

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Рыльский И.А.¹, Грибок М.В.², Еремченко Е.Н.³, Панин А.Н.⁴

Email: Rylskiy690@scientifictext.ru

¹Рыльский Илья Аркадьевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник;

²Грибок Марина Владимировна – кандидат географических наук, научный сотрудник;

³Еремченко Евгений Николаевич – научный сотрудник,

Региональный центр Мировой системы данных,
географический факультет;

⁴Панин Александр Николаевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, доцент,

Научно-исследовательская лаборатория комплексного картографирования,
географический факультет,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва

Аннотация: в статье анализируются этапы информационного обеспечения проектов по созданию карт территорий, соответствующие этапам развития производительных сил общества и социально-экономических формаций. Рассматривается современная проблематика информационного обеспечения хозяйственной деятельности в условиях постиндустриального общества и развития цифровой экономики. Особой чертой данного этапа развития общества является то, что это некая новая экономическая формация, в которой развитие цифровых технологий означает развитие экономики. Также предполагается, что отсутствие развития цифровых технологий приведет к стагнации. На основании описанной выше тесной взаимосвязи между информационным обеспечением пространственными данными и экономической формацией, можно сделать вывод, что в реалиях цифровой экономики информационное обеспечение пространственными данными должно быть каким-то принципиально иным, не таким, как раньше.

Ключевые слова: лазерное сканирование, пространственные данные, геоинформатика, цифровая экономика.

LIDAR TECHNOLOGIES AND GEOSPATIAL DATA SUPPLY DURING DIGITAL ECONOMY EPOCH

Rylskiy I.A.¹, Gribok M.V.², Eremchenko E.N.³, Panin A.N.⁴

¹Rylskiy Ilya Arkadievich – PhD in Geography, Senior Researcher,;

²Gribok Marina Vladimirovna – PhD in Geography, Researcher,;

³Eremchenko Eugeny Nikolaevich - Researcher,

WORLD DATA SYSTEM,
GEOGRAPHICAL FACULTY;

⁴Panin Alexander Nikolaevich – PhD in Geography, Senior Researcher,

WORLD DATA SYSTEM,
GEOGRAPHICAL FACULTY,

LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY,
MOSCOW

Abstract: in the article authors analyze the stages of information support for projects focused on the creation of territory maps corresponding to the stages of development of the productive forces of society and socio-economic formations. The current issues of information support of economic activity in the conditions of a post-industrial society and the development of the digital economy are considered. A special feature of this stage of the development of society is that it is a kind of new economic formation in which the development of digital technologies means the development of the economy. It is also assumed that the lack of development of digital technologies will lead to stagnation. Based on the close relationship described above between the provision of spatial data and the economic formation, it can be concluded that in the realities of the digital economy, the provision of spatial data should be somehow fundamentally different, not so like before.

Keywords: LIDAR, spatial data, geoinformatics, digital economics.

УДК 004.67:910.27(075.8)

1. Общая оценка источников сбора пространственных данных, наиболее распространенные решения.

1.1. Прошедшие этапы информационного обеспечения

Развитие экономики и производительных сил общества на большей части исторического периода напрямую зависело от знаний о пространстве, которое окружает человека, и от средств его познания. Так, знания европейцев, полученные в эпоху Великих Географических открытий более чем на 500 лет обеспечили Европу ресурсной базой для развития и превосходства западной цивилизации. Сведения о территориях к востоку от Урала, собранные русскими землепроходцами, обеспечили их быстрое включение в состав России и ее экономическое и военное доминирование на этих землях. Этот этап получения и использования пространственных данных можно назвать **«информационное обеспечение в целях колонизации ресурсов»**. Целью данного этапа было создание хоть каких-то карт земель, что позволяло планировать последующие экспедиции или хотя бы провести демаркацию границ (демаркация отдельных участков границ Боливии, Венесуэлы завершилась только в 1920-е годы). Отметим, что с точки зрения общей производительности с 15-го по 19-й век включительно принципиальных изменений не произошло: картографированием занимались люди, машины для этого не применялись. Говоря о масштабах, речь шла в лучшем случае об уровне 1:1000 000. Геопривязка данных была делом весьма медленным и неточным (первые точные измерения долготы удалось сделать только в экспедициях Кука). Выполнение подобных проектов по информационному обеспечению требовало напряжения усилий на уровне целых государств (экспедиции Кука, Колумба, Лаперуза) или транснациональных компаний (например, экспедиции Ост-Индской компании). Конечные результаты учета даже стратегических ресурсов (например, учет лесов в Российской Империи) могут быть представлены в виде всего лишь 7-8 карт за 200 лет [1, с. 3059].

