

Оценка точности ортомозаики Vivid Standard в северных широтах России

Пермяков Р.В., 2022

АО «Ракурс»

129366, г. Москва, ул. Ярославская, д. 13А, оф. 15

permyakov@racurs.ru

Цифровые ортофотопланы (далее – ЦОФП), созданные на основе актуальных материалов дистанционного зондирования Земли (далее – ДЗЗ), являются традиционным источником обновления топографических и тематических карт как на уровне учреждений, занятых совершенствованием системы пространственных данных в стране, так и на уровне предприятий, решающих задачи, связанные с мониторингом объектов инфраструктуры и их влияния на окружающую среду.

Когда речь заходит о больших площадях – тысячах и десятках тысяч квадратных километров – очевидными для построения ЦОФП становятся преимущества данных ДЗЗ, полученных в результате космической съемки. Для регламентации требований к таким данным заказчики составляют технические задания (далее – ТЗ). Отличаясь в деталях, в целом, все подобные документы устанавливают требования к актуальности и пространственному разрешению снимков, числу и составу спектральных каналов, точности геопривязки. Требования ТЗ применительно к точности могут устанавливаться прямо (например, «цветные изображения должны быть ортотрансформированы с абсолютной плановой точностью не грубее 10 м») или косвенно (например, «ЦОФП должны обеспечивать точность определения координат не хуже картографической основы масштаба 1:10 000»).

Кроме того, нередко в ТЗ заказчики строго подходят к формату предоставления снимков и уровням их обработки. Например, «формат предоставления материалов: комплект изображений с файлами метаданных, содержащих в обязательном порядке коэффициенты рациональных полиномов (RPC)»; «уровень обработки – снимки, пригодные для фотограмметрической обработки, с файлами метаданных, содержащими коэффициенты RPC». Указанные формулировки обусловлены особенностями сложившейся на стороне заказчика технологии производственных работ: исполнитель предоставляет исходные данные ДЗЗ, а их фотограмметрической обработкой, включающей создание конечного продукта - ЦОФП, занимается сам заказчик.

Вместе с тем, перечень решений, предлагаемых операторами ДЗЗ, за последние годы значительно изменился и уже не ограничивается лишь исходными снимками. Коммерческий рынок ДЗЗ постепенно разворачивается в сторону сервисных моделей. В структуре продаж доля первичных изображений, поставляемых операторами ДЗЗ через свою дилерскую сеть, сокращается, а доля продуктов с добавленной стоимостью (в том числе ЦОФП и цифровых моделей рельефа (далее – ЦМР) и цифровых моделей поверхности (далее – ЦМП)), полученных в результате пост-обработки снимков, как и доля сервисов, предоставляющих клиентам прямой доступ к таким продуктам, наоборот, возрастает.

Компания Maxar Intelligence (США) – крупнейший оператор ДЗЗ и владелец группировки спутников WorldView-1,2,3 и GeoEye-1 с суммарной производительностью выполнения новой съемки более 3 000 000 кв.км/день – с 2019 года предлагает своим пользователям продукт Vivid. Vivid – это линейка готовых, регулярно обновляемых и покрывающих весь мир ортомозаик, созданных Maxar на основе собственных данных ДЗЗ с пространственным разрешением от 0,5 м/пиксель и грубее. Ортомозаики Vivid поставляются в виде растровых тайлов размером 19584 x 19584 пикселей каждый в формате GeoTIFF. Помимо растров в поставку входят векторные слои порезов с атрибутами. Порезы представляют собой полигоны, ограничивающие области конкретных снимков, использованных для построения мозаики. В атрибутах порезов записаны основные метаданные снимков: название сенсора, время съемки, угол отклонения от надира, азимут и высота солнца в момент съемки, процент облачности и другие параметры. Это удобно для контроля актуальности данных и проверки их соответствия требованиям ТЗ.

В силу специфики качественных характеристик и показателей точности две разновидности ортомозаики – Vivid Basic и Vivid Standard – выделены в самостоятельные продукты. Vivid Basic – ортомозаика с абсолютной точностью геопривязки до 5,6 м (СКО), с долей безоблачного покрытия в среднем по миру – 95%, поставляемая исключительно в трехканальной (RGB) конфигурации. Vivid Standard – ортомозаика с абсолютной точностью привязки до 3,3 м (СКО), с долей безоблачного покрытия в среднем по миру – 98%, поставляемая как в трех- (RGB), так и в четырехканальном (RGB+Nir) вариантах. 40% наиболее освоенных районов Земли в средних широтах обновляются на ортомозаиках Vivid 1 раз в год и чаще, 75% поверхности Земли – 1 раз в 3 года.

В рамках исполнения госконтрактов в 2020 году компания «Ракурс» успешно поставила построенные на основе ортомозаики Vivid Standard ЦОФП масштаба 1:10 000 на участки в Новосибирской и Томской областях общей площадью около 12 000 кв.км. Участки ортомозаики Vivid Standard, не отвечавшие требованиям заказчика в отношении актуальности, были закрыты «свежими», ортотрансформированными по открытым матрицам высот материалами классической космической съемки спутниками компаний Махаг и Airbus Defence and Space (Франция). Площадь таких «заплаток» составила около 10% от общей площади района работ. С точки зрения точности, и ортомозаика Vivid Standard (точность по спецификации: до 3,3 м по СКО), и обработанные материалы классической космической съемки (точность геопривязки по орбитальным данным: 1,5–4,0 м по СКО) полностью соответствовали требованиям построения ЦОФП масштаба 1:10 000. Согласно пункту 1.7. Инструкции по фотограмметрическим работам [1], *средние погрешности положения контуров местности относительно точек планового съемочного обоснования не должны превышать 0,5 мм в масштабе плана для равнинных территорий (т. е. 5 м для масштаба 1:10 000) и 0,7 мм в масштабе плана для горных территорий (т. е. 7 м для масштаба 1:10 000).*

Вместе с тем, следует сказать, что в спецификациях обоих продуктов Vivid Basic и Vivid Standard сделана следующая оговорка: «точность рассчитана для районов между 60 градусом северной широты и 56 градусом южной широты; за пределами указанных широт точность ортомозаик может быть хуже в силу меньшей детализации использованных для ортотрансформирования моделей рельефа».

