

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ НАБОРОВ ДАННЫХ О ЗЕМЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ СООТВЕТСТВИЯ УСЛОВИЯМ РЕГИОНА НИЖНЕГО ДОНА

А.В. Парфенова, В.В. Кулыгин

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону
annparfenowa@mail.ru; kulygin@ssc-ras.ru

Аннотация. Наборы данных о земельном покрове – это доступный способ анализа и количественной оценки изменения современных ландшафтов на водосборном уровне для планирования и управления водными ресурсами. В ходе исследования были рассмотрены существующие доступные глобальные наборы данных о земельном покрове (Copernicus Global Land Service Dynamic Land Cover map, ESRI 10m Annual Land Use Land Cover, глобальный земельный покров Университета Мэриленда, ESA Climate Change Initiative Global Land Cover, Dynamic World) и проведена оценка их пригодности для бассейна Нижнего Дона. По результатам анализа были выявлены следующие недостатки глобальных наборов данных о земельном покрове: неоднородность набора данных; ошибочное определение класса для сильно фрагментированных ландшафтов; снижение качества классификации земельного покрова из-за недостатка космических снимков. Для исследования наличия существенных изменений в распределении классов земельного покрова в бассейне Нижнего Дона для самого продолжительного набора данных CCI-GLC были построены линейные регрессионные зависимости от года за период 2015–2022 гг. Наибольшие значимые изменения пришлось на классы «травянистые формации» и «пашня». Рассмотренные наборы данных можно упорядочить от наиболее подходящего для исследования земельного покрова в бассейне Нижнего Дона к наименее подходящему следующим образом: Copernicus Global Land Service Dynamic Land Cover map (CGLS-LC), Dynamic World (DW), ESA Climate Change Initiative Global Land Cover (CCI-GLC), глобальный земельный покров Университета Мэриленда (UMd-GLC) и ESRI 10m Annual Land Use Land Cover (ESRI-LULC).

Ключевые слова: наборы данных о земельном покрове, динамика растительности, Нижний Дон.

Данные о земельном покрове, получаемые в результате классификации спутниковых снимков, делят поверхность Земли на участки с присвоением им различных классов естественных и антропогенных ландшафтов. Существующие глобальные наборы данных о земельном покрове позволяют проводить мониторинг изменений ландшафтов, давать оценку влияния антропогенной деятельности, а также планировать управление ресурсами. Для юга России такие исследования связаны преимущественно с управлением водными ресурсами и планированием сельского хозяйства. Они становятся особенно актуальными в связи с продолжающимся маловодным периодом на Нижнем Дону [1] и сильным антропогенным влиянием на экосистему [2].

На данный момент в свободном доступе существует сравнительно небольшое количество наборов данных земельного покрова, охватывающих длительный период времени (от 5 лет и больше). В работе рассматриваются те из них, которые имеют достаточно высокое пространственное разрешение (не более 1 км): Copernicus Global

Land Service Dynamic Land Cover map (CGLS-LC) [3–8], ESRI 10m Annual Land Use Land Cover (ESRI-LULC) [9], глобальный земельный покров Университета Мэриленда (UMd-GLC) [10], ESA Climate Change Initiative Global Land Cover (CCI-GLC) [11], Dynamic World (DW) [12]. Их характеристики представлены в таблице 1.

На предварительном этапе исходные данные обрезали по полигону бассейна Нижнего Дона. Затем для всех карт земельного покрова подсчитывали количество пикселей каждого класса и рассматривали их измерение во времени.

Copernicus Global Land Service Dynamic Land Cover map (CGLS-LC). Первоначально для периода 2015–2019 гг. набор данных имел пространственное разрешение 100 м. В 2020 г. алгоритм классификации был изменен, набор данных стал называться ESA WorldCover. При этом пространственное разрешение повысилось до 10 м, а число классов снизилось с 23 до 11; в бассейне Нижнего Дона встречается 16 и 8 классов соответственно (табл. 2). Алгоритм классификации 2020 г. был модернизирован в 2021 г. [13].

1. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС ПРИ РЕШЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Таблица 1. Характеристики глобальных наборов данных земельного покрова

Набор данных	Пространственное разрешение, м	Годы исследования	Спутниковые данные	Точность классификации, %	Количество классов
CGLS-LC	100/10	2015–2019/ 2020–2021	PROBA-V/ Sentinel (1,2)	80,3/76,7	23/11
ESRI-LULC	10	2017–2023	Sentinel-2	75	9
CCI-GLC	300	1992–2022	MERIS, SPOT-VGT, AVHRR, PROBA-V, Sentinel-3	71–72	22
UMd-GLC	30	2000, 2005, 2010, 2015, 2020	Landsat	85	7 (110)
DW	10	2015–2024	Sentinel-2	75	9

Таблица 2. Классы CGLS-LC в пределах бассейна Нижнего Дона по [14] (CGLS-LC) и [15] (ESA WorldCover)

№	Название класса CGLS-LC	Название класса ESA WorldCover	Наименование класса в единой легенде
1	Сомкнутый вечнозеленый хвойный лес	лес	лес
2	Сомкнутый листопадный широколиственный лес		
3	Сомкнутый смешанный лес		
4	Сомкнутый неклассифицируемый лес		
5	Разреженный вечнозеленый хвойный лес		
6	Разреженный хвойный широколиственный лес		
7	Разреженный смешанный лес		
8	Разреженный неклассифицируемый лес		
9	Кустарники	кустарники	лес
10	Травянистые формации	злаковники	травянистые формации
11	Регулярно затапливаемая растительность	регулярно затапливаемая растительность	регулярно затапливаемая растительность
12	Территории, практически лишенные растительности	территории, практически лишенные растительности	территории, практически лишенные растительности
13	Пашня	пашня	пашня
14	Городские и застроенные земли	городские и застроенные земли	городские и застроенные земли
15	Постоянные водоемы	водные поверхности	водные поверхности
16	Открытые водоемы		

На рисунке 1 представлено изображение набора данных для бассейна Нижнего Дона в 2020 г. Здесь и далее при визуализации наборов данных используются их оригинальные легенды, в которых приведены только те классы, которые встречаются на территории бассейна Нижнего Дона. Наибольшие площади занимают классы: «паш-

ня», «травянистые формации» и «лес». Для оценки качества классификации на локальном уровне рассматривалась область в границах г. Ростова-на-Дону. В наборе данных выделяются локальные средоточия древесных массивов; отмечается большая доля класса «регулярно затапливаемая растительность».



Рис. 1. Земельный покров в 2020 г. по CGLS-LC: 1) бассейн Нижнего Дона; 2) г. Ростов-на-Дону

ESA Climate Change Initiative Global Land Cover (CCI-GLC). Набор данных создавался в рамках двух проектов: European Space Agency Climate Change Initiative Land Cover (1992–2015) [16] и Copernicus Climate Change Service Land Cover (2016–2022) [17]. Алгоритм классификации для обоих проектов оставался общим. Легенда насчитывает 22 класса с наличием более подробной региональной типологии, из них в пределах бассейна Нижнего Дона встречается 17 классов (табл. 3).

Таблица 3. Классы CCI-GLC в пределах бассейна Нижнего Дона [17]

№	Наименование класса	Наименование регионального подкласса	Наименование класса в единой легенде
1	Пашня, богарная	травянистые формации	пашня
2	Орошаемые земли	–	пашня
2	Мозаика: пашня (>50 %) / естественная растительность (лес, кустарники, травянистая формация) (<50 %)	–	пашня
3	Мозаика: естественная растительность (лес, кустарники, травянистая формация) (>50 %) / пашня (<50 %)	–	травянистые формации
4	Сомкнутые и разреженные широколиственные листопадные леса (>15 %)	разреженные широколиственные листопадные леса (15–40 %)	лес
5	Сомкнутые и разреженные хвойные вечнозеленые леса (>15 %)	сомкнутые хвойные вечнозеленые леса (>40 %)	лес
6	Хвойные листопадные леса (>15 %)	–	лес
7	Смешанные (широколиственные и хвойные) леса	–	лес
8	Мозаика: лес и кустарники (>50 %) / травянистые формации (<50 %)	–	лес
9	Мозаика: травянистые формации (>50%) / лес и кустарники (<50 %)	–	травянистые формации
10	Кустарники	вечнозеленые кустарники, листопадные кустарники	лес
11	Злаковники	–	травянистые формации
12	Территории, практически лишенные растительности (лес, кустарники, травянистые формации) (<15 %)	–	территории, практически лишенные растительности

1. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС ПРИ РЕШЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Продолжение табл. 3

№	Наименование класса	Наименование регионального подкласса	Наименование класса в единой легенде
13	Лес на регулярно затапливаемых или заболоченных почвах (пресные и соленые воды)	–	регулярно затапливаемая растительность
14	Кустарники или травянистые формации на регулярно затапливаемых или заболоченных почвах (пресные, солоноватые и соленые воды)	–	регулярно затапливаемая растительность
15	Городские и застроенные земли	–	городские и застроенные земли
16	Территории, практически лишенные растительности	консолидированные территории, практически лишенные растительности	территории, практически лишенные растительности
17	Водные поверхности	–	водные поверхности

Примечание: символ «–» обозначает отсутствие значений.