Позднее, в 20-м веке, для сбора пространственных данных и для их обработки начинают применяться машины. Самолеты-аэрофотосъемщики, специализированные корабли с эхолотами и тому подобные аппаратные комплексы, а также первые компьютеры – все они позволили увеличить поток пространственной информации в тысячи раз. Так, с появлением аэрофотосъемки – наиболее развитые страны начали собственные программы топографического и комплексного картографирования территорий (в первую очередь, с целью поиска полезных ископаемых и обеспечения возможности управления этими территориями). К 1980-м годам этот процесс был в основном завершен практически на территории всего земного шара. Аналогичные действия в области картографирования океана позволили установить границы шельфовых зон, локализовать подводные месторождения углеводородов, провести оценку рыбных запасов и т.п. Этот этап получения и использования пространственных данных можно назвать **«информационное обеспечение для подготовки к эксплуатации ресурсов»**. Целью данного этапа было создание хотя бы однократного покрытия территорий картографической информацией в масштабе 1:25000-1:200 000 и мельче, что позволяло планировать, скажем, освоение месторождения. Большая часть этих задач решалась в период до массового распространения персональных компьютеров, находилась в ведении крупных окологосударственных структур и не доводилась до широкого круга людей (не считая специалистов). На этом этапе производительность в части сбора пространственных данных возросла не несколько порядков. Появление пленочной космической съемки в целом следует относить скорее к уже описанному этапу, поскольку массовый этот вид данных так и не стал (ввиду ограниченности количества пусков и запасов пленки на борту). Если говорить о скорости пространственной привязки данных, то она возросла по сравнению с предыдущим этапом за счет использования и развития геодезических сетей, тахеометров, гироскопических устройств. Эти проекты могли осуществляться на базе крупных промышленных предприятий или специализированных государственных структур (например, ВИСХАГИ, или Национальная геологическая служба США).

Запуски электронно-оптических сенсоров на спутниках серии Landsat и им подобных, на авиационных носителях (широкоформатные цифровые камеры и авиационные ПЗС-сканеры), а также появление и массовое распространение персональных компьютеров и ГИС открыли около 1995 года новую эру **«информационного обеспечения для мониторинга эксплуатации ресурсов»**. На этом этапе стало возможным ставить задачи по оценке изменений в ландшафте под воздействием хозяйственной деятельности, вести экологический мониторинг, отслеживать динамику населенных пунктов с детальностью до отдельных домов: работа в масштабе 1:5000 по спутниковым снимкам стала возможной начиная с 2001 г. (запуск QuickBird, детальность 61 см. Повторяемость снимков и возможность обработки электронных данных отдельными группами лиц с использованием ГИС-пакетов привела к взрывному распространению и увеличению в объеме пространственных данных. Развитие компьютеров, Интернета и экспоненциальный рост объемов хранимой и передаваемой информации за период между 1995 и 2010 годом [6, с. 439] вывели ситуацию с количеством данных на новый уровень. Скорость геопривязки возросла очень сильно – за счет повсеместного использования глобальных навигационных систем, RPC-коэффициентов для привязки спутниковых данных, и начала использования бесплатформенных инерциальных систем (БИНС). При этом создание проектов по подобному информационному обеспечению стало доступно коллективам от нескольких десятков человек.

1.2. Информационное обеспечение в настоящем

Как видим, на предшествовавших этапах появление все более совершенных и производительных средств сбора пространственной информации шло параллельно с развитием подходов к качеству управления территориями. По нашему мнению, качество информационного обеспечения пространственными данными напрямую влияет на качество управления. Нет никаких карт – нет власти. Есть какие-то схемы, Большие чертежи, портоланы - есть власть, но нет промышленной эксплуатации. Есть нормальные карты, но нет мониторинга – есть промышленная эксплуатация территорий без контроля за производством и его воздействием. Есть мониторинг этого производства раз в несколько лет – есть и контроль за экологической обстановкой, и промышленное освоение, и власть...чего не хватает? *Оптимизации и скорости реакции* на меняющуюся обстановку.

