ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКА SENTINEL-2 ДЛЯ ОЦЕНКИ СГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ДЕЛЬТЕ ДОНА

В.Н. Габова¹, О.Е. Архипова^{1,2}

¹Южный федеральный университет, 2 Федеральный научный центр Южный научный центр
Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия
arkhipova@ssc-ras.ru

Аннотация. Формирующиеся под воздействием ветров на прилегающей к устью реки Дон акватории Таганрогского залива, в том числе на устьевом взморье, сгонные и нагонные явления представляют собой значительную угрозу человеческой жизнедеятельности и экономике. Устьевая область Дона представляет собой идеальный полигон для исследования сгонно-нагонных явлений. Наиболее крупные нагоны могут достигать у морского края дельты Дона 2.8 м, наиболее крупные сгоны – 3.3 м. Кроме того, этот район сильно урбанизирован и имеет большое хозяйственное значение. Работа посвящена вопросам использования данных космоснимка Sentinel 2 для оценки площадей осушки дна Таганрогского залива и морской части дельты Дона в результате сгонных явлений. В работе рассмотрен период с 2015 по 2020 годы. Исследование нагонных и сгонных явлений в устьевой области реки Дон базируется на данных наблюдений стандартной гидрометеорологической сети Росгидромета. Определена комбинация спектральных каналов, позволяющая четко выделить границу вода-суша. Основным методом исследования является метод классификации с обучением, который позволяет выделить наиболее характерные классы объектов. Для оценки качества проведенной классификации была проведена оценка точности классификации с помощью матрицы несоответствий, что подтвердило правомерность использования метода. В результате проведенной классификации рассчитаны площади осушки дна. Показана зависимость величины осушки дна от скорости и длительности ветров северо-восточного и восточного направления. Анализ данных показал, что для мониторинга сгонных явлений необходимо сочетание спутниковой информации, метеорологических данных и данных равномерных постов.

Ключевые слова: Сгонно-нагонные явления, Таганрогский залив, Дельта Дона, дистанционное зондирование Земли, Sentinel-2.

Введение. Сгонно-нагонные явления возникают в различных водоемах под действием ветра и волн. Чаще всего сгонно-нагонные явления наблюдаются весной и осенью, что объясняется активной циклонической деятельностью [3]. Формирующиеся под воздействием ветров на прилегающей к устью реки акватории моря, в том числе на устьевом взморье, нагонные и сгонные длинные волны проникают на устьевую часть реки. Наиболее крупные из них представляют собой значительную угрозу человеческой жизнедеятельности и экономике. Устьевая область Дона представляет собой идеальный полигон для исследования сгонно-нагонных явлений. Кроме того, этот район сильно урбанизирован и имеет большое хозяйственное значение. Наиболее крупные нагоны могут достигать у морского края дельты Дона 2.8 м, наиболее крупные сгоны – 3.3 м. [2]. Исследование нагонных и сгонных явлений в устьевой области реки Дон базируется на данных наблюдений стандартной гидрометеорологической сети Росгидромета. Среди работ, посвященных проблеме сгонно-нагонных явлений можно отметить работу О.Ю. Лавровой и А.Г. Костяного, в которой описывается опыт использования современных

спутниковых данных в целях мониторинга сгонно-нагонных явлений на примере Таганрогского залива и Каспийского моря. Авторы уделили особое внимание экстремальному сгону в Таганрогском заливе, произошедшему в ноябре 2019 года. Проанализировав космические снимки спутников Sentinel-2 и Landsat-8, авторами были предложены комбинации спектральных каналов для выявления областей осушки дна Таганрогского залива [3]. Подобное исследование можно также найти в работе С.М. Борзова и О.Р. Бикинеевой [4].

Цель предлагаемого исследования базируется на использовании данных дистанционного зондирования Земли (Sentinel-2) для оценки площади сгона для каждого исследуемого года с применением мультиспектральных космических снимков.