Наибольшие площади в бассейне Нижнего Дона занимают классы «пашня», «травянистые формации» и «лес» (рис. 2). На локальном уровне из-за низкого пространственного разрешения не

идентифицируются малые антропогенные объекты (дороги) и древесные насаждения. Также отдельные участки земли в пределах города ошибочно определяются как пашни.



Рис. 2. Земельный покров в 2020 г. по CCI-GLC: 1) бассейн Нижнего Дона; 2) г. Ростов-на-Дону

ESRI 10m Annual Land Use Land Cover. Типология этого набора данных включает 9 классов (табл. 4).

Таблица 4. Классы ESRI-LULC в пределах бассейна Нижнего Дона [9]

№	Наименование основных классов	Наименование класса в единой легенде
1	Водные поверхности	водные поверхности
2	Лес	лес
3	Злаковники	травянистые формации
4	Регулярно затапливаемая растительность	регулярно затапливаемая растительность
5	Пашня	пашня
6	Городские и застроенные земли	городские и застроенные земли
7	Территории, практически лишенные растительности	территории, практически лишенные растительности
8	Снега и ледники	снега и ледники
9	Облачность	облачность

В бассейне Нижнего Дона в 2020 г. преобладающие классы совпадают с предыдущим набором данных («пашня», «травянистые формации», «лес») (рис. 3). Следует отметить, что незначительное число пикселей было отнесено

к классу «облачность». На изображении г. Ростова-на-Дону видно, что несмотря на высокое пространственное разрешение плохо определяются локальные средоточия древесных массивов.



Рис. 3. Земельный покров в 2020 г. по ESRI-LULC: 1) бассейн Нижнего Дона; 2) г. Ростов-на-Дону

Глобальный земельный покров Университета Мэриленда (UMd-GLC). Набор данных охватывает период 2000–2020 гг. с шагом 5 лет. Типология

насчитывает 7 основных классов и 110 дополнительных (табл. 5). В бассейне отсутствует класс «снега и ледники».

Таблица 5. Классы UMd-GLC в пределах бассейна Нижнего Дона [10]

Наименование основных классов		Наименование дополнительных классов	Наименование класса в единой легенде
Растительность	пустыня	3–7 % низкие травянистые формации (2 класса)	территории, практически лишенные растительности
	семиаридная зона	11–75 % низкие травянистые формации (17 классов)	травянистые формации
	густые низкие травянистые формации	79–100 % низкие травянистые формации (6 классов)	травянистые формации
	лес	от 3 до >25 м высота леса (24 класса)	лес
Регулярно затопляемая растительность	солончаки	3–7 % низкие травянистые формации (2 класса)	регулярно затопляемая растительность
	территории, практически лишенные растительности	11–75 % низкие травянистые формации покров (17 классов)	регулярно затопляемая растительность
	густые низкие травянистые формации	79–100 % низкие травянистые формации (6 классов)	регулярно затопляемая растительность
	лес	от 3 до >25 м высота леса (24 класса)	регулярно затопляемая растительность
открытые водные поверхности		20–100 %/год (8 классов)	водные поверхности
пашня		–	пашня
городские и застроенные территории		–	городские и застроенные территории
моря/океаны		–	водные поверхности

Примечание: символ «–» обозначает отсутствие значений.

В бассейне Нижнего Дона преимущественно представлены классы «пашня», «травянистые формации», «лес» (рис. 4). Отмечаются единичные случаи обнаружения класса «солончаки» в райо-

не р. Маныч. В пределах территории г. Ростова-на-Дону встречаются ошибочные определения класса «пашня»; отмечается большая доля класса «регулярно затопливаемая растительность».