Сейчас (начиная примерно с 2015 года) можно констатировать начало нового технологического этапа в деле сбора пространственных данных, когда технические средства стали позволять взяться за решение задач по оптимизации процессов хозяйственной деятельности и быстрому обеспечению информацией при изменении обстановки. Наступил этап «**гибкого информационного обеспечения для оптимизации и коррекции эксплуатации ресурсов**». Этот этап можно охарактеризовать переходом на еще больший уровень детальности – от 1:1000 до 1:100, больший уровень оперативности (периодичность получения данных от раз в несколько недель до раз в несколько часов) и больший уровень гибкости (получение подобных данных в массовых масштабах доступно для коллективов в несколько человек).

Таблица 1. Периодизация этапов информационного обеспечения пространственными данными

Назначение информационного обеспечения	Для колонизации ресурсов (Этап 1)	Для подготовки к эксплуатации ресурсов (Этап 2)	Для мониторинга эксплуатации ресурсов (Этап3)	Для оптимизации и коррекции эксплуатации ресурсов (Этап 4).
Эпоха	1490-1920 г.г	1920 – 1995 г.г.	1995 – 2015 г.г.	2015 г.г. – настоящее время
Длительность	Более 500 лет	Примерно 75 лет	Примерно 20 лет	Неизвестно
Масштабные уровни, типичные для решения задач эпохи	1:1000 000 – 1:20 000 000	1:25000 – 1:200 000	1:2000 – 1:25000	1:100 – 1:1000
Метод сбора данных-«визитная карточка»	Мензульная съемка, фототеодолитная съемка, тахеометрия	Аэрокосмические аналоговые съемки, эхолокация	Сверхдетальная космосъемка, ГНСС, цифровая АФС	Лазерное сканирование, БПЛА, бесплатные пространственные данные (OSM)
Методы хранения и обработки данных	Ручное создание карт без масштаба или с соблюдением масштаба в плане (карты Корпуса Военных топографов)	Создание крупных серий аналоговых карт с соблюдением масштаба в плане и точной передачей высот	Создание крупных наборов ГИС-данных и баз геоданных общеземного охвата (SRTM, DCW, Google Earth)	Облачные структуры хранения, сервисы геоданных, веб-порталы для публикации или обработки геоданных
Что осталось от эпохи	Отдельные карты или их небольшие серии, представляющие интерес в том числе и как произведения искусства	Мелкомасштабные атласы и крупные серии аналоговых карт	Широкодоступные готовые ГИС и ГИС-пакеты	Эпоха не закончилась
Типы экономики, примерно соответствующие периодам	Аграрная, позднее – индустриальная	Индустриальная	Постиндустриальная экономика	Цифровая экономика

2.Проблематика существующих решений в части информационного обеспечения нужд цифровой экономики.

Примеры определений цифровой экономики за рубежом весьма разнообразны и далеки от единства [2, с. 34]:

«...Глобальная сеть экономических и социальных видов деятельности, которые поддерживаются благодаря таким платформам, как Интернет, а также мобильные и сенсорные сети» (трактовка правительства Австралии, 2009).

«..Новый уклад экономики, основанной на знаниях и цифровых технологиях, в рамках которой формируются новые цифровые навыки и возможности у общества, бизнеса и государства» (Всемирный банк, 2016).

«Экономика, в которой благодаря развитию цифровых технологий наблюдается рост производительности труда, конкурентоспособности компаний, снижение издержек производства, создание новых рабочих мест, снижение бедности и социального неравенства (Всемирный банк, 2016).

Российская Википедия понимает цифровую экономику следующим образом:

Цифровая экономика (веб-, интернет-экономика, электронная экономика) — экономическая деятельность, основанная на цифровых технологиях, связанная с электронным бизнесом и электронной коммерцией, и производимых и сбываемых ими цифровыми товарами и услугами. Расчёты за услуги и товары цифровой экономики производятся зачастую электронными деньгами [4, с. 5].