Со стороны потенциальных российских заказчиков, районы работ которых находятся за полярным кругом, такая формулировка вызывает оправданное опасение, сможет ли ортомозаика Vivid Standard стать качественной заменой материалов классической космической съемки для создания ЦОФП масштаба 1:10 000 в полярных широтах.

Для того чтобы решить этот вопрос, мы провели сравнительное исследование на предмет оценки точности материалов ортомозаики Vivid Standard на участки российского Севера относительно материалов, которые в той или иной мере можно считать эталонными.

Тестовые участки выбраны по принципу разнообразия физико-географических условий и перепада высот (рис.1, табл.1):

- слабохолмистые районы городской застройки в Европейской части России (Мурманск) и Западной Сибири (Новый Уренгой);
- горы Полярного Урала (окрестности Харпа);
- район добычи полезных ископаемых в Восточной Сибири (Норильск);
- прибрежные участки Чукотки (Рыркайпий, Ванкарём, Янракиннот, Новое Чаплино).

Табл.1. Основные характеристики тестовых участков

Участок	Широта, гр.	Долгота, гр.	Площадь, кв.км	Перепад высот, м
Мурманск	68,9 N	33,0 E	22,0	0 – 184
Новый Уренгой	66,0 N	76,6 E	27,8	15 – 60
Полярный Урал	66,9 N	65,6 E	26,1	70 - 830
Норильск	69,3 N	88,2 E	60,8	20 - 620
Рыркайпий	68,9 N	179,5 W	21,9	0 - 50
Ванкарём	67,8 N	175,8 W	24,0	0 - 25
Янракиннот	64,9 N	172,5 W	30,4	0 - 330



Рис.1. Расположение тестовых участков в границах ЦМП ArcticDEM

В отсутствие данных планово-высотного геодезического обоснования в качестве эталонных материалов использованы следующие продукты:

- исходные космические снимки со спутников компании Махар (WorldView-2,3 и GeoEye-1) с точностью геопривязки по орбитальным данным 1,64–2,34 м по СКО, ортотрансформированные по открытой ЦМП ArcticDEM с размером ячейки 2 м (далее – ЦОФП по ArcticDEM);
- базовая мозаика космических снимков World Imagery (с точностью геопривязки до 5 м (CE90) или 2,34 м по СКО), распространяемая компанией ESRI [2] и используемая в качестве подложки Публичной кадастровой карты России [3] (далее – мозаика WordImagery).

Образцы ортомозаики Vivid Standard на тестовые участки скачаны в ходе работы с онлайн-сервисом Махар SecureWatch [4]. Мозаика WorldImagery подключена в качестве подложки к проекту программы QGIS по протоколу WMTS (https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/WMTS). Исходные космические снимки получены от компании Махар в качестве тестовых данных.

В спецификации продуктов Vivid Standard и WorldImagery нет информации о том, какие именно модели рельефа используются для создания этих ортомозаик в северных широтах. Мы можем только предполагать, что это различные вариации матриц высот, полученные на основе глобальных ЦМП – ASTER GDEM (с точностью по спецификации до 20 м по СКО) или ALOS AW3D (с точностью по спецификации до 5 м по СКО).

Ортотрансформирование исходных снимков выполнено в системе PHOTOMOD 7.2. на основе ArcticDEM без фильтрации антропогенных объектов и растительности. ArcticDEM (рис.1) – это открытая региональная ЦМП с размером ячейки 2 м и точностью в плане и по высоте 4 м, созданная по инициативе Национального агентства геопространственной разведки и Национального научного фонда (США) на Арктический регион севернее 60 градуса с.ш. (включая Камчатский полуостров и американский штат Аляска) фотограмметрическим способом на основе стереопар панхроматических космических снимков с пространственным разрешением 0,5 м, полученных группировкой спутников Махар (WorldView-1,2,3 и GeoEye-1) в 2016-2018 гг. [5].

Характеристики снимков, использованных для построения мозаик Vivid Standard и WorldImagery, а также параметры исходных снимков, ортотрансформированных по ArcticDEM – систематизированы в таблице 2 по каждому тестовому участку. Из таблицы видно, что 5 из 8 тестовых участков покрываются ортомозаикой Vivid Standard, образованной снимками не старше 2019 года, а в сравнении с мозаикой WorldImagery ортомозаика Vivid Standard актуальнее на всех участках. Точность «эталона» ЦОФП по ArcticDEM (Acc_{et_ortho}) рассчитывается по формуле (1), в которой Acc_{RPC} – точность геопривязки снимка по орбитальным данным (1,64 м – для WV-2/3 и 2,34 м – для WV-4/GE-1), Acc_{DEM} – точность ЦМП ArcticDEM (4 м), α - угол отклонения снимка от надира в градусах.

$$Acc_{et_ortho} = \sqrt{Acc_{RPC}^2 + (Acc_{DEM} \times \tan(\alpha \times \frac{\pi}{180}))^2} \quad (1)$$

Табл.2. Характеристики снимков, использованных для построения ортомозаики Vivid Standard, мозаики WorldImagery и ЦОФП по ArcticDEM

