

БАТИМЕТРИЧЕСКИЕ ЛАЗЕРНЫЕ СКАНЕРЫ

Рыльский И.А.¹, Вербовский В.В.², Груздев Р.В.³, Парамонов Д.А.⁴

¹Рыльский Илья Аркадьевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник,
Региональный центр Мировой системы данных,
Географический факультет

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
²Вербовский Виталий Викторович – заместитель генерального директора,
ООО «АртГео»,
г. Москва

³Груздев Роман Викторович, кандидат геолого-минералогических наук,
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
г. Чита.

⁴Парамонов Дмитрий Андреевич – кандидат географических наук, заместитель генерального директора,
ООО «Проектстрой»,
г. Москва

Аннотация: выполнение высокоточного картографирования дна водоемов и сложных прибрежных и пресноводных ландшафтов (таких, как зоны распространения коралловых рифов, скал, приливно-отливные полосы, пойменные и речные комплексы) является нечастой, но крайне важной и трудоемкой задачей. Применяемые для этой цели комплексы эхолокации имеют большое количество ограничений как по глубине работы (невозможна съемка слишком мелких или опасных акваторий), так и по производительности. Точность измерений и их подробность с учетом прочих факторов (качка, ограничения метода) также не является высокой. Современные технологические решения привели к появлению в последние годы нового класса приборов для решения этих задач – батиметрических лазерных сканеров. Указанные приборы имеют специфические характеристики и способы применения, поэтому нуждаются в отдельном рассмотрении. Не являясь абсолютно универсальным прибором, данные системы обладают очень высокой производительностью и возможностью работы не только на значимых глубинах, но и в комплексных средах, в которых суша постоянно перемежается с водой.

Ключевые слова: лазерное сканирование, большие данные, аэрофотосъемка, точки лазерных отражений, ГИС, дистанционное зондирование.

BATHYMETRIC LASER SCANNERS

Rylskiy I.A.¹, Verbovskiy V.V.², Gruzdev R.V.³, Paramonov D.A.⁴

¹Rylskiy Ilya Arkadievitch – PhD in Geography, senior researcher,
WORLD DATA SYSTEM,
GEOGRAPHICAL FACULTY,
MOSCOW STATE UNIVERSITY,

²Verbovskiy Vitaliy Viktorovitch – deputy general director,
ARTGEO,
MOSCOW

³Gruzdev Roman Viktorovitch – PhD in Geology,
INSTITUTE OF NATURAL RESOURCES, ECOLOGY AND CRYOLOGY SO RAN,
CHITA,

⁴Paramonov Dmitriy Andreevitch – PhD in Geography, deputy general director,
OOO PROJECTSTROY,
MOSCOW

Abstract: high-precision mapping of the bottom of water bodies and complex coastal and freshwater landscapes (such as coral reef zones, rocks, tidal flats, floodplain and river systems) is an infrequent, but extremely important and labor-intensive task. The echolocation systems used for this purpose have a large number of limitations both in terms of operating depth (it is impossible to survey too shallow or dangerous water areas) and in terms of productivity. The accuracy of measurements and their detail, taking into account other factors (rocking, limitations of the method), are also not high. Modern technological solutions have led to the emergence in recent years of a new class of devices for solving these problems - bathymetric laser scanners. These devices have specific characteristics and methods of application, so they require separate consideration. Although not an absolutely universal device, these systems have very high productivity and the ability to work not only at significant depths, but also in complex environments in which land constantly alternates with water.

Keywords: laser scanning, big data, aerial photography, laser reflection points, GIS, remote sensing.

В настоящее время (октябрь 2024) лазерные решения от компании Riegl представлены значительным набором моделей, предназначенных для мобильного, наземного и воздушного лазерного сканирования. Наиболее универсальным и востребованным сегментом, конечно, является воздушное лазерное сканирование. В этом сегменте батиметрические лазерные сканеры стоят несколько особняком. Формально данные сканеры могут быть использованы (и используются) для съемки не только подводных ландшафтов, но и обычных открытых поверхностей без воды. Однако основной целью применения этих приборов является все же именно подводная съемка. Тем не менее, комплексность – выражающаяся в возможности съемки переходных ландшафтов (вроде полос приливно-отливной осушки, рифовых зон, мелководных внутренних пойм и озер) – является важным фактором, снимающим необходимость выполнения отдельной классической съемки после выполнения батиметрической.

Наиболее специфические приборы из класса воздушных лазерных сканеров – это батиметрические (или гидрографические) лазерные сканеры. Мы включили в него как решения для тяжелой пилотируемой авиации, так и для БПЛА, поскольку основной характеристикой этих лазеров является не столько высота полета и площадь съемки, сколько масса и достигаемая глубина сканируемых объектов, на которой еще могут быть получены сведения о рельефе дна. Обычно для работы в водных средах используется зеленый лазер (длина волны 532 нанометра), что позволяет добиться максимальной глубины проникновения луча).