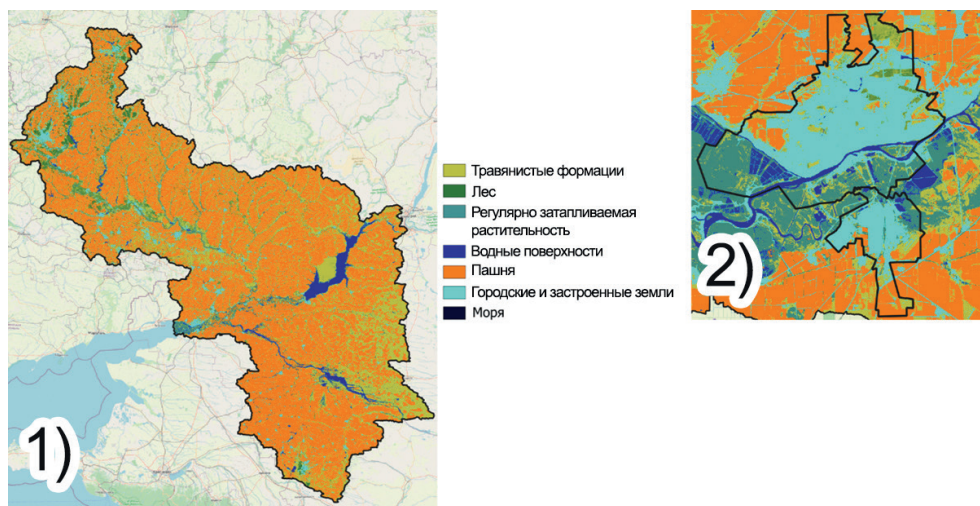


Рис. 4. Земельный покров в 2020 г. по Umd-GLC: 1) бассейн Нижнего Дона; 2) г. Ростов-на-Дону

В наборе данных **Dynamic World (DW)** тип земельного покрова определяется для четырех месяцев (май, июль, август и октябрь) каждого года при наличии достаточного числа снимков.

В настоящем исследовании рассматривались данные за октябрь 2020 г. В наборе данных определяется 10 классов (табл. 6).

Таблица 6. Классы DW в пределах бассейна Нижнего Дона [12]

№	Наименование классов	Наименование класса в единой легенде
1	Водные поверхности	водные поверхности
2	Лес	лес
3	Злаковники	травянистые формации
4	Регулярно затопливаемая растительность	регулярно затопливаемая растительность
5	Пашня	пашня
6	Кустарники	лес
7	Городские и застроенные территории	городские и застроенные территории
8	Территории, практически лишенные растительности	территории, практически лишенные растительности
9	Снега и ледники	снега и ледники
10	Облачность	облачность

Преобладающие классы в бассейне Нижнего Дона совпадают с предыдущими наборами данных (рис. 5). На изображении г. Ростова-на-Дону отмечается большая доля «пашни» и меньшая доля «леса» по сравнению с данными CGLS-LC,

имеющими такое же пространственное разрешение.

Рассмотренные наборы данных отражают состояние земельного покрова с разной степенью детальности, для этого используется различный



Рис. 5. Земельный покров в 2020 г. по DW: 1) бассейн Нижнего Дона; 2) г. Ростов-на-Дону

перечень классов. Для возможности их сравнения была сформирована генерализованная унифицированная легенда, состоящая из 9 классов (крайний правый столбец в таблицах 2–6). Процедура унификации легенд проводилась на основе анализа содержания исходных классов легенды.

Для исследования наличия существенных изменений в распределении классов земельного покрова в бассейне Нижнего Дона для самого продолжительного набора данных CCI-GLC были построены линейные регрессионные зависимости от номера года за период 2015–2022 гг. (табл. 7).

Наибольшие значимые изменения пришлось на классы «травянистые формации» (рост доли территории) и «пашня» (сокращение доли территории). Другие статистически значимые тенденции связаны с увеличением доли класса «водная поверхность» и уменьшением доли классов «лес» и «регулярно затапливаемая растительность».

В ходе исследования были выявлены следующие недостатки глобальных наборов данных о земельном покрове: неоднородность набора данных; ошибочное определение класса для сильно фрагментированных ландшафтов; снижение

качества классификации земельного покрова из-за недостатка космических снимков.

Исходя из проведенного анализа можно упорядочить рассмотренные наборы данных от наиболее подходящего для исследования земельного покрова в бассейне Нижнего Дона к наименее подходящему следующим образом: CGLS-LC, DW, CCI-GLC, Umd-GLC и ESRI-LULC.

Таблица 7. Коэффициенты линейного тренда доли площади классов земельного покрова CCI-GLC в бассейне Нижнего Дона за 2015–2022 гг., %/год

Класс	Коэффициент линейного тренда
Лес	-0,001
Травянистые формации	0,120
Пашня	-0,140
Городские и застроенные территории	0,000
Территории, практически лишенные растительности	0,000
Водные поверхности	0,010
Регулярно затапливаемая растительность	-0,003

Примечание: полужирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты (уровень значимости =95 %).

Исследование выполнено в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № госрегистрации проекта 122013100131-9.

Список литературы

1. Матишов Г.Г., Дашкевич Л.В., Титов В.В., Кириллова Е.Э. Анализ внутривековой природной изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону: причина маловодья // Наука Юга России. 2021. Т. 17. № 1. С. 13–23. DOI: 10.7868/S25000640210102. EDN: ODEWFL.
2. Матишов Г.Г., Новенко Е.Ю., Дюжова К.В. Палиноиндикация антропогенных изменений растительности Приазовья (по данным изучения донных отложений Азовского моря) // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450. № 6. С. 708–712. DOI: 10.1134/S1028334X13060184. EDN: QBRHYJ.
3. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N.-E., Masiliunas D., Linlin L., Herold M., Fritz S. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2015: Globe (Version V3.0.1) [Data set]. 2020. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939038>.
4. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N.E., Masiliunas D., Linlin L., Herold M., Fritz S. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2016: Globe (Version V3.0.1) [Data set]. 2020. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3518026.
5. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N.E., Masiliunas D., Linlin L., Herold M., Fritz S. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2017: Globe (Version V3.0.1) [Data set]. 2020. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3518036.
6. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N.E., Masiliunas D., Linlin L., Herold M., Fritz S. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2018: Globe (Version V3.0.1) [Data set]. 2020. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3518038.
7. Zanaga D., van de Kerchove R., De Keersmaecker W., Souverijns N., Brockmann C., Quast R., Wevers J., Grosu A., Paccini A., Vergnaud S., Cartus O., Santoro M., Fritz S., Georgieva I., Lesiv M., Carter S., Herold M., Li Linlin, Tsendbazar N.E., Ramoino F., Arino O. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. 2021. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.5571936.
8. Zanaga D., van de Kerchove R., Daems D., de Keersmaecker W., Brockmann C., Kirches G., Wevers J., Cartus O., Santoro M., Fritz S., Lesiv M., Herold M., Tsendbazar N.E., Xu P., Ramoino F., Arino O. ESA WorldCover 10 m 2021 v200 [Data set]. 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>.
9. Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning // IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Brussels, Belgium, 2021. P. 4704–4707. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499.
10. Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Turubanova S., Zalles V., Li X., Khan A., Stolle F., Harris N., Song X., Baggett A., Kommareddy I., Kommareddy A. The Global 2000–2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results // Front. Remote Sens. 2022. 3:856903. DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.
11. Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store. Land cover classification gridded maps from 1992 to present derived from satellite observation. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS) [Data set]. 2019. DOI: 10.24381/cds.006f2c9a (дата обращения: 20.07.2024).
12. Brown C.F., Brumby S.P., Guzder-Williams B., Birch T., Hyde S.B., Mazzariello J. et al. Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping // Scientific Data. 2022. Vol. 9. No. 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>.
13. Product User Manual World Cover. URL: https://esa-worldcover.s3.eu-central-1.amazonaws.com/v200/2021/docs/WorldCover_PUM_V2.0.pdf (дата обращения: 20.07.2024).
14. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., de Roo B., Lesiv M., Tsendbazar N.-E., Li L., Tarko A. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: version 3 Globe 2015-2019: Product User Manual (Dataset v3.0, doc issue 3.3). 2020. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3938963.
15. Product User Manual WorldCover v100. URL: https://esa-worldcover.s3.eu-central-1.amazonaws.com/v100/2020/docs/WorldCover_PUM_V1.0.pdf (дата обращения: 20.07.2024).
16. Land Cover Climate Change Initiative - Product User Guide v2. Issue 2.0. URL: http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf (дата обращения: 20.07.2024).
17. Product User Guide and Specification, CDR and ICDR Sentinel-3 Land Cover (v2.1.1). URL: https://datastore.copernicus-climate.eu/documents/satellite-land-cover/WP2-FDDP-LC-2021-2022-SENTINEL3-300m-v2.1.1_PUGS_v1.1_final.pdf (дата обращения: 20.07.2024).

STUDY OF THE GLOBAL LAND COVER DATASETS TO ASSESS THEIR COMPLIANCE WITH THE CONDITIONS OF THE LOWER DON REGION

A.V. Parfenova, V.V. Kulygin

Federal Research Centre The Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don
annparfenowa@mail.ru; kulygin@ssc-ras.ru

Abstract. Land cover datasets are an accessible way to analyze and quantify changes in modern landscapes at the catchment level for water resources planning and management. The study reviewed existing available global land cover datasets (Copernicus Global Land Service Dynamic Land Cover map, ESRI 10m Annual Land Use Land Cover, University of Maryland Global Land Cover, ESA Climate Change Initiative Global Land Cover, Dynamic World) and assessed their suitability for the Lower Don basin. The analysis revealed the following shortcomings of global land cover datasets: heterogeneity of the dataset; erroneous class assignment for highly fragmented landscapes; reduced quