

# НОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ PHOTOMOD NEURO И PHOTOMOD RADAR NEURO — РАСПОЗНАВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕЙ

**Д.В. Василенко** (АО «Ракурс»)

В 2022 г. окончил Физтех-школу аэрокосмических технологий Московского физико-технического института по специальности «прикладные математика и физика». С 2021 г. работает в АО «Ракурс», в настоящее время — программист-разработчик.

**Б.С. Савченко** (АО «Ракурс»)

В 2021 г. окончил Физтех-школу аэрокосмических технологий Московского физико-технического института по специальности «прикладные математика и физика». С 2019 г. работает в АО «Ракурс», в настоящее время — ведущий программист.

**А.Ю. Сечин** (АО «Ракурс»)

В 1980 г. окончил факультет управления и прикладной математики Московского физико-технического института по специальности «динамика полета и управление». С 1994 г. работает в АО «Ракурс», в настоящее время — научный директор. Кандидат физико-математических наук.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также продукция, созданная на их основе, в настоящее время широко применяются для решения различных научных и прикладных задач. Текущий этап развития отрасли ДЗЗ характеризуется ростом количества запускаемых космических аппаратов, предназначенных для съемки поверхности Земли, земных покровов в широком спектре электромагнитного излучения, в том числе в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазонах. Для получения данных ДЗЗ высокого разрешения используется съемка с самолета или БПЛА. К наиболее перспективным системам получения изображений земной поверхности относятся активные датчики, такие как радиолокаторы

(РСА) космического и авиационного базирования и системы воздушного и наземного лазерного сканирования (лидары).

По сравнению с оптическими и инфракрасными средствами наблюдения радиолокационная и лидарная съемка имеют следующие преимущества:

- независимость получения данных от погодных условий и времени суток;

- оперативность получения информации о состоянии местности и объектов;

- высокая разрешающая способность;

- гибкость управления и возможность изменения параметров, позволяющих варьировать положение и размеры зоны обзора, разрешающую способность и формы представления информации.

Кроме того, радиолокационная съемка позволяет использовать не только амплитудные, но и фазовые характеристики принимаемого сигнала для анализа данных и др.

Перечисленные преимущества делают использование радиолокационных изображений и лидарных данных востребованными при решении различных отраслевых задач. Комплексирование указанных данных с оптической съемкой дает существенный прирост аналитической информации о поверхности Земли и происходящих природных и антропогенных процессах.

Распознавание и классификация объектов являются важной частью функциональных возможностей фотограмметрических, картографических и

геоинформационных систем. Выделяют следующие типы результатов распознавания:

- получение количественной информации об объектовом составе;

- получение контуров объектов распознавания;

- определение класса (классификация) объектов распознавания.

Результаты распознавания и классификации могут быть использованы для решения прикладных задач, таких как:

- задачи, решаемые в технологических процессах фотограмметрической обработки данных ДЗЗ, например, «сшивка» изображений, построение цифровой модели рельефа, 3D-моделей и др.;

- задачи выявления количественных и качественных изменений (change detection);

- задачи быстрого картографирования территорий: системы распознавания хоть и не способны в настоящее время заменить оператора-дешифровщика, но существенно увеличивают производительность процессов векторизации;

- измерительные задачи: измерение количества объектов, их площадей, объемов, протяженности и т. п.

В компании «Ракурс» разработаны и интегрированы в ЦФС PHOTOMOD два новых программных комплекса: PHOTOMOD Neuro — для обработки лидарных данных и PHOTOMOD Radar Neuro — для обработки радиолокационных данных. Они реализуют автоматизацию процесса поиска и классификации объектов на лидарных данных и радиолокационных снимках с использованием нейросетевых технологий.

Оба программных решения построены по модульному принципу и состоят из нескольких модулей. Рассмотрим их более подробно.

#### ▼ PHOTOMOD Neuro — комплекс нейросетевой обработки лидарных данных

Основными модулями комплекса PHOTOMOD Neuro являются следующие: модуль разметки облака точек, модуль обучения нейронной сети и модуль классификации. Они работают с

облаками точек, полученными как фотограмметрическим методом, так и с помощью лазерного сканирования (лидарной съемки).

Модуль разметки служит для разметки облаков точек в ручном режиме (рис. 1). Созданные инструменты позволяют удобно и быстро разметить облака точек.

Обучение нейронных сетей проводилось на основе трех разных наборов данных. В качестве первого был выбран доступный для загрузки набор данных SensatUrban, который представляет собой фотограмметрическое облако точек на городские территории, построенное по высококачественным аэрофотоснимкам, полученным с помощью профессиональной картографической системы БПЛА. Для обучения второй нейронной сети применялось размеченное вручную облако точек, полученное в результате лазерного сканирования (облако «раскрашивалось» по аэро-снимкам, снятыми одновременно со сканированием). В третьем случае использовались фотограмметрические облака точек, построенные по данным космической съемки высокого разрешения.

