

ВАЛИДАЦИЯ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

О. О. Силук

научный сотрудник лаборатории дистанционной фотометрии отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, г. Минск, volha.siliuk@gmail.com

Ю. С. Давидович

магистрант кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, г. Минск, seg98001@gmail.com

В работе представлены результаты наземных и спутниковых спектрометрических измерений различных природных объектов островов Большой Курильской гряды. Приводится анализ измерений тестовых участков на предмет их пригодности для использования в целях калибровки спутниковых систем измерений. Для обеспечения валидации спутниковых мультиспектральных измерений и наземных измерений с высоким спектральным разрешением, значения коэффициентов спектральной яркости, полученные прибором ФСР, были преобразованы путем свертки их со спектральными чувствительностями каналов спутниковых сенсоров. В результате валидации были определены некоторые участки Курильских островов, потенциально пригодные для спутниковых калибровок.

Ключевые слова: спектрометрическая съемка; данные дистанционного зондирования Земли; Курильские острова; валидация спектрометрических измерений; калибровка спутниковых сенсоров.

Курильские острова представляют собой архипелаг на границе Тихого океана и Охотского моря. Данный архипелаг расположен между островом Хоккайдо (Япония) и полуостровом Камчатка (РФ). Курильский архипелаг включает более 30 относительно крупных, множество мелких островов и отдельных скал. Общая площадь их составляет 15,6 тыс. км². Архипелаг состоит из двух параллельных гряд островов (представляющих собой вершины мощных подводных хребтов) – Большой Курильской гряды, вытянутой на 1200 км, и окаймляющей её южную оконечность с востока Малой Курильской гряды (120 км), разделённых Южно-Курильским проливом. Северным продолжением Малой Курильской гряды является подводный хребет Витязь [1].

С 27.07 по 23.08.2021 г. были выполнены комплексные вулканологические исследования и спектрозональные измерения островов Большой Курильской гряды: Уруп (31.07–04.08), Янкича (05.08–06.08), Чиринкотан (06.08), Шиашкотан (08.08–13.08) и Экарма (15.08). По результатам данных измерений составляется база данных спектральных признаков редких природных объектов.

Целью данной работы является анализ проведенных спектрометрических измерений тестовых участков на предмет их пригодности для проведения калибровок (кросс-калибровок) спутниковых сенсоров. Калибровка спутниковых сенсоров проводится для проверки параметров съемочных систем и внесения необходимых поправок для обеспечения правильности расчета спектральных плотно-

стей энергетической яркости по спутниковым измерениям. Существуют методы кросс-калибровки, позволяющие проводить анализ без сопутствующих наземных измерений [2]. В таком случае необходим лишь удобный подспутниковый полигон. С этой целью в разных точках земного шара создаются полигоны с известными спектральными характеристиками [3].

Спектрометрические измерения проводились на 25-ти тестовых участках, положение которых иллюстрируется на рисунке 1. Измерения производились с помощью фотоспектрорадиометра ФСР-02 (со спектральным диапазоном 400–900 нм и спектральным разрешением 1,2–2,0 нм) и портативного спектрорадиометра ПСР-700 (с рабочим спектральным диапазоном 900–1300 нм) [4]. В рамках данной работы использовались только данные фотоспектрорадиометра ФСР-02.