В 1995 году Николас Негропonte использовал метафору о переходе от обработки атомов к обработке битов, отмечая о недостатке классических товаров в «физическом» воплощении (вес, сырьё, транспорт) и преимуществах новой экономики (отсутствие веса товаров, виртуальность, почти не нужное сырьё, мгновенное глобальное перемещение). Ну, и так далее...

Общей чертой большинства определений является то, что это **некая новая экономическая формация, в которой развитие цифровых технологий означает развитие экономики**. Также, видимо, предполагается что отсутствие развития цифровых технологий уже не приведет к росту экономики.

На основании описанной выше тесной взаимосвязи между информационным обеспечением пространственными данными и экономической формацией, логично сделать вывод, что в реалиях цифровой экономики информационное обеспечение пространственными данными должно быть каким-то принципиально иным, не таким как раньше.

По нашему мнению, это отличие состоит в том, что в предшествовавшие эпохи пространственная информация использовалась для тех или иных действий по работе с ресурсами. В эпоху цифровой экономики сами данные также являются ресурсом, и представляют ценность вне материально-технического контекста.

Однако пространственные данные начинают представлять собой ценность не сразу, а после достижения определенного уровня охвата той или иной сферы. Например, ценность единичного космического снимка по сравнению с глобальным покрытием снимками ничтожна; а несколько однотипных покрытий глобального охвата – это еще более ценно.

То же самое можно сказать и о детализации данных. Детальность данных на уровне километров делает их интересными только на уровне стратегических решений или глобальных научных исследований (например, данные NOAA). Детальность на уровне 1 метра увеличивает количество потенциальных пользователей до миллионов. Детальность покрытий на уровне 10-1 см доведет количество пользователей до миллиардов, то есть – всего населения земного шара. И вот где-то в этот момент или незадолго до него эти данные станут самостоятельной ценностью и ресурсом.

Отметим, что и сейчас, и в предшествовавшие эпохи, *комплексы* сбора пространственных данных всегда представлены парой «носитель+сенсор». В эпоху Великих Географических открытий носителем был обычно корабль (или тягловая сила), а сенсором – человек и его навыки. Медленный носитель, медленный сенсор, малое число комплексов. Затем скорость сенсоров возросла (самолеты, корабли оснащенные турбинами, и т.п.), возросла производительность сенсоров (камеры, эхолоты), и возросло их число. Переход на электронно-оптические технологии сбора данных (когда сенсор способен отснять и передать пользователю практически бесконечное количество кадров по сравнению с очень ограниченным запасом аналоговых носителей информации) и установка их на спутники привели к еще большим скоростям движения, большому набору данных, большей точности привязки. И самих этих комплексов стало также гораздо больше.

Помимо скоростных и производительных характеристик, можно отметить еще одну особенность – рост требований к размерности данных. Действительно, карты эпохи 15-18 веков не пытались даже соблюдать точный масштаб, и лишь в середине 19 века точность рисовки в плане становится высокой, а рельеф отображается схематично (например, штриховым способом). На третьем этапе рельеф отображается полноценно (горизонтали) и точно, но карты остаются «плоскими», как и ГИС-слои [3, с. 276]. Но на четвертом этапе пользователи уже нуждаются в полноценных 3Д-данных, обладающих очень высокой подробностью.

Конечно, каждый раз появление новых комплексов «носитель-сенсор» обусловлено не только технологическими возможностями, но и недостатками предыдущего поколения этих комплексов. В чем проблема спутникового снимка? Низкая детальность, зависимость от хорошей (идеальной) погоды, не самая высокая точность привязки. В чем проблема цифровой съемки с пилотируемого самолета? Низкий охват, низкая оперативность (организация залета требует много времени), высокая стоимость.

Ответ на эти недостатки – появление в последние 5-6 лет дешевых, простых и удобных для неподготовленных людей НОСИТЕЛЕЙ - беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и взрывной рост

их количества. Уже сейчас можно констатировать, что **именно БПЛА станут той платформой, на которой будут обеспечиваться новые, сверхдетальные и полностью трехмерные покрытия городов и иных территорий планеты.** Собственно, это частично и знаменует начало нового этапа: «Информационного обеспечения для оптимизации и быстрого реагирования при эксплуатации ресурсов».

Но для нового этапа **нужен комплекс:** «носитель» + «сенсор». С носителями примерно понятно, это БПЛА. А что с сенсорами? У ранее применявшихся и наиболее широко распространенных сенсоров есть один недостаток, который не изменился практически со времен колонизации. Это одно- или двумерность данных, получаемых в ходе съемки.

Действительно, геодезист в ходе наблюдений в поле напрямую фиксирует дальность и углы, и лишь потом из этих материалов можно создать плоскую карту или трехмерную модель (причем с очень высокими затратами). Пленочная камера, космический сканер, цифровой фотоаппарат – все они дают двумерное изображение. И даже радарные данные в основном используются как изображение, но не как пространственно-трехмерный набор данных. Высоты при этом определяются старым добрым способом – стереофотограмметрическим методом. Метод, безусловно, хорош. Но он имеет необоримые недостатки. Он не применим ночью, на залесенной местности, под водой. Очень плохо применим в снегах или при наличии дымки. Он требует огромного объема вычислений.

Тем не менее, все виды камер (каждая в своем сегменте) незаменимы – регистрируемая ими информация о спектральных отражающих свойствах объектов крайне важна для дешифрирования свойств объекта или его границ. Было бы неразумным отказываться от камер. Но было бы логичным их дополнить чем-то, что нивелирует их недостатки – сенсором, который дает действительно трехмерные данные. И чтобы при этом он помещался на БПЛА. Начиная с 2014 г., такие сенсоры появились. **Это воздушные лазерные сканеры для беспилотных летательных аппаратов.**

3. Перспективные технические средства сбора пространственных данных.

3.1. Общие сведения о лазерных сканирующих системах

Как метод, лазерное сканирование появилось еще в конце 1990-х годов. Концептуально лазерная сканирующая система включает в себя собственно лазерный сканер (дальномер с разверткой в одной плоскости на углы от 50 до 360 градусов), БИНС- бесплатформенную инерциальную навигационную систему (используется для аппаратного измерения угловых элементов внешнего ориентирования и позиционирования по данным акселерометрических измерений), высокоточный приемник ГНСС (ГЛОНАСС-GPS, используется для определения положения в пространстве и коррекции показаний БИНС), средства записи данных и управления режимами работы. С системой воздушного лазерного сканирования может быть сопряжена фотокамера (в видимом или ином спектральном диапазоне) или несколько других пассивных сенсоров. Существуют системы, имеющие в составе 1, 2 (Riegl 1560) или 3 лазерных дальномера (Riegl VMX RAIL), а также системы с разными длинами волн (Riegl 1560DW, Ortech TITAN).

Все системы лазерного сканирования можно подразделить на кинематические (ставятся на летательные аппараты, движущиеся наземные или водные транспортные средства), и статические – в процессе съемки не меняют своего положения. Скорость получения данных у наиболее совершенных систем достигает до 2000 000 точек в секунду, дальность действия колеблется от 20 до 2000 м, отдельные изделия позволяют получать данные на дистанциях до 6000 м и более (Riegl VQ6000).

Измерение дальности происходит на основе измерения времени прохождения лазерного импульса, и аппаратных измерений элементов внешнего ориентирования всей системы. Это позволяет позиционировать точку отражения лазерного луча с абсолютной точностью на уровне лучше 3-5 см в общеземных системах координат, при этом относительная точность измерений сканера («шум») может быть на уровне 5-20 мм для движущихся систем, и менее 1 мм – для статических систем. Получаемые в результате облака точек лазерных отражений отличаются высочайшей плотностью, позволяя в буквальном смысле слова видеть и измерять головки болтов, ручки дверей, отдельные провода, изоляторы и тому подобные объекты. Параллельно с лазерным сканированием системы всех типов выполняют фотосъемку с ее одновременной геопривязкой и «наложением» на данные лазерного сканирования [5, с.27].

3.2. Эволюция воздушных лазерных сканеров.

Несмотря на столь впечатляющие характеристики, до недавнего времени воздушные лазерные сканирующие системы имели ощутимый недостаток – большую массу, исключающую возможность их установки на компактные БПЛА. Так, комплект Leica ALS40 весит более 100 кг. Однако начиная с 2014 года на рынке стали появляться весьма компактные системы с точностью, аналогичной вышеприведенной. Вес итоговых систем (не сканера, а всей системы в сборе) последовательно снижался до 8, 6.5, 4.5, 2.7 кг. На сегодняшний день наиболее совершенное изделие – Riegl miniVUX-2UAV обеспечивает шум на уровне 10-15 мм, дальность до 200 м и скорость до 200 000 точек в секунду, при этом он может быть установлен на «ширпотребный» дрон DJI Matrice 600 без каких-либо доработок.