Для обучения нейронных сетей и их тестирования применялись только отклассифицированные наборы данных. Обучение проводилось по части данных, а оставшиеся данные использовались для оценки качества классификации.

С помощью обученных нейронных сетей проводилась классификация объектов по каждому типу облаков точек, результаты которой приведены на рис. 2–4. Для оценки качества классификации использовались следующие метрики: точность и объединение над пересечением (IoU или коэффициент сходства Жаккара). Значения метрик для различных

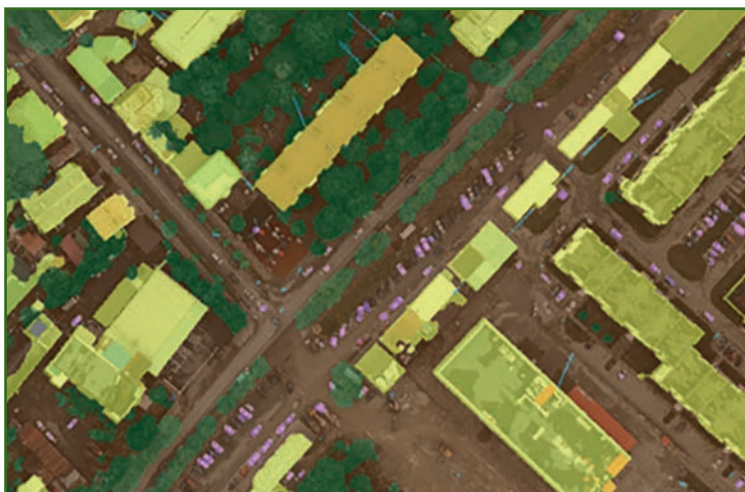


Рис. 1

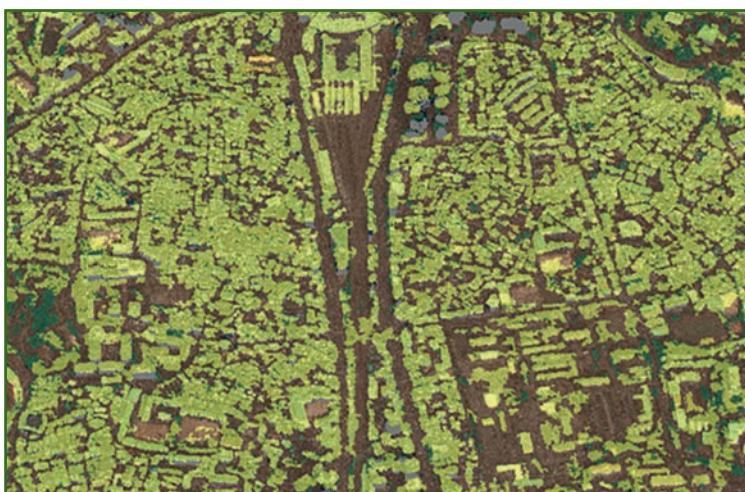
Пример ручной разметки облака точек



**Рис. 2**  
Результат классификации фотограмметрического облака точек — съемка с БПЛА (Подмосковье)



**Рис. 3**  
Результат классификации облака точек лидарных данных



**Рис. 4**  
Результат классификации фотограмметрического облака точек — съемка с КА Pleades

**Оценка качества классификации по фотограмметрическим облакам точек (съемка с БПЛА)** Таблица 1

Класс	Точность, %	IoU, %
Земля	98	89
Деревья	60	59
Здания	92	81
Автомобили	86	40
Итого	87	78

**Оценка качества классификации по облакам точек лазерного сканирования** Таблица 2

Класс	Точность, %	IoU, %
Земля	99	87
Деревья	94	92
Здания	77	75
Автомобили	58	54
Провода	99	30
Итого	91	85

**Оценка качества классификации по фотограмметрическим облакам точек (космическая съемка высокого разрешения)** Таблица 3

Класс	Точность, %	IoU, %
Земля	78	68
Деревья	23	21
Здания	76	52
Итого	75	61

наборов данных приведены в табл. 1–3.

Как видно из этих таблиц, во всех случаях объекты, вошедшие в обучающие выборки, распознавались с высокой точностью.