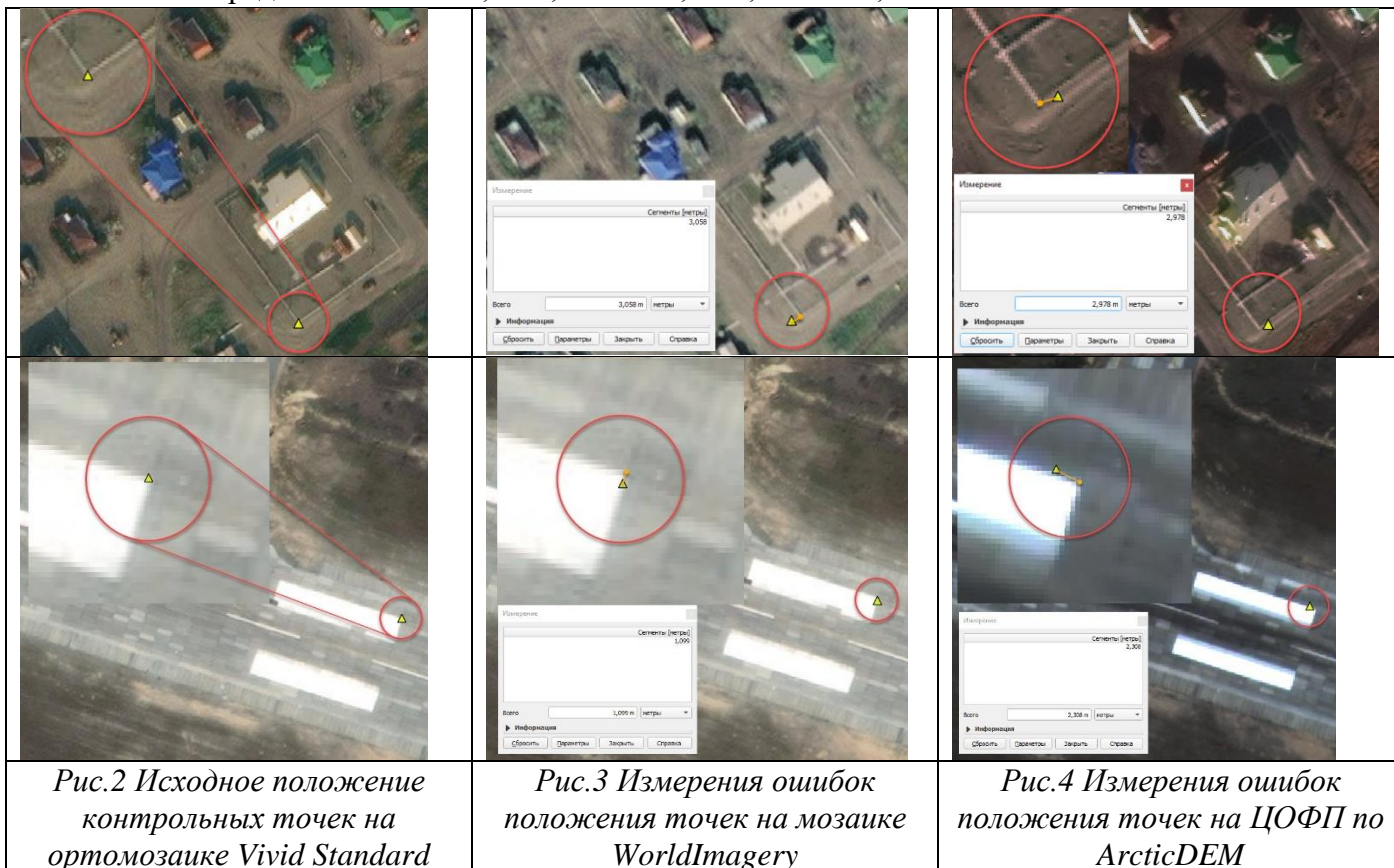
Участок	Продукт	Сенсор	Даты	Угол от надира, гр.	Точность «эталон», м (СКО)
Мурманск	Vivid Standard	WV-3	29.08.2019	24,0	
		WV-2	15.07.2020	19,8	
		WV-3	11.06.2021	20,0	
		WV-2	07.08.2021	4,5	
	WorldImagery	WV-3	29.08.2019	24,0	2,34
		WV-3	13.06.2020	10,7	
	ЦОФП по ArcticDEM	WV-2	09.07.2018	13,7	1,90
Новый Уренгой	Vivid Standard	GE-1	12.06.2020	18,8	
		WV-3	24.08.2021	17,8	
	WorldImagery	GE-1	12.06.2020	18,8	2,34
	ЦОФП по ArcticDEM	WV-4	01.09.2018	8,9	2,42
Полярный Урал	Vivid Standard	WV-2	06.07.2021	22,1	
		WV-2	11.08.2021	27,7	
	WorldImagery	WV-3	01.07.2015	16,3	2,34
		WV-2	09.10.2018	22,8	
		WV-3	25.08.2019	29,5	
	ЦОФП по ArcticDEM	WV-3	27.07.2018	21,2	2,25
Норильск	Vivid Standard	WV-3	19.07.2019	14,1	
		WV-3	19.08.2020	17,9	
		WV-2	16.07.2021	24,8	
	WorldImagery	WV-3	19.07.2019	14,1	2,34
	ЦОФП по ArcticDEM	WV-2	15.07.2018	18,7	2,12
Рыркайпий	Vivid Standard	GE-1	15.06.2020	20,8	
		WV-3	11.09.2020	23,5	
	WorldImagery	WV-3	09.07.2020	24,5	2,34
	ЦОФП по ArcticDEM	GE-1	15.06.2020	20,7	2,78
Ванкарём	Vivid Standard	WV-2	15.06.2017	23,9	
		WV-2	21.08.2019	16,4	
		WV-3	13.08.2020	19,5	
	WorldImagery	WV-2	15.06.2017	24,5	2,34
		WV-2	21.08.2019	16,4	
	ЦОФП по ArcticDEM	WV-3	30.09.2020	35,1	3,25
Янракыннот	Vivid Standard	WV-2	05.09.2017	26,9	
		WV-2	12.07.2020	13,0	
	WorldImagery	WV-2	05.09.2017	26,9	2,34
		WV-2	12.07.2020	13,0	
	ЦОФП по ArcticDEM	GE-1	12.10.2020	28,2	3,17
Новое Чаплино	Vivid Standard	WV-2	03.09.2017	21,3	
		WV-3	11.07.2020	29,0	
	WorldImagery	WV-2	03.09.2017	21,3	2,34
		WV-3	11.07.2020	29,0	
	ЦОФП по ArcticDEM	WV-3	11.07.2020	29,0	2,76