Глубина проникновения луча измеряется в единицах секки. 1 секки – глубина, на которой перестает быть визуально различим белый диск диаметром 30 см. Нетрудно предположить, что в разных водоемах эта величина сильно разнится. Так, в пресноводных водоемах летом 1 секки может быть равен 1-1.5 метра, а в океанской воде – доходить до 40 и даже 60 метров.

Все эти лазеры могут быть использованы не только для съемки дна, но и суши, что делает их идеальными решениями при работе в прибрежных водах, где присутствуют большое количество скал, островов, отмелей и прочих схожих объектов.

Название	840G	840GL	840GH	840G-II
Макс. Частота, точек в секунду	200 000	200 000	900 000	900 000
Макс. Частота эффективная *	200 000	200 000	279 000	279 000
Макс. Высота съемки	100	100	1 600	1 600
Макс. Высота съемки на макс. Частоте	75	75	700	700
Глубина на макс. Частоте, секки	1,70	1,70	1,50	1,50
Глубина на мин. Частоте, секки	2,50	2,50	1,50	1,50
Угол охвата, градусов	40	40	40	40
Число строк в секунду, шт	100	100	100	80
Точность дальномера, мм	20	20	25	25
Угол отклонения по тангажу	14	14	+/-20	+/-20
Число сенсоров, шт	1	1	1	1
Дивергенция луча, мрад	1--6	1--6	0.3	0,7-3,0
Класс лазера	3В	3В	3В	3В
Габариты, мм**	363x284x 240	356x284x 240	451x451x 490	495x495 x752
Масса**, кг	15	9,8	70	65
Поддерживаемое число камер	1	1	2	2
Носитель	БПЛА	БПЛА	ПЛА	ПЛА

Все сканеры этого типа используют круговую развертку луча. Это делается для обеспечения постоянного угла встречи лазерного импульса с водной поверхностью и более точного расчета глубины. Рабочая высота съемки для БПЛА систем составляет около 75-100 метров, причем для достижения наилучших результатов не следует подниматься слишком высоко.

При работе на частоте в 200 000 точек в секунду глубина проникновения у VQ840G и VQ840GL составляет 1.7 секки. Если необходимо проникнуть глубже, необходимо повысить мощность одного импульса, что дается ценой очень сильного снижения частоты сканирования. Максимальная глубина в 2.5 секки достигается при снижении частоты съемки до 500 точек в секунду (при этом сам лазер работает на частоте 50 000 точек в секунду, но в ходе пост-обработки производится осреднение полученных сигналов с соответствующим падением частоты).

Ввиду довольно большой массы приборов (15 кг) рекомендованным носителем для VQ840G является специализированный дрон от Riegl – Ricopter. Более совершенная – и более легкая (10 кг) его версия – VQ840GL – может быть установлена на более дешевые дроны сторонних производителей, что позволяет создать большее многообразие летных решений. VQ840GL уже оснащен встроенной цифровой камерой.

Основное назначение данных сканеров – съемка прибрежных мелководных участков, оценка динамики наиболее проблемных участков речных и иных фарватеров, съемка дна водохранилищ для оценки их заполнения наносами, мониторинг динамики развития русел на судоходных реках. **В военной области это может быть поиск мин (донных, якорных, дрейфующих на некоторой глубине), поиск подводных беспилотных аппаратов, промеры глубин перед переходом водных преград и наведением понтонных или временных мостовых переправ, оценка подходов к берегам перед десантированием, мониторинг дна в районе подводных трубопроводных систем (на мелких участках).**



Рис. 1. Внешний вид гидрографических сканеров для БПЛА – VQ840G (вверху) и VQ840 GL (внизу).