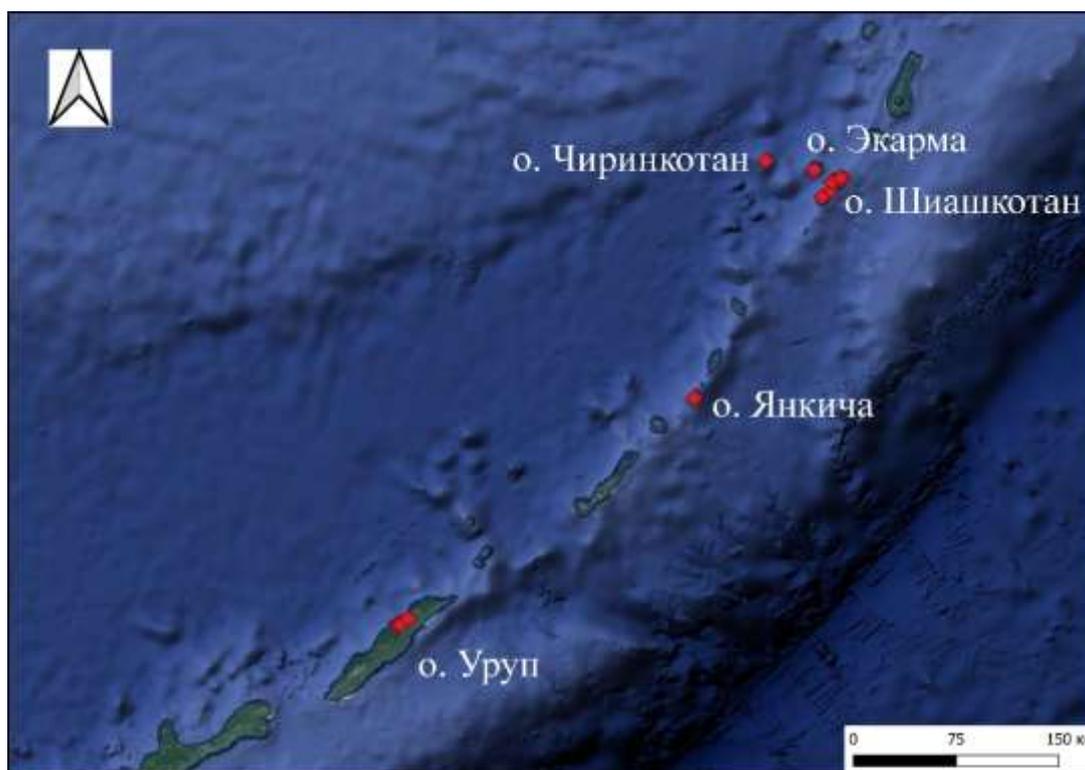


Рисунок 1 – Тестовые участки наземных спектрометрических измерений (расположение отмечено красным пунсоном)

На территорию тестовых участков были подобраны спутниковые данные аппаратов Sentinel 2 (с наилучшим пространственным разрешением 10 метров на пиксель) и PlanetScore (сенсор PS2, пространственное разрешение 3 метра на пиксель). Более подробная информация о используемых материалах дистанционных съемок представлена в таблице 1.

Как мы видим из таблицы 1, на территорию острова Чиринкотан не было найдено безоблачных спутниковых данных за период с июня по сентябрь 2021 г. (допустимые сроки космической съемки для валидации наземных измерений), поэтому они были исключены из анализа.

Таблица 1 – Метаданные используемых в исследовании измерений

Остров	Дата проведения наземных исследований	Sentinel 2		PlanetScope	
		Дата съемки	Зенитный угол Солнца	Дата съемки	Зенитный угол Солнца
Уруп	31.07–04.08.2021	17.07.2021	28,1°	02.08.2021	34,1°
Янкича	05.08–06.08.2021	03.08.2021	32,5°	06.08.2021 15.07.2021	36,1° 32,0°
Чиринкотан	06.08.2021	-	-		
Шиашкотан	08.08–13.08.2021	08.08.2021	35,0°	-	-
Экарма	15.08.2021	13.08.2021	36,4°		

Все используемые спутниковые данные прошли процедуру атмосферной коррекции. Информация об используемых спектральных каналах представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Спектральные каналы спутниковых систем, используемые в исследовании

Сенсор	Blue (нм)	Green (нм)	Red (нм)	NIR (нм)
Sentinel 2	458–523	543–578	650–680	785–900
PS2	455–515	500–590	590–670	780–860

В процессе исследования были исключены наземные измерения, которые производились не в надир, либо попавшие на территории, маскированные на снимках облачностью, для нивелирования погрешности, вносимой разницей в геометрии измерений и влиянием облачности.