Материалы и методы исследования. Информационная база представлена семью снимками Sentinel-2 в период с 2016 по 2020 год (Таблица 1).

Спутники серии Sentinel-2 предназначены для гиперспектральной съемки среднего пространственного разрешения. Они особенно перспективны для задач картографирования, мониторинга земель, а также контроля водных ресурсов [5].

Таблица 1 – Архив космических снимков Sentinel 2 для оценки сгонных явлений в Дельте Дона

Дата снимка: 28.03.2020;22.11.2019;17.11.2019;15.11.2019;15.11.2018;26.09.2017;26.10.2016		
Спектральный канал	Диапазон длин волн (мкм)	Разрешение (м/пиксель)
Канал 1 – побережья и аэрозоли	0,419–0,465	60
Канал 2 – синий	0,443–0,546	10
Канал 3 – зеленый	0,536–0,583	10
Канал 4 – красный	0,646–0,685	10
Канал 5 – растительности крайний красный	0,694–0,713	20
Канал 6 – растительности крайний красный	0,730–0,794	20
Канал 7 – растительности крайний красный	0,766–0,797	20
Канал 8 – ближний инфракрасный	0,763–0,908	10
Канал 8A – ближний инфракрасный	0,848–0,881	20
Канал 9 – водяной пар	0,930–0,958	60
Канал 10 – облака	1,336–1,415	60
Канал 11 – ближний инфракрасный	1,540–1,685	20
Канал 12 – ближний инфракрасный	2,067–2,323	20

При выборе снимков большое внимание уделялось отсутствию облачности (менее 10 %), а также четкой границе вода-суша. Космические снимки получены из сервиса Sentinelhub (<https://www.sentinel-hub.com>) и из архива геологической службы США (<http://earthexplorer.usgs.gov>). Система координат снимков – World Geodetic System 1984 (WGS84), проекция Меркатора. Работа со снимками проводилась в программе ArcGis Pro. Перед началом классификации были составлены композиты для каждого снимка с комбинацией каналов 11, 8, 12. Эта комбинация позволяет четко изобразить границы водных объектов внутри суши.

Для анализа ландшафтных изменений могут быть использованы следующие методы классификации данных. Неконтролируемая классификация изокластера. Смысл неконтролируемой классификации заключается в разделении всех пикселей изображения на группы (кластеры), название и спектральные характеристики которых неизвестны. Главным критерием отнесения пикселей к тому или другому кластеру служит схожесть спектральных характеристик. Контролируемая классификация космических снимков. Контролируемая классификация проводится тогда, когда имеются точные сведения о территории исследования в полном объеме, чтобы была возможность верно отобразить их в результате классификации. Набор эталонов и этот вид классификации в целом, по своей сути, является одним из вариантов дешифрирования космических снимков заданной территории. Дешифрирование является процессом распознавания: объектов, их свойств, взаимосвязей по их изображениям на снимке. Это и метод изучения и исследования объектов, явлений и процессов на земной поверхности, который заключается в распознавании объектов по их признакам, определении характеристик, установлении взаимосвязей с другими объектами. Автоматизация процесса значительно увеличивает скорость

выполнения задачи, что, соответственно, позволяет сэкономить затраты временного ресурса. Одним из распространённых методов выявления изменений на космических снимках разных лет является метод обнаружения изменений (Change Detection). Метод заключается в объединении каналов RGB исследуемых растров. Использование метода проходит на двух парах снимков, исследуется композит каналов GB более раннего снимка и канала R более позднего снимка для выявления разницы между снимками самых отдаленных лет.

Для оценки величины осушки дна Таганрогского залива и дельты Дона в данной работе использовался метод классификации с обучением. В качестве основных выбраны 5 характерных классов: вода, влажный песок, растительность, пашня, застройка. Ключевыми классами являются вода и влажный песок – поверхность обнаженного дна после сгона. По площади влажного песка определяется размер сгона. Для каждого снимка был вырезан фрагмент Таганрогского залива для детального отображения областей сгона. Завершающим этапом исследования является оценка точности классифицированных снимков с помощью матрицы несоответствий. Данная методика оценки соответствует методике, используемой ранее [6]. Суть данного метода состоит в сравнении точек классифицированного изображения с точками исходного снимка и определении количества правильно и неправильно классифицированных атрибутов. В конечном итоге рассчитывается процент точности классификации [6].

