCEAS Is Using AI to Unlock the Full Potential of Biodiversity Monitoring. — [Electronic resource] / NCEAS. — URL: <https://www.nceas.ucsb.edu/news/closing-gap-how-nceas-using-ai-unlock-full-potential-biodiversity-monitoring> (date of access: 22.02.2026). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [5] Bogdanova, O.V., i dr. Ponyatie monitoringa zemel' ob'ektov osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij — [Electronic resource] / cyberleninka.ru — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-monitoringa-zemel-ob-objektov-osobo-ohranyaemyh-prirodnyh-territorij>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [6] Rachel A King and Benjamin S Halpern 2025 Environ. Res. Lett. 20 064022 DOI 10.1088/1748-9326/add02d <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/add02d/pdf>
- [7] Karlsson D, Hartop E, Forshage M, Jaschhof M, Ronquist F (2020) The Swedish Malaise Trap Project: A 15 Year Retrospective on a Countrywide Insect Inventory. Biodiversity Data Journal 8: e47255. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e47255>
- [8] Cavender-Bares J, Gamon J A and Townsend P A (eds) 2020 Remote Sensing of Plant Biodiversity (Springer International Publishing) (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-33157-3>)
- [9] Linkina A.V. Perspektivy primeneniya ai-tehnologij v oblasti ohrany okruzhayushchej sredy — [Electronic resource] / vestnikvvt.ru — URL: <https://vestnikvvt.ru/journal/article?id=153>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [10] Kalhor, Davood & Poirier, Mathilde & Pusenkova, Anastasiia & Maldague, Xavier & Gauthier, Gilles & Galstian, Tigran. (2021). A Camera Trap to Reveal the Obscure World of the Arctic Subnivean Ecology. IEEE Sensors Journal. PP. 1-1. 10.1109/JSEN.2021.3122203.
- [11] CHiglineva E.S. Osnovnye principy ispol'zovaniya geoinformacionnyh sistem v ekologii i prirodoopol'zovanii. — [Electronic resource] / cyberleninka.ru — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-printsipy-ispolzovaniya-geoinformacionnyh-sistem-v-ekologii-i-prirodoopolzovanii>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [12] Martynov, S. P. Metody i sredstva ekologicheskogo monitoringa. — M.: Nauka, 2020. — 240 s. — [Electronic resource] / elib.pnzgu.ru — URL: <https://elib.pnzgu.ru/files/eb/LQrUu2HLHa4F.pdf>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [13] Ogurcov S.V., i dr. Primenenie tehnologij iskusstvennogo intelekta pri obrabotke izobrazhenij s fotolovushek: principy, programmy, podhody. — [Electronic resource] / ecopri.ru — URL: <https://ecopri.ru/journal/article.php?id=14662>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [14] RESOLVE. TrailGuard AI and Nightjar. — [Electronic resource] / RESOLVE. — URL: <https://www.resolve.ngo/projects/trailguard-ai-and-nightjar> (date of access: 22.02.2026). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [15] Tabak M. A., Norouzzadeh M. S., Wolfson D. W., et al. Machine learning to classify animal species in camera trap images: Applications, challenges, and solutions // Frontiers in Ecology and Evolution. 2019. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2019.00257/full>
- [16] U. Konnor O'Melli, i dr. Mashinnoe obuchenie pozvolyaet v bol'shih masshtabah prognozirovat' areal obitaniya shiroko rasprostrannyh hishchnikov v razlichnyh ekoregionah — [Electronic resource] / link.springer.com — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-024-01903-2>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [17] Bocharnikov V.N. Geoinformacionnye tehnologii dlya ocenki i sohraneniya bioraznoobraziya — [Electronic resource] / dissercat.com — URL: <https://www.dissercat.com/content/geoinformacionnye-tehnologii-dlya-otsenki-i-sokhraneniya-bioraznoobraziya>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [18] Wall J., Lefcourt J., Jones C. [и др.]. EarthRanger: An open-source platform for ecosystem monitoring, research and management // Methods in Ecology and Evolution. — 2024. — Vol. 15, No. 11. — P. 1968–1979. — DOI: 10.1111/2041-210X.14399.
- [19] Hajrullin, M. S. AI-monitoring zhivyh sushchestv na territorii zapovednikov / M. S. Hajrullin // Mavlyutovskie chteniya : Materialy XVIII Vserossijskoj molodyozhnoj nauchnoj konferencii. V 9-ti tomah, Ufa, 25–29 noyabrya 2024 goda. – Ufa: Ufimskij universitet nauki i tehnologij, 2024. – S. 679-686. – EDN TXLZDY.
- [20] PostGIS Documentation. PostGIS 3.1 Manual. — [Electronic resource] / postgis.net — URL: <https://postgis.net/documentation/>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [21] Esri Support. GIS Dictionary. Buffer. — [Electronic resource] / Esri Support. — URL: <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/buffer>

- (date of access: 22.02.2026). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [22] Nakashima Y., Hongo S., Mizuno K. et al. Double-observer approach with camera traps can correct imperfect detection and improve the accuracy of density estimation of unmarked animal populations — [Electronic resource] / Scientific Reports (Nature). — URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-05853-0> (date of access: 23.02.2026). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [23] PostGIS Documentation. ST_Buffer. — [Electronic resource] / postgis.net. — URL: https://postgis.net/docs/en/ST_Buffer.html (date of access: 22.02.2026). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [24] ArcGIS Pro Documentation. How Kernel Density works. — [Electronic resource] / Esri. — URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm> (date of access: 22.02.2026). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [25] Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2025684141 Rossijskaya Federaciya. Programma dlya monitoringa zhivotnyh na territoriyah zapovednikov s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta : zayavl. 29.07.2025 : opubl. 11.09.2025 / M. S. Hajrullin, A. V. Sokolova, O. I. Hristodulo, E. V. Nakaryakov; zayavitel' federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ufimskij universitet nauki i tekhnologij». — EDN NLYKVR.
- [26] Hajrullin, M. S. II-monitoring zapovednyh territorij: detekciya zhivotnyh i prostranstvennyj analiz dannyh / M. S. Hajrullin, E. V. Nakaryakov // Mavlyutovskie chteniya : Materialy XIX Vserossijskoj molodyozhnoj nauchnoj konferencii. V 8-mi tomah, Ufa, 24–28 noyabrya 2025 goda. — Ufa: Ufimskij universitet nauki i tekhnologij, 2025. — S. 786-797. — EDN HGRFYX.
- [27] YU. YU. Nikiforenko, STATISTICHESKIE METODY V EKOLOGII I PRIRODOPOL'ZOVANII ekoregionah — [Electronic resource] / kubsau.rus — URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/b97/b9762071dbe21967c8a3be879ec1410a.PDF>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [28] Trifonova T.A, Geoinformacionnye sistemy i distancionnoe zondirovanie v ekologicheskikh issledovaniyah. — [Electronic resource] / iprbookshop.ru — URL: <https://www.iprbookshop.ru/110100.html>, (date of access: 05.06.2025). — Access mode: free. — Text: electronic.
- [29] Gvozdev V.E., Hristodulo O.I. Formal'naya procedura analiza svoystv sistemy obrashcheniya s tverdymi kommunal'nymi othodami na osnove polozhenij evergetiki, apparata teorii nadezhnosti i GIS-tekhnologij // International Journal of Open Information Technologies. 2020. T. 8. № 10. C. 90-96.