Для обеспечения поканального сравнения данных высокого спектрального разрешения (полученных при наземных измерениях) и спутниковых измерений проводилась свертка зарегистрированных при полевых измерениях коэффициентов спектральных яркостей (КСЯ) с функциями относительных спектральных чувствительностей каналов двух спутниковых аппаратов, которые иллюстрируются на рисунке 2.

Разница Δ КСЯ между наземными и спутниковыми измерениями в каналах рассчитывалась по следующей формуле:

$$\Delta_{\text{спутник}} = \left| 1 - \frac{КСЯ_{\text{ФСР}}}{КСЯ_{\text{спутник}}} \right| * 100\%$$

где $КСЯ_{\text{ФСР}}$ – результат свертки КСЯ, зарегистрированных при полевых измерениях, со спектральными чувствительностями каналов спутникового сенсора (Sentinel 2, PS2), $КСЯ_{\text{спутник}}$ – КСЯ, зарегистрированные соответствующим спутниковым сенсором.

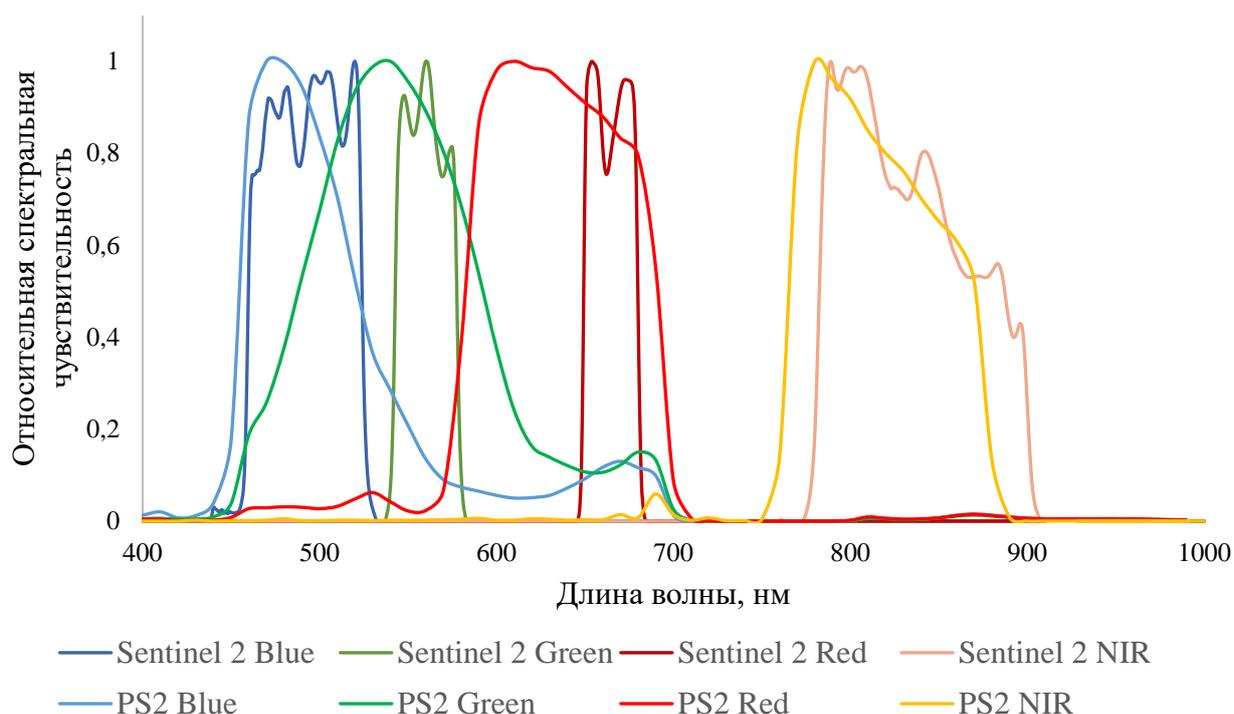


Рисунок 2 – Функции относительных спектральных чувствительностей каналов сенсоров Sentinel 2 и PS2

В таблицах 3 и 4 приведены сводные таблицы значений разницы Δ КСЯ между наземными измерениями и измерениями сенсора Sentinel 2 и PS2.