Обратим внимание, что по скорости данный прибор сопоставим со скоростью наиболее быстрых изделий, существовавших 10 лет назад и весивших более 100-150 кг.

Более тяжелый – целых 8 кг – лазерный комплекс Riegl VUX240 –обеспечивает скорость на уровне наиболее совершенных систем (до 1800 000 точек в секунду), проигрывая им только в дальности (дальность сканирования до 1900 м), но выигрывая по массе примерно в 12 раз. И он также может быть использован на БПЛА с взлетной массой до 30 кг.

Наиболее компактные системы – на базе сканирующего сенсора Velodyne VLP-16 – весят около 1.5 кг. Впрочем, за снижение массы пришлось заплатить дальностью (не более 150 м) и высоким пространственным шумом (у большинства экземпляров до 100 мм).

Все вышеописанные системы могут оснащаться любыми пассивными сенсорами. Так, системы на практике оснащаются одной или несколькими фотокамерами, компактной видеокамерой (наподобие GoPro), компактным наблюдательным тепловизором или многозональной камерой (наподобие Sequoia или Micasense Rededge-MX). Потенциально может быть также использован и компактный гиперспектральный сканер (например, Resonon Pika-L или Cubert S 185 – FirefLYE SE).

3.3. Развитие БПЛА для лазерного сканирования.

Сами беспилотные системы, на которые потенциально может быть установлено подобное оборудование, с 2014 года претерпели серьезные изменения. Именно в это время начинается взрывной рост количества БПЛА компактного класса, которые способны носить цифровую камеру с неплохим качеством изображения, при этом обладая высокой стабильностью. БПЛА основных типов (вертолеты, самолеты и мультикоптеры) существовали и до этого, однако их стабильность была либо чрезвычайно низкой (это требовало очень высокого уровня пилотирования носителя от оператора, что ограничивало массовость использования), либо стоило крайне дорого (дрон весом 1-2 кг с полезной нагрузкой на уровне 200-300 граммов с высококачественной стабилизацией полета в 2009 г. стоил до 60 000 евро за единицу).

Появление надежных контроллеров полета, встраиваемых в автоматические системы управления дронами привело к появлению де-факто эталона надежности: мультикоптеров DJI. С 2013 г. они выпускают легкие коптеры для фотокамер, а с 2015 г. появляются решения (Matrice 600 и аналогичные по ТТХ у конкурентов), способные носить лазерные сканеры. продажи дронов с фотокамерами к концу 2019 г. достигает миллионов единиц, а дронов, оснащенных только лазерными сканерами – нескольких сотен единиц в год. Рост продаж обоих видов оборудования носит экспоненциальный характер.

Впрочем, не все так гладко. Основных проблем у лазерного сканирования с дронов в целом две: сканеры дороги, технологический процесс достаточно сложен для рядового пользователя. Так, стоимость наиболее дешевой системы с использованием лазерного сканера на сегодняшний день составляет около 100 000 долларов США за штуку. Технически для выполнения работ необходим комплекс навыков – от планирования полета и работы с ГИС до знаний в области геодезии и САПР (конечный набор компетенций зависит от итоговых продуктов и целей выполнения съемок). Однако если взглянуть на последние 20 лет – когда технологии лазерного сканирования прошли свое становление на рынке информационных услуг – то можно отметить чрезвычайно «гуманизацию» технологической цепочки; ранее сложность технологии была еще выше.

3.3. Развитие и перспективы технологии лазерного сканирования.

Как уже было отмечено выше, лазерное сканирование может проводиться не только с летательных аппаратов, но и с иных платформ. В этом случае его именуют мобильным лазерным сканированием. На конец 2019 г. существуют специализированные решения под использование на железных дорогах, автомобильных средствах передвижения, гусеничной технике, для переноски и работы во время ходьбы на спине человека. Созданы решения для статического сканирования на огромном диапазоне расстояний. Предельные скорости съемки давно перешагнули отметку в 1000 000 измерений в секунду. Что ждет эту технологию впереди?