▼ **PHOTOMOD Radar Neuro** — комплекс нейросетевой обработки радиолокационных данных

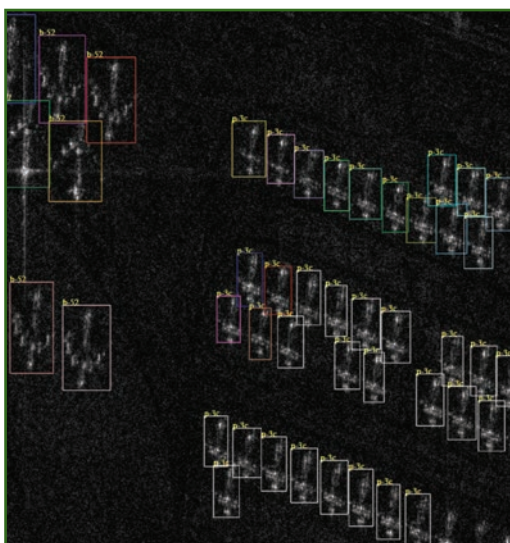
В PHOTOMOD Radar Neuro реализовано два подхода к

Результаты обнаружения и классификации объектов, относящихся к классу самолетов, по типам

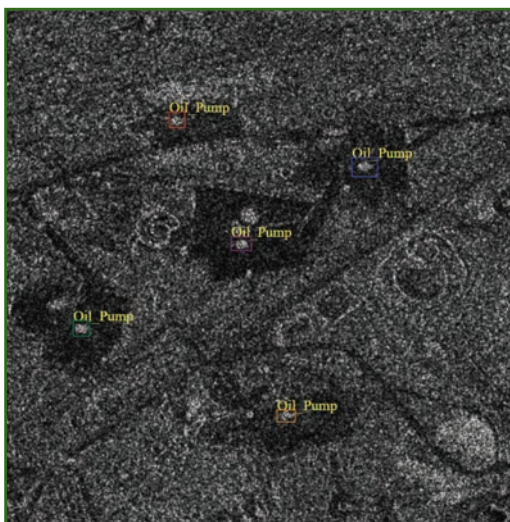
Таблица 4

Тип	Порог	Всего, ед.	Пропуск, ед.	Ошибочно определенный тип, ед.	Оценка обнаружения, %
P-3C	0,96	310	18	16	94,2
B-52	0,8	12	2	3	83,3
KC-135	0,955	96	3	6	96,9
C-5	0,993	16	0	2	100

обнаружению и классификации объектов.



**Рис. 5**  
Фрагмент изображения с обнаруженными нейронной сетью самолетами



**Рис. 6**  
Фрагмент изображения с обнаруженными нейронной сетью нефтяными вышками

Первый подход основан на корреляционном анализе и включает два модуля: редактор эталонов и коррелятор эталонов. Редактор эталонов позволяет по входной 3D-модели объекта-интереса сформировать его предположительный (синтетический) радиолокационный портрет. Расчет проводится с учетом ключевых характеристик радиолокатора и условий наблюдения. Коррелятор эталонов с использованием входного синтетического эталона решает задачу поиска объектов на радиолокационном изображении методом анализа их взаимной корреляционной функции.

Второй подход основан на нейросетевой обработке радиолокационных данных. Для формирования обучающей, тестовой и валидационной выборки в PHOTOMOD Radar Neuro включен модуль разметки радиолокационных изображений. Обучение и использование полученной модели осуществляется в соответствующих модулях обучения и обнаружения.

Модуль разметки радиолокационных изображений служит для разметки в ручном режиме радиолокационных изображений и выделения на них требуемых объектов. Размеченные таким образом изображения формируют наборы данных, которые могут быть использованы как для обучения нейронной сети, так и для валидации ре-

зультатов работы автоматических алгоритмов распознавания.

Модуль обучения нейронной сети на выходе формирует конфигурационный файл и файл весовых коэффициентов нейронной сети.

Модуль обнаружения объектов, обрабатывая радиолокационные изображения обученной ранее моделью, локализует и классифицирует объекты. В настоящее время библиотека образов радиолокационных изображений включает следующие классы: морские суда, самолеты и нефтяные вышки.

Результаты работы нейронной сети — фрагменты с обнаруженными объектами, относящимися к определенному классу, представлены на рис. 5, 6.

В табл. 4 представлены результаты обнаружения и классификации объектов, относящихся к классу самолетов, по типам.

Алгоритмы классификации данных дистанционного зондирования Земли, основанные на использовании искусственного интеллекта и успешно реализованные в ЦФС PHOTOMOD, позволяют оперативно и с высокой точностью дешифровать объекты местности.

Подробная информация о комплексах PHOTOMOD Neuro и PHOTOMOD Radar Neuro и условиях их приобретения доступна на сайте компании «Ракурс» <https://racurs.ru>.