Таблица 3 – Значения разницы Δ КСЯ между наземными и измерениями сенсора Sentinel 2

Тестовые участки	Blue	Green	Red	NIR
Уруп, т. 1	-95,91	-85,58	-79,01	-78,74
Уруп, т. 2	-4,59	-20,77	-24,17	-45,79
Янкича, т. 6	-34,49	-22,6	-28,12	-28,8
Янкича, т. 8	-32,44	-68,33	-82,09	-16,94
Шиашкотан, т.11	-115,99	-91,65	-70,07	4,93
Шиашкотан, т.11	20,53	16,3	2,3	26,23
Шиашкотан, т.12	-68,4	-50,88	-41,44	60,17
Шиашкотан, т.12	0,6	-4,58	-21,88	63,65
Шиашкотан, т.13	31,89	40,52	45,95	52,26
Шиашкотан, т.13	38,45	42,84	43,27	64,61
Шиашкотан, т.14	44,3	46,01	48,9	48,16
Шиашкотан, т.14	47,51	47,42	45,73	47,48
Шиашкотан, т.23	-22,35	-13,22	-3,63	26,61
Шиашкотан, т.23	-41,97	-36,72	-23,91	13,1
Шиашкотан, т.24	25,67	3,21	-4,74	-0,71
Экарма, т.25	-2028,76	-799,9	-903,57	38,23
Экарма, т.25	7,98	-0,84	-44,71	50,6

Таблица 4 – Значения разницы Δ КСЯ между наземными и измерениями сенсора PS2

Тестовые участки	Blue	Green	Red	NIR
Уруп, т. 1	-28,28	-15,63	-14,82	-6,31
Уруп, т. 2	-19,23	-17,71	-22,91	-36,19
Янкича, т. 6	-61,01	-52,1	-44,81	-95,12
Янкича, т. 6	-41,74	-32,25	-35,25	-45,65
Янкича, т. 8	-46,77	-66,71	-86,92	-26,49
Янкича, т. 8	-47,8	-62,62	-93,7	-38,28

Ввиду погрешностей измерений спутниковых систем и приборов, используемых при наземных измерениях, а также факторов разницы в дате и условиях регистрации спектров, погрешность в пределах $\sim 20\%$ считается допустимой. Исходя из этого положения, по данным таблиц 3–4 можно выбрать следующие точки: остров Шиашкотан, точка 11 (по данным Sentinel 2 от 13.08.2021); остров Шиашкотан, точка 23 (по данным Sentinel 2 от 13.08.2021); остров Шиашкотан, точка 24 (по данным Sentinel 2 от 13.08.2021); остров Уруп, точка 1 (по данным PlanetScore). Фотографические изображения подстилающих поверхностей в данных точках показаны на рисунке 3.