В целом, любые технологии обычно проходят несколько стадий (при непрерывном прогрессе в системе «цена-характеристики-численность»):

Стадия 1 – «Гадкие утята» - технология только появилась, имеет массу недостатков, основная цель – доказательство ее нужности и жизнеспособности; высокая сложность, непрогнозируемая стоимость.

Стадия 2 – «Больше и сильнее» - взрывное развитие по разным направлениям, быстрый рост характеристик, высокая стоимость, предельно возможные характеристики любой ценой;

Стадия 3 – «Специализированные и персональные решения» - по причине достижения пределов развития технологии, появляются отдельные решения с улучшенными (за счет ухудшения других свойств) характеристиками; цена – тоже подобная характеристика. Решения становятся существенно дешевле.

Стадия 4 – «Вездесущность, гибридность, переходящие в новое качество» - технологии одновременно настолько дешевеют и наращивают свои возможности, что становятся не только доступны каждому

человеку, но и позволяют перейти в принципиально новое качество, сливаясь в некие гибриды с другими технологиями. Конец этой стадии обычно венчает появление какой-либо еще технологии на стадии 1

Таблица 2. Стадии развития некоторых технологий

Технология	Стадия 1. «Гадкие утята»	Стадия 2. «Больше и сильнее»	Стадия 3. «Специализированные решения»	Стадия 4. «Вездесущность, гибридность, новое качество»
Летательные аппараты с поршневыми двигателями	Фанерно-тряпочные самолеты 1900-х годов. Пример: самолет братьев Райт, с трудом пролетающий 10-20 км. Цена невелика. Численность - десятки	Многомоторные «летающие крепости», плод конструкторских усилий сверхдержав. Пример: Б-29, с которого бомбили Хиросиму. Огромная стоимость. Численность – тысячи	Универсальные транспортные самолеты (Ан-2), легкие спортивные самолеты (Pitts, Як-18Т), любительские самолеты (Cessna 172). Стоимость на уровне нескольких годовых зарплат 1 человека. Численность – десятки тысяч.	Парапланы с мотором. Стоимость – на уровне одной или нескольких месячных зарплат одного человека. Численность – сотни тысяч экземпляров. Гибридность проявляется в сочетании технологий планера и сверхлегкого моторостроения
ЭВМ	Машины Бэббиджа или Фон Неймана	БЭСМ-6, мэйнфреймы	Персональный компьютер	Планшеты, КПК, смартфоны. Гибридизация проявляется в слиянии свойств компьютера, фотокамеры, телефона
Легковые автомобили	Паровые самодвижущиеся повозки конца 19 века	Масл-кары	Джипы, кроссоверы, автомобили компактных классов, особо малые (Smart) и т.п.	Гибридные (Toyota Prius) или электрические (Tesla) автомобили. Гибридизация – в смешении типов энергетической установки и компьютерных технологиях управления ими
Лазерное сканирование	Первые профилографы и отдельные измерения (лазерная локация Луны в 1960-е)	Тяжелые воздушные системы (конец 1990-настоящее время) и наземные системы с максимальной дальностью съемки	Сканеры для БПЛА; устройства для работы на больших высотах, переносные мобильные сканеры, гибридные сканеры	<i>Стадия еще не наступила</i>

Стадия 4 для лазерного сканирования пока не наступила, но исходя из приведенных примеров и ранее наблюдавшихся схем эволюционирования, можно предположить, что лазерный сканер будущего (естественно, в определенных диапазонах характеристик) будет:

- вероятно, персональным - как с точки зрения цены, так и легкости освоения технологий;
- компактным – вероятны габариты на уровне объемов от 1 до 300 см³;
- гибридным с ГНСС-решениями, фотокамерами, средствами высокоскоростной передачи данных (5G и т.п.), компактными инерциальными системами для работы в закрытых средах;
- предназначенным для работы в городской среде на малых (до 50-70 м) дистанциях.

Прослеживаются ли уже сейчас какие-либо возможные конструкторские решения для реализации стадии 4? Предварительный ответ – да, но пока рано говорить о появлении первых приборов подобного типа. Наиболее перспективными технологиями в этом отношении являются:

1. TOF (Time-Of-Flight) камеры – камера, матрица которой регистрирует амплитуду и время прохождения сигнала от лазерной вспышки с широким углом обзора, определяя таким образом дистанцию до каждого из пикселей матрицы, что дает сразу одномоментную 3Д-«картинку». Масса – от десятков до первых сотен граммов.