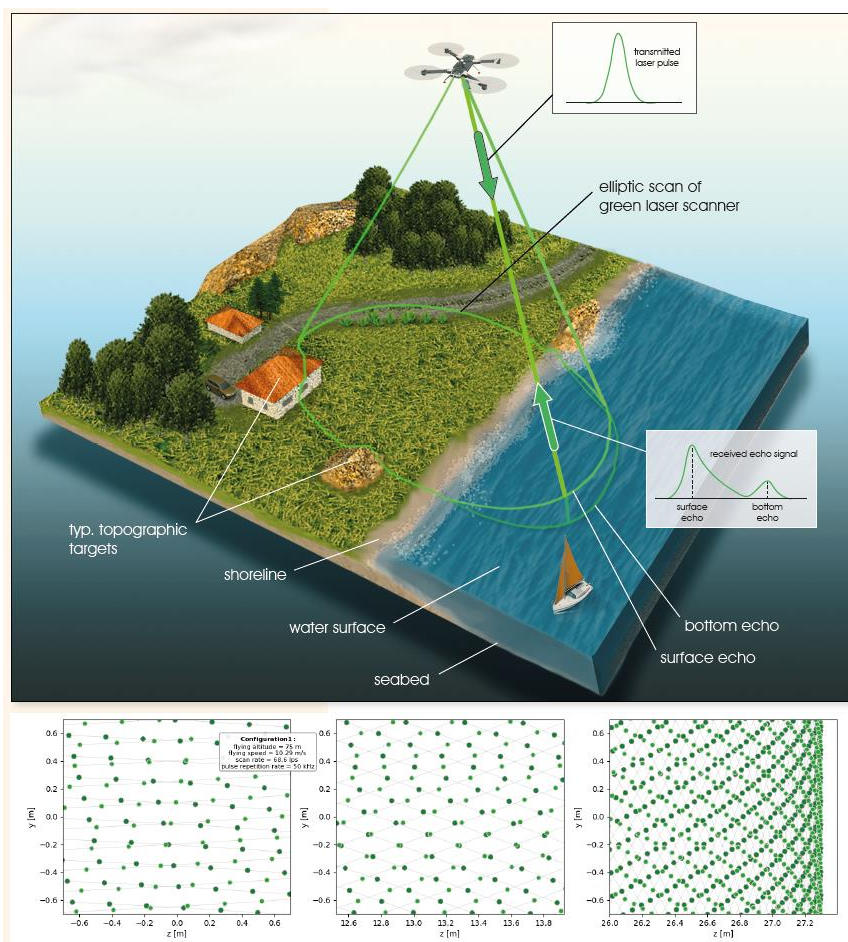


Рис. 2. Распределение точек лазерных отражений при использовании круговой развертки в центре (слева), в промежуточной области (в центре) и с края (справа) полосы съемки

Тяжелые (и наиболее мощные) гидрографические системы представлены моделями VQ880 GH и VQ880Gii. 880GH и 880Gii - сканеры, обладающие круговой схемой сканирования, максимальной частотой в 900 000 точек в секунду – в ближнем ИК и 700 000 – в зеленом канале, и возможностью вести съемку дна на глубинах до 1.5 секки при работе в гидрографическом режиме, возможностью снимать наземные объекты с высоты до 2500 м и водные – до 650 м. В корпусе размещается не один, а два дополнительных сенсора – это могут быть и две среднеформатные камеры, и вариант со среднеформатной камерой + тепловизор.

VQ880Gii, также как и его предшественник, обладает дополнительным встроенным лазером с длиной волны 1064 нм, что предназначено для более точного измерения длины прохождения луча под водой и точного описания формы поверхности волн.

При формально меньшей глубине съемки, эти системы обладают на 1-2 порядка большей производительностью по площади. Основное их назначение – работа на шельфе, гидрографическое картирование прибрежных зон морей и океанов, съемка приливно-отливных зон, крупных водохранилищ, рек. Военное приложение – аналогично вышеупомянутому у 840GL, но с большей производительностью и оперативностью.

Список литературы / References

1. Груздев Р.В., Рыльский И.А., Применение воздушных лидаров в высокоточной гравиразведке (на примере Восточного Забайкалья). Вестник Забайкальского Государственного Университета. Чита, 2022. №2, Т.28, 6-18
2. Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. Основы геоинформатики. Учебное пособие для студентов вузов в 2-х книгах. М.: Академия, 2004. С. 480.
3. Рыльский И.А., Парамонов Д.А., Кожухарь А.Ю.1, Терская А.И. Создание виртуальной модели района Большой Сочи – Красная Поляна – плато Лаго-наки. Интеркарто, 2023. №29, С. 589-606.
4. Giuliani, G., Chatenoux B., De Bona A.: Building an Earth Observation Data Cube: lessons learned from the Swiss Data Cube (SDC) on generating Analysis Ready Data (ARD). Big Earth Data 1-2 (1), 100–117 (2017).

5. *Huang L. et al.* Octsqueeze: Octree-structured entropy model for lidar compression //Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2020. – C. 1313-1323.
6. *Janowski A., Szulwic J., Tysiac P.* Airborne and mobile laser scanning in measurements of sea cliffs on the southern Baltic. 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2015. 114-124
7. *Octree homepage*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Octree> Last accessed 16 Jan 2020.
8. *Rieger P.* Range ambiguity resolution technique applying pulse-position modulation in time-of-flight scanning lidar applications. *Optical engineering*, 2014. 53(6), 061614-061614.