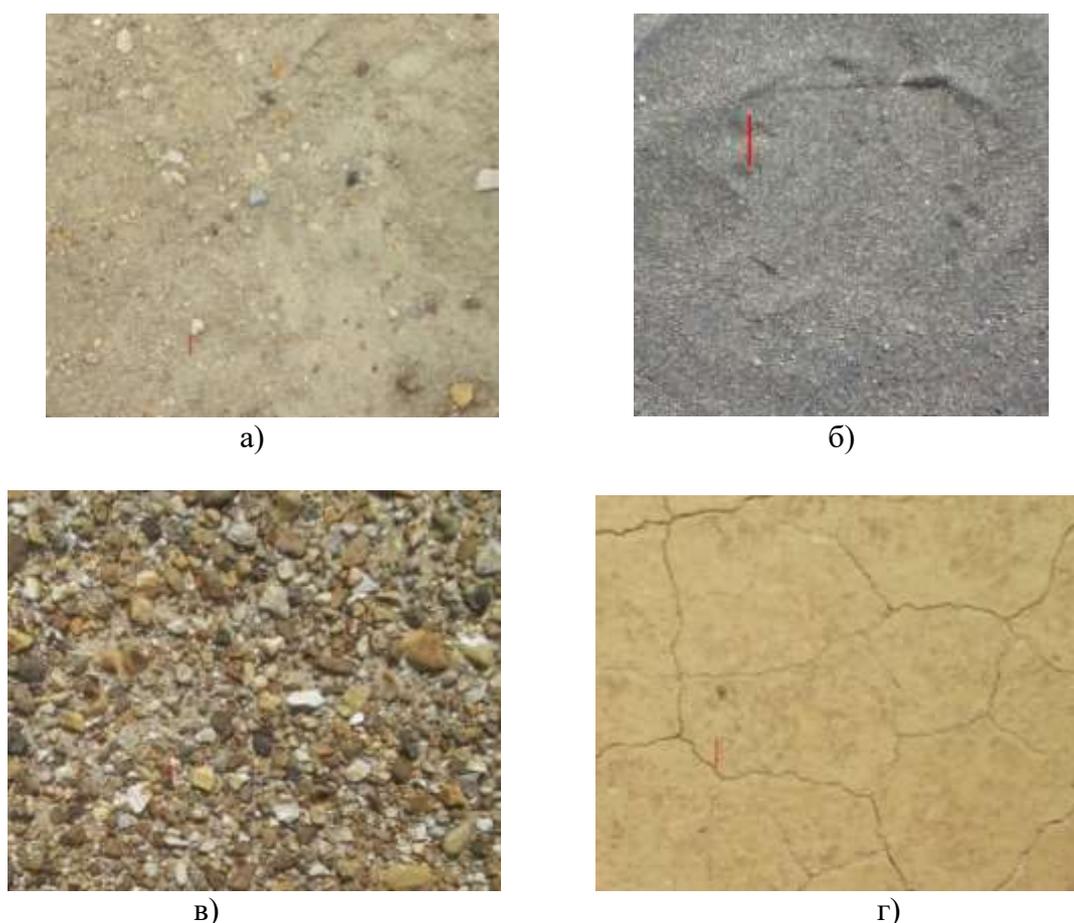


Рисунок 3 – Фотоизображения подстилающих поверхностей: а) точка 1 (о. Уруп); б) точка 11 (о. Шиашкотан); в) точка 23 (о. Шиашкотан); г) точка 24 (о. Шиашкотан)

По данным рисунка 3 можно заключить, что отобранные подстилающие поверхности являются практически однородными, что в самом деле является одним из требований к подспутниковому полигону.

Таким образом, по результатам данного исследования можно сделать вывод о том, что некоторые объекты Курильских островов могут являться полигонами для проведения кросс-калибровок спутниковых съемочных систем ввиду их однородности и достаточной протяженности. Однако, следует провести более детальный анализ угловых характеристик потенциально подходящих объектов, а также включить в исследование большее количество спутниковых и наземных измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bigenc.ru/geography/text/2125419>. Дата доступа: 09.11.2021.

2. Силюк О.О., Катковский Л.В. Методика и результаты кросс-калибровки изображений Белорусского космического аппарата и других съемочных систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 261–270.

3. RadCalNet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.radcalnet.org/#/>. Дата доступа: 09.11.2021.

4. Беляев Б.И., Сосенко В.В., Хомицевич А.Д. Авиакосмические системы и технологии в дистанционном зондировании Земли // Геоматика: образование, теория и практика [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию каф. геодезии и космоаэрокартографии и 85-летию фак. географии и геоинформатики БГУ, Респ. Беларусь, Минск, 20–22 нояб. 2019 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А.П. Романкевич (отв. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2019. С. 87–90.