2. Solid State LIDAR - твердотельные лазерные сканирующие системы без движущихся частей. Управление отклонением луча при этом происходит аналогично радару с антенной с активной фазированной решеткой (АФАР). Масса – от десятков до первых сотен граммов.

3. Мультикамерные фотографические системы с разрешением в 100-300 мегапикселей (прототипы камер для смартфонов с детальностью более 100 Мпикс были представлены в 2019 г.);
4. ГНСС на базе 4 или более систем (более 100 спутников в перспективе)
5. MEMS INS – технология создания высокоточных (до сотых долей градуса) бесплатформенных инерциальных систем (БИНС) на базе микроэлектромеханических систем. Масса – от десятков до первых сотен граммов.
6. Технологии 5G и (вероятно, ближе к 2030 г.) высокоскоростной спутниковый интернет.
7. Нейросетевые технологии для анализа формы и образов на фото и автоматизированного распознавания объектов с использованием не только их текстуры, но и формы (без стереосъемки и ее обработки, что очень ненадежно и затратно по вычислительным ресурсам).
8. Облачные технологии для хранения и пополнения баз геоданных и прочих BigData решений.

Именно подобное сочетание сенсоров (пункты 1, 2, 3), средств пространственной привязки (пункты 4 и 5), средств информационных технологий для передачи (пункт 6) и обработки/хранения данных (7, 8) способны обеспечить фактическую, а не декларативную реализацию концепции цифровой экономики.

4. Выводы

Как же в итоге выглядит мир недалекого будущего и пространственные данные, которые находят в нем применение?

Это общество, в котором количество вполне автономных дронов с массой от 0.5 до 30 кг превышает количество автомобилей. Они, а не наземный транспорт, решают большинство задач – доставку покупок и компактных грузов, визуальный контроль объектов (без присутствия человека), обеспечивают ретрансляцию данных и задействуются при чрезвычайных ситуациях. Они все приспособлены для ориентации в сложных трехмерных средах, предотвращения столкновений между собой и с препятствиями. Они видят трехмерную, идентифицируют объекты и опасности (с помощью лазерных сканеров), анализируют текстуры и передают удаленным пользователям изображение (с помощью фотокамер), они очень точно ориентируются в открытых пространствах и закрытых средах (с помощью связки ГНСС-ИНС) и управляются искусственным интеллектом, предоставляя для облачных сервисов огромные наборы пространственных данных в ходе своего полета и решая свои, вполне бытовые задачи. Однако данные в ходе каждого из этих полетов, сами по себе становятся ценностью – по ним будут лететь другие дроны, частично или полностью повторяющие маршрут; по этим данным будут обновлены трехмерные карты городов и торговых центров, на основании анализа видимых на этих данных объектов (люди, машины, прочее) будут сделаны выводы самых разных сортов – от понимания как сейчас в данном месте перемещаются отдельные люди до того, во что они одеты. В общем, с этими данными будут поступать примерно так же, как с данными поисковых запросов в Google или сведениями в соцсетях. Тогда они сами по себе станут ресурсом и предметом производства одновременно.

Список литературы / References

1. Kuemmerle T., Kaplan J., Prishchepov A. Forest transitions in Eastern Europe and their effects on carbon budgets // *Global Change Biology*, 2015. № 21. С. 3039-3061.
2. Абдрахманова Г., Вишневецкий К., Гохберг Л. Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение, 2019. С. 1-81.
3. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С., под редакцией Тикунова В.С. Геоинформатика: учебник для студентов высших учебных заведений, 2010. С. 1–432.
4. Матвеев И. Электронная экономика: сущность и этапы развития // *Управление экономическими системами: электронный научный журнал*, 2012. 6 (42). С. 1-11.
5. Рыльский И.А., Малеванная М.С. Наземные лазерные методы - новые подходы к информационному обеспечению географических исследований // *Геодезия и картография*, 2014. № 5 (4). С. 23-34.
6. Тикунов В.С., Капралов Е.Г., Кравцова В.И. Информатика в географии, экологии и природопользовании, 2013. С. 1– 572.