Результаты исследования. В ходе классификации были получены 7 фрагментов Таганрогского залива. Фрагменты для 2016–2018 и 2020 года представлены на рисунке 1. Влажный песок обозначен серым цветом, водная поверхность – синим. Сгон 2019 года мы решили вынести отдельно, так как он был экстремальным и наиболее продолжительным.

На рис.1 Представлены данные классификации поверхности обнаженного дна при сгоне в Таганрогском заливе под влиянием вос-

точных и северо-восточных ветров. Направления ветров, основаны на данных метеостанции г. Таганрога

Рис. 1. Сгон в Таганрогском заливе и направление ветра:

а) 23–29 октября 2016 г., б) 23–29 сентября 2017 г., в) 12–18 ноября 2018 г., г) 25–31 марта 2020 г.

В ноябре 2019 года Таганрогский залив катастрофически обмелел, а уровень воды снизился до критической отметки (–110 см) [7]. Экстремальный сгон продолжался в течение 18 дней [5]. На рис.2 представлены данные об изменении площадей сгона в 2019 году: 17-го ноября сгон уменьшился, а 22-го

ноября стал сильнее, чем 15-го. Это объясняется тем, что 16 ноября скорость ветра постепенно стала уменьшаться, а 17-го ноября достигла 3 м/с. С 18-го по до полудня 20-го ноября ветер оставался слабым, меняя скорость от 2 до 4 м/с. Далее ветер резко усилился до отметки 14 м/с (Рис. 2, Табл. 2).

Таблица 2 – Данные по ветру метеостанции г. Таганрога в период с 15 по 22 ноября 2019 г.

Время (UTC), дата	Ветер (м/с)	Время (UTC), дата	Ветер (м/с)	Время (UTC), дата	Ветер (м/с)	Время (UTC), дата	Ветер (м/с)
0	15.11.19	12	0	17.11.19	3	0	19.11.19
3	15.11.19	5	3	17.11.19	3	3	19.11.19
6	15.11.19	15	6	17.11.19	4	6	19.11.19
9	15.11.19	14	9	17.11.19	4	9	19.11.19
12	15.11.19	13	12	17.11.19	3	12	19.11.19
15	15.11.19	10	15	17.11.19	3	15	19.11.19
18	15.11.19	4	18	17.11.19	3	18	19.11.19
21	15.11.19	10	21	17.11.19	3	21	19.11.19
0	16.11.19	10	0	18.11.19	2	0	20.11.19
3	16.11.19	5	3	18.11.19	4	3	20.11.19
6	16.11.19	12	6	18.11.19	3	6	20.11.19
9	16.11.19	10	9	18.11.19	3	9	20.11.19
12	16.11.19	4	12	18.11.19	2	12	20.11.19
15	16.11.19	3	15	18.11.19	3	15	20.11.19
18	16.11.19	4	18	18.11.19	3	18	20.11.19
21	16.11.19	3	21	18.11.19	3	21	20.11.19
0	21.11.19	14	0	21.11.19	14	0	22.11.19
3	21.11.19	7	3	21.11.19	7	3	22.11.19
6	21.11.19	13	6	21.11.19	13	6	22.11.19
9	21.11.19	11	9	21.11.19	11	9	22.11.19
12	21.11.19	12	12	21.11.19	12	12	22.11.19
15	21.11.19	13	15	21.11.19	13	15	22.11.19
18	21.11.19	14	18	21.11.19	14	18	22.11.19
21	21.11.19	14	21	21.11.19	14	21	22.11.19
0	22.11.19	12	0	22.11.19	12	0	22.11.19
3	22.11.19	13	3	22.11.19	13	3	22.11.19
6	22.11.19	13	6	22.11.19	13	6	22.11.19
9	22.11.19	12	9	22.11.19	12	9	22.11.19
12	22.11.19	12	12	22.11.19	12	12	22.11.19
15	22.11.19	10	15	22.11.19	10	15	22.11.19
18	22.11.19	13	18	22.11.19	13	18	22.11.19
21	22.11.19	11	21	22.11.19	11	21	22.11.19