Табл.3. Относительные ошибки положения контрольных точек на ортомозаике Vivid Standard (относительно мозаики ESRI WorldImagery и ЦОФП по ArcticDEM (в м))

Мурманск			Полярный Урал			Ванкарём		
№ точки	vs_ESRI	vs_ortho	№ точки	vs_ESRI	vs_ortho	№ точки	vs_ESRI	vs_ortho
1	0,24	2,55	1	2,84	1,31	11	2,53	2,86
2	0,24	3,11	2	1,97	1,94	12	1,95	4,29
3	1,16	2,65	3	3,86	1,57	13	3,09	3,86
4	2,56	2,72	4	6,40	1,77	14	2,91	3,74
5	0,41	2,66	5	3,26	2,58	15	3,06	2,98
6	1,49	2,15	6	2,26	2,83	16	1,80	4,75
7	1,46	2,67	7	6,62	1,31	17	2,35	3,47
8	0,63	3,38	8	2,07	2,95	18	2,44	3,94
9	0,23	3,08	9	4,69	2,62	19	2,67	3,58
10	0,85	3,68	10	2,57	1,88	20	2,06	4,12
Среднее	0,93	2,86	Среднее	3,65	2,08	Среднее	2,49	3,76
СКО	0,72	0,42	СКО	1,63	0,59	СКО	0,43	0,54
Макс	2,56	3,68	Макс	6,62	2,95	Макс	3,09	4,75
Новый Уренгой			Рыркайпий			Янракыннот		
№ точки	vs_ESRI	vs_ortho	№ точки	vs_ESRI	vs_ortho	№ точки	vs_ESRI	vs_ortho
1	5,75	3,24	1	1,33	0,98	21	2,29	2,13
2	0,75	1,63	2	2,70	2,60	22	2,21	4,20
3	0,58	2,86	3	2,78	1,11	23	1,13	3,28
4	3,96	2,80	4	2,98	1,53	24	2,48	2,87
5	4,01	3,42	5	1,54	1,35	25	2,42	2,85
6	1,10	2,31	6	1,53	1,08	26	0,36	3,02
7	2,07	3,47	7	1,54	0,95	27	0,32	1,71
8	3,77	3,47	8	0,54	1,97	28	1,85	2,93
9	0,55	2,91	9	0,60	1,38	29	0,71	2,62
10	0,98	3,41	10	1,03	1,14	30	1,92	2,56
Среднее	2,35	2,95	Среднее	1,66	1,41	Среднее	1,57	2,82
СКО	1,77	0,57	СКО	0,84	0,49	СКО	0,82	0,63
Макс	5,75	3,47	Макс	2,98	2,60	Макс	2,48	4,20
Новое Чаплино			Норильск			Норильск		
№ точки	vs_ESRI	vs_ortho	№ точки	vs_ESRI	vs_ortho	№ точки	vs_ESRI	vs_ortho
31	2,38	2,67	1	1,46	3,14	18	0,86	2,47
32	0,32	1,46	2	1,42	0,63	19	2,89	3,05
33	2,67	2,89	3	0,72	0,60	20	2,29	2,85
34	1,88	4,90	4	1,03	4,08	21	2,55	8,01
35	1,88	2,10	5	0,57	1,02	22	2,61	5,16
36	2,52	3,54	6	2,34	3,17	23	1,08	4,78
37	2,16	2,46	7	0,45	0,71	24	1,17	3,17
38	2,38	2,75	8	3,99	3,97	25	28,99	4,82
39	2,29	1,84	9	0,90	0,63	26	0,86	5,64
40	1,69	1,50	10	1,58	1,48	27	2,00	4,97
Среднее	2,02	2,61	11	1,02	3,41	28	0,76	4,92
СКО	0,64	0,98	12	1,62	2,01	29	2,12	4,75
Макс	2,67	4,90	13	1,34	3,31	30	0,76	3,27
			14	1,11	2,15	Среднее	2,76	3,27
			15	9,50	4,01	СКО	5,14	1,70
			16	2,83	2,28	Макс	28,99	8,01
			17	1,97	3,81			

Для оценки точности ортомозаики Vivid Standard использована следующая технология. Сначала контрольные точки были расставлены на хорошо опознаваемых объектах и контурах ортомозаики Vivid Standard. В населенных пунктах - на элементах разметки автомобильных дорог, взлетно-посадочных полос и футбольных полях, на углах заборов. В межселенной местности – у оснований опор ЛЭП и трубопроводов, на пересечениях объектов гидрографии, крупных валунах, на углах вырубок и у оснований отдельно стоящих деревьев. Точки распределены относительно равномерно по всей площади тестовых участков из расчета 1 точка на 2-3 кв.км (рис.5-36), всего измерено 100 точек.

Далее с помощью инструментов QGIS (измерительная линейка, снаппинг к точечным объектам) были проведены измерения ошибок положения контрольных точек, расставленных на ортомозаике Vivid Standard, относительно их положения на мозаике WorldImagery и на ЦОФП по ArcticDEM (рис.2-4). Полученные измерения записаны в атрибуты точек: ошибка на ортомозаике WorldImagery – в атрибут «vs_ESRI», ошибка на ОФП по ArcticDEM – в атрибут «vs_ortho», номер точки – в одноименный атрибут, - и экспортированы в формат csv. Простейшая статистическая обработка данных csv реализована средствами Microsoft Excel. Для каждого тестового участка как относительно мозаики WorldImagery, так и относительно ЦОФП по ArcticDEM определены средние (среднеарифметические) значения ошибок, среднеквадратические отклонения ошибок от среднего (СКО) и максимальные значения ошибок (табл.3). По всем 100 контрольным точкам относительно мозаики WorldImagery: средняя ошибка – 2,29 м, СКО – 3,05 м, макс – 28,99 м; относительно ЦОФП по ArcticDEM: средняя ошибка – 2,83 м, СКО – 1,25 м, макс – 8,01 м.



Анализируя таблицы относительных ошибок, можно прийти к следующим выводам.

1. Средние значения ошибок положения всех 100 контрольных точек на ортомозаике Vivid Standard находятся в допуске на создание ортофотопланов масштаба 1: 10 000 (допуск 5 м – для равнин, 7 м – для гор) как относительно мозаики WorldImagery (средняя ошибка 2,29 м), так и относительно ЦОФП по ArcticDEM (средняя ошибка 2,83 м).
2. Разброс в значениях ошибок относительно ОФП по ArcticDEM (максимальное значение СКО среди всех участков: 1,70 м – в Норильске) в сумме со средними значениями (3,27 м – в

Норильске) также дает результат, находящийся в допуске 5 м на создание ортофотопланов масштаба 1: 10 000 ($<1,70+3,27=4,97$ м).

3. Достаточно большой разброс в значениях ошибок точек относительно мозаики WorldImagery (максимальные значения СКО: 1,63 м, 1,77 м, 5,14 м – для Полярного Урала, Нового Уренгоя и Норильска, соответственно) в сумме со средними значениями ошибок на этих участках (3,65 м, 2,35 м и 2,76 м, соответственно) дают результаты, которые могут быть:
 - в допуске 5 м на создание ЦОФП масштаба 1: 10 000 на равнинах ($<1,77+2,35=4,12$ м – в Новом Уренгое);
 - в допуске 7 м на создание ЦОФП масштаба 1: 10 000 в горах ($<1,63+3,65=5,28$ м – на Полярном Урале);
 - за пределами обоих допусков ($<5,14+2,76=7,90$ м – в Норильске).
4. Максимальные значения ошибок как относительно мозаики WorldImagery (28,99 м), так и относительно ОФП по ArcticDEM (8,01 м) также зафиксированы на тестовом участке в Норильске. И если максимальное значение ошибки относительно ОФП по ArcticDEM можно считать малозначимым выбросом, то ошибка 28,99 м относительно мозаики WorldImagery приводит к общему аномальному увеличению разброса ошибок от среднего (СКО) – до 5,14 м. На наш взгляд, это может быть вызвано рядом факторов:
 - пониженной точностью ЦМР, использованной для создания мозаики WorldImagery, в целом;
 - достаточно большим перепадом высот и сложностью рельефа местности в Норильске;
 - неактуальностью ЦМР, использованной для создания мозаики WorldImagery, в условиях динамично меняющегося рельефа Норильска - в местах добычи полезных ископаемых, на карьерах и насыпях.
5. Для большинства тестовых участков средние и максимальные ошибки положения контрольных точек на ортомозаике Vivid Standard выше относительно тех «эталонных материалов», которые образованы снимками с большими значениями углов отклонения от надира. Например, для Ванкарёма: угол отклонения снимка ЦОФП по ArcticDEM (35,1 градус) > угла отклонения снимков WorldImagery (16,4 и 24,5 градуса); средняя ошибка относительно ЦОФП по ArcticDEM (3,76 м) > средней ошибки относительно WorldImagery (2,49 м); макс.ошибка ЦОФП по ArcticDEM (4,75 м) > макс.ошибки относительно WorldImagery (3,09 м).
6. Абсолютные значения ошибок положения контрольных точек на ортомозаике Vivid Standard можно рассчитать по формуле (2), в которой: E_{abs} – абсолютная ошибка, E_{mean} – средняя ошибка относительно «эталона», Acc_{et} – точность «эталона» по спецификации.

$E_{abs} = \sqrt{E_{mean}^2 + Acc_{et}^2}$	(2)
--	-----

Абсолютные значения ошибок в зависимости от «эталона» (мозаики WorldImagery или ЦОФП по ArcticDEM) систематизированы в таблице 4. Для всех тестовых участков и «эталонов» абсолютные значения ошибок находятся в допуске 5 м на составления ЦОФП масштаба 1:10 000.

Табл.4. Абсолютные ошибки положения контрольных точек на ортомозаике Vivid Standard

Участок	ESRI WorldImagery			Vs_ЦОФП по ArcticDEM		
	Средняя ошибка, м	Точность "эталонов", м (СКО)	Абсолютная ошибка, м	Средняя ошибка, м	Точность "эталонов", м (СКО)	Абсолютная ошибка, м
Мурманск	0,93	2,34	2,52	2,86	1,90	3,44
Новый Уренгой	2,35	2,34	3,32	2,95	2,42	3,82
Полярный Урал	3,65	2,34	4,34	2,08	2,25	3,06
Норильск	2,76	2,34	3,62	3,27	2,12	3,90

Рыркайпий	1,66	2,34	2,87	1,41	2,78	3,12
Ванкарём	2,49	2,34	3,41	3,76	3,25	4,97
Янракыннот	1,57	2,34	2,82	2,82	3,17	4,24
Новое Чаплино	2,02	2,34	3,09	2,61	2,76	3,80
Среднее			3,25		2,58	3,79

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что ортомозаика Vivid Standard на участки Российского Севера – районы севернее 60 градуса с.ш. - по своей точности, в целом, пригодна для составления ЦОФП масштаба 1:10 000. Локальные ошибки ортомозаики Vivid Standard, превышающие установленные допуски, могут быть компенсированы за счет включения в мозаику «заплаток» из исходных космических снимков с высокой точностью орбитальной геопривязки, ортотрансформированных с использованием высокоточных ЦМП – ArcticDEM или аналогов.

Список литературы.

1. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых карт и планов. - М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 49 с.
2. Официальный сайт ArcGIS Online. Слой глобальной мозаики ESRI WorldImagery. Режим доступа: URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>. Дата обращения: 01.02.2022.
3. Публичная кадастровая карта России. Режим доступа: URL: <https://pkk.rosreestr.ru/>. Дата обращения: 01.02.2022.
4. YouTube-канал компании «Ракурс». Инструкция по работе с сервисом Maxar SecureWatch. Режим доступа: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=es85prS6n0s>. Дата обращения: 01.02.2022.
5. “ArcticDEM”.Porter, Claire; Morin, Paul; Howat, Ian; Noh, Myoung-Jon; Bates, Brian; Peterman, Kenneth; Keeseey, Scott; Schlenk, Matthew; Gardiner, Judith; Tomko, Karen; Willis, Michael; Kelleher, Cole; Cloutier, Michael; Husby, Eric; Foga, Steven; Nakamura, Hitomi; Platson, Melisa; Wethington, Michael, Jr.; Williamson, Cathleen; Bauer, Gregory; Enos, Jeremy; Arnold, Galen; Kramer, William; Becker, Peter; Doshi, Abhijit; D’Souza, Cristelle; Cummins, Pat; Laurier, Fabien; Bojesen, Mikkel, 2018, <https://doi.org/10.7910/DVN/ОННУКН>, Harvard Dataverse, V1, [Date Accessed: 01.02.2022].

Приложения

Мурманск

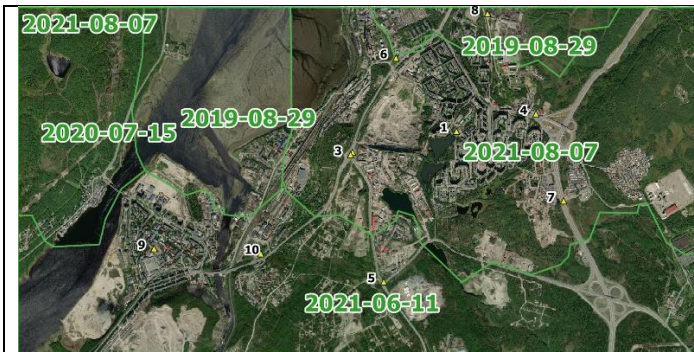


Рис.5. Ортомозаика Vivid Standard

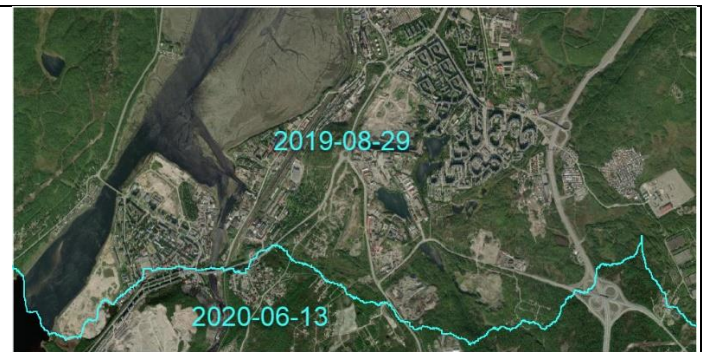


Рис.6. Мозаика WorldImagery

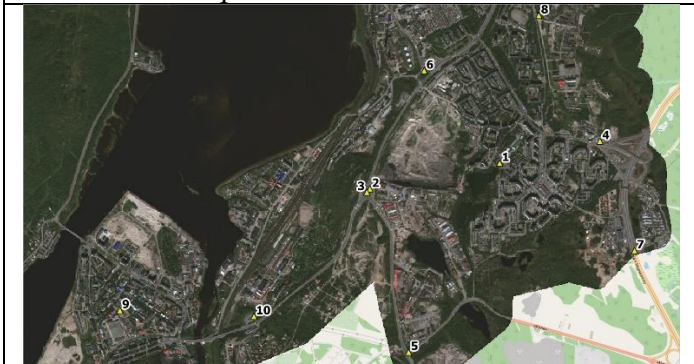


Рис.7. ЦОФП no ArcticDEM

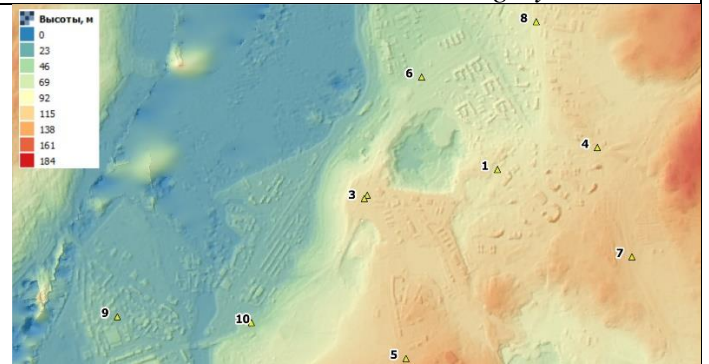


Рис.8. ArcticDEM

Новый Уренгой



Рис.9. Ортомозаика Vivid Standard



Рис.10. Мозаика WorldImagery

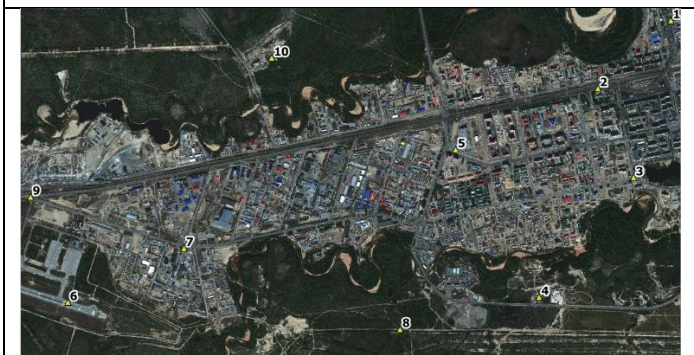


Рис.11. ЦОФП no ArcticDEM

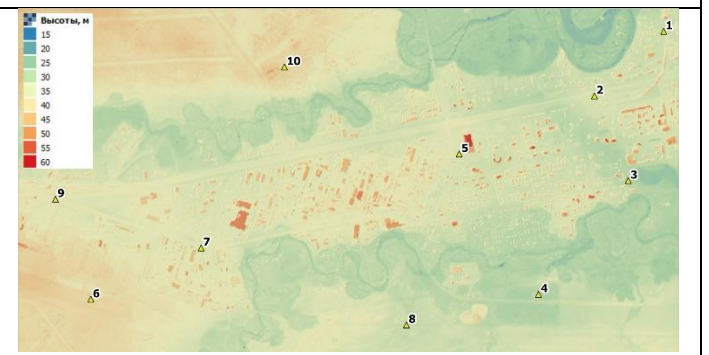


Рис.12. ArcticDEM

Полярный Урал

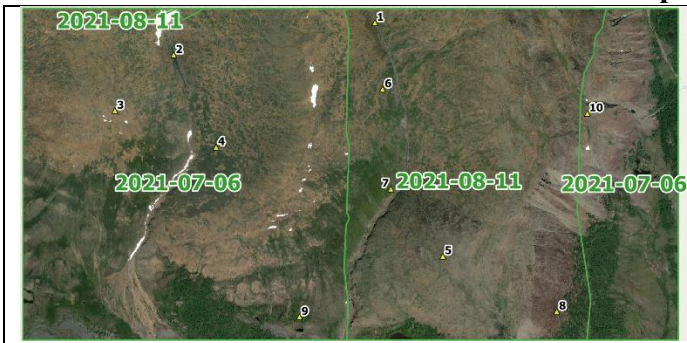


Рис.13. Ортомозаика Vivid Standard

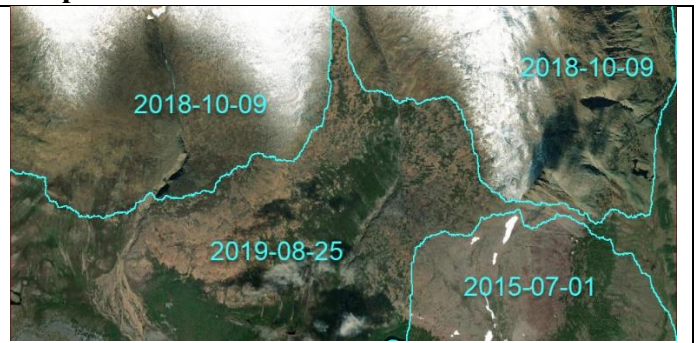


Рис.14. Мозаика WorldImagery

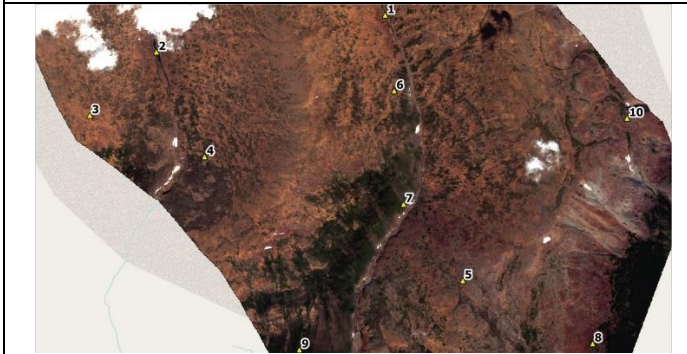


Рис.15. ЦОФП no ArcticDEM

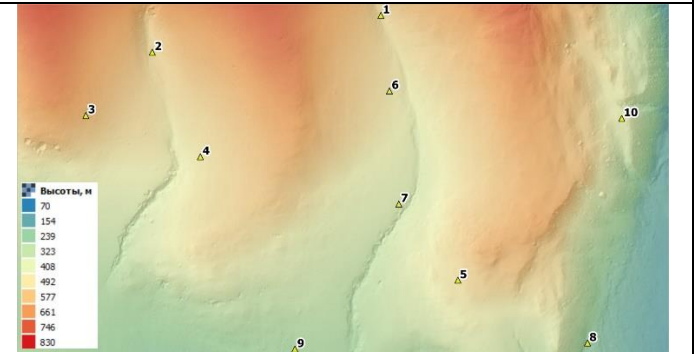


Рис.16. ArcticDEM

Норильск



Рис.17. Ортомозаика Vivid Standard



Рис.18. Мозаика WorldImagery



Рис.19. ЦОФП no ArcticDEM

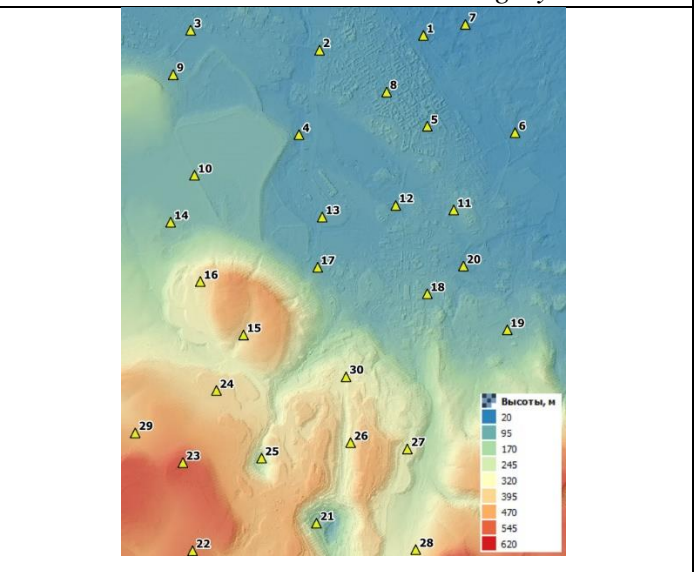


Рис.20. ArcticDEM

Рыркайпий



Рис.21. Ортомозаика Vivid Standard



Рис.22. Мозаика WorldImagery

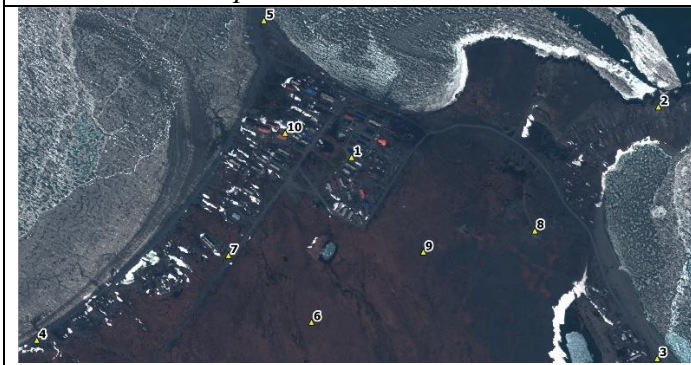


Рис.23. ЦОФП по ArcticDEM

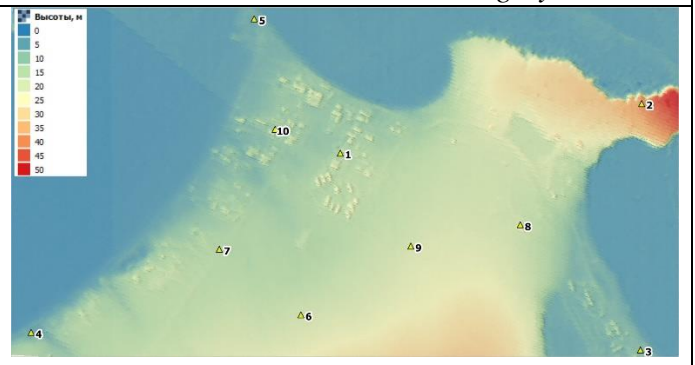


Рис.24. ArcticDEM

Ванкарём



Рис.25. Ортомозаика Vivid Standard



Рис.26. Мозаика WorldImagery



Рис.27. ЦОФП по ArcticDEM

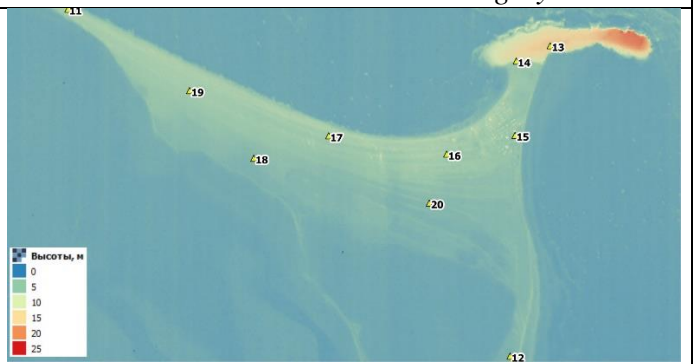


Рис.28. ArcticDEM

Янракыннот



Рис.29. Ортомозаика Vivid Standard

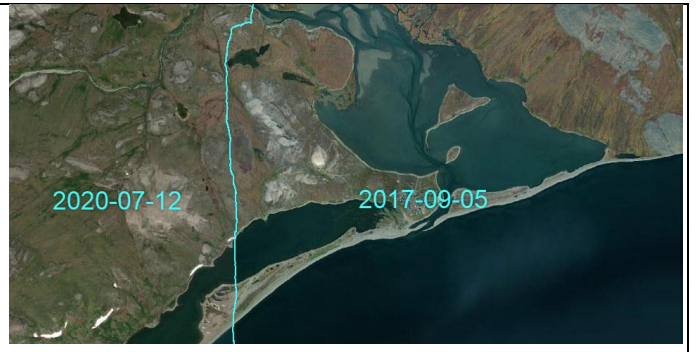


Рис.30. Мозаика WorldImagery

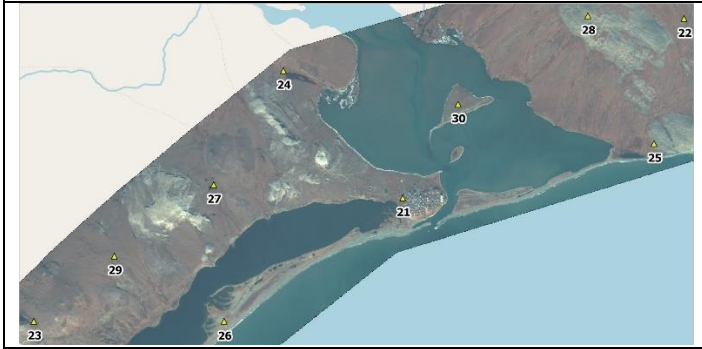


Рис.31. ЦОФП no ArcticDEM

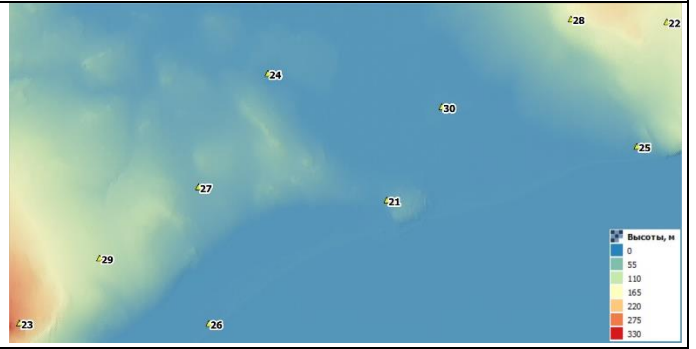


Рис.32. ArcticDEM

Новое Чаплино



Рис.33. Ортомозаика Vivid Standard



Рис.34. Мозаика WorldImagery



Рис.35. ЦОФП no ArcticDEM

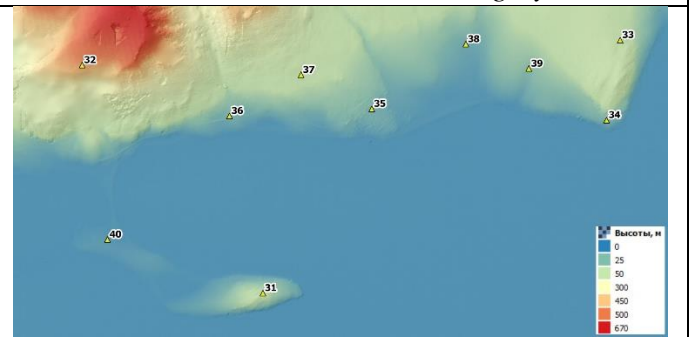


Рис.36. ArcticDEM