Далее по формуле (1) были рассчитаны площади сгонов для всех снимков.

$$S = \frac{px \cdot x \cdot y}{10000} \quad (1)$$

где: px – количество пикселей, определенных для каждого класса; x, y – разрешение снимка в м; 10000 – коэффициент для перевода в га.

Полученные значения площадей продемонстрированы в таблице 3.

-Согласно таблице 3, в 2019 году площадь сгона значительно превышает значения других лет, что также заметно при визуальном сравнении рисунков 1 и 3.

Важным этапом работы со снимками является оценка точности классификации. Оценка точности представлена в таблице 4 на примере расчета матрицы невязки для 2017 года.

Точность классификации снимка 2017 года составляет 89 %. Для классификаций снимков 2016, 2018, 2019 и 2020 годов точности составляют 71, 69, 88 и 59 % соответственно. Низкая точность классификации снимка 2020 года (59 %) объясняется облачностью в момент съёмки.

Таблица 3 – Площади сгона 2016–2020 гг.

Дата сгона	Площадь сгона, га
26.10.2016	16338
26.09.2017	17789
15.11.2018	3425
15.11.2019	22740
17.11.2019	4504
22.11.2019	47599
28.03.2020	7011

Таблица 4 – Оценка точности классификации

Класс	Вода	Застройка	Влажный песок	Пашня	Растительность	Total	U_Accuracy	Карра
Вода	45	0	0	0	0	45	1	0
Застройка	0	4	0	0	2	6	0,67	0
Влажный песок	0	0	9	1	0	10	0,9	0
Пашня	0	0	0	4	4	8	0,5	0
Раститель-ность	1	0	0	0	38	39	0,97	0
Total	46	4	9	5	44	108	0	0
P_Accuracy	0,98	1	1	0,8	0,86	0	0,93	0
Карра	0	0	0	0	0	0	0	0,89

где «Total» – всего точек, «U_Accuracy» – пользовательская точность, «P_Accuracy» – производственная точность, «Карра» – точность классификации

Рис. 2 – Сгон в Таганрогском заливе 2019 г.:
а) 15.11.2019, б) 17.11.2019, в) 22.11.2019

Заключение

Анализ космических данных Sentinel- 2 среднего пространственного разрешения показал, что для чёткого определения зон осушки дна Таганрогского залива и прибрежной дельтовой зоны в результате сгонно явлений необходимо использовать коротковолновые инфракрасные каналы, например, 8, 11, 12 спектральные каналы. Эта комбинация позволяет четко изобразить границы водных объектов внутри суши. Для четкого разграничения границы вода-суша при анализе площадей осушенного дна использован метод классификации с обучением. Для

оценки качества проведенной классификации была проведена оценка точности классификации с помощью матрицы несоответствий, что подтвердило правомерность использование метода. В результате проведенной классификации рассчитаны площади осушки дна. Анализ данных показал, что для мониторинга сгонных явления необходимо сочетание спутниковой информации, метеорологических данных и данных уровнемерных постов.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 01201363188.

Список литературы:

1. Научная библиотека избранных естественно-научных изданий https://scask.ru/g_book_dwat.php?id=18 (дата обращения: 27.07.2020 г.).
2. Большая советская энциклопедия <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/100/438.htm> (дата обращения: 27.07.2020 г.).
3. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г. Использование современных спутниковых данных для мониторинга сгонно-нагонных явлений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – 227 с. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-227-242.
4. Борзов С.М., Бикинеева О.Р. Использование разновременных спутниковых данных для контроля состояния берегов искусственных водоемов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – С. 182–189. – URL <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=1262> (дата обращения: 05.08.2020 г.).
5. Совзонд <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/> (дата обращения: 15.07.2020 г.).
6. Архипова О. Е., Герасюк В.С. Оценка состояния рекреационной зоны Таганрогского залива на основе анализа мультиспектральных данных (Landsat) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – С. 65–74. – URL <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=1789> (дата обращения: 01.08.2020 г.) DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-65-74
7. Сканэкс <http://www.scanex.com/company/news/vetrovoy-sgon-vody-i-osushka-taganrogs-kogo-zaliva-azovskogo-morya/> (дата обращения: 01.08.2020 г.).

USE OF SENTINEL-2 SATELLITE DATA TO ASSESS RUNNING EVENTS IN THE DON DELTA

V.N. Gabova¹, O.E. Arkhipova^{1,2}

¹South Federal University,

² Federal Scientific Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

Abstract. Drifting phenomena pose a significant threat to human life and the economy. The estuary of the Don is an ideal testing ground for surge phenomena. The largest surges can reach 2.8 m at the sea edge of the Don delta, the largest surges – 3.3 m. In addition, this area is highly urbanized and has great economic importance. The work is devoted to the use of Sentinel 2 satellite imagery data to assess the areas of drainage of the bottom of the Taganrog Bay and the sea part of the Don delta as a result of wind-driven phenomena. The paper considers the period from 2015 to 2020. The study of surges and overshoots in the mouth area of the Don River is based on observational data of the standard hydrometeorological network of Roshydromet. A combination of spectral channels has been determined, which allows to clearly distinguish the water-land boundary. The main research methods are the method of classification with training, which allows you to identify the most characteristic classes of objects. To assess the quality of the classification carried out, the classification accuracy was assessed using the inconsistency matrix, which confirmed the validity of the method. As a result of the classification carried out, the areas of bottom drying were calculated. The dependence of the bottom drainage value on the speed and duration of north-east and east winds is shown. Analysis of the data showed that a combination of satellite information, meteorological data and data from level gauges is required to monitor the overshoot phenomenon.

This publication was prepared as part of the GZ SSC RAS, № g. project 01201363188.

Keywords: surge phenomena, Taganrog Bay, Delta Don, remote sensing of the Earth, Sentinel-2

References

1. Scientific library of selected natural science publications https://scask.ru/g_book_dwat.php?id=18 (27.07.2020).
2. The Great Soviet Encyclopedia <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/100/438.htm> (27.07.2020).
3. *Lavrova O. Yu., Kostyanov A. G.* Use of modern satellite data for monitoring wind surges // Current problems in remote sensing of the Earth from space. – 2020. – 227 p. – URL <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=2159> (03.08.2020) DOI: 10.21046 / 2070-7401-2020-17-2-227-242. (In Russian)
4. *Borzov S.M., Bikineeva O.R.* Application of multitemporal satellite data for the control of artificial reservoirs' coasts condition // Current problems in remote sensing of the Earth from space. – 2014. – P. 182–189. – URL <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=1262> (05.08.2020). (In Russian)
5. Sovzond <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/> (15.07.2020).
6. *Arkhipova O. E., Gerasyuk V.S.* Assessment of the state of the Taganrog Bay recreational zone on the basis of multispectral data (Landsat) analysis // Current problems in remote sensing of the Earth from space. – 2018. – P. 65–74. – URL <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=1789> (01.08.2020) DOI: 10.21046 / 2070-7401-2018-15-2-65-74 (In Russian)
7. Scanex [http://www.scanex.com/company/news/vetrovoy-sgon-vody-i-osushka-taganrogskogo-zaliva-azovskogo-morya-/](http://www.scanex.com/company/news/vetrovoy-sgon-vody-i-osushka-taganrogskogo-zaliva-azovskogo-morya/) (01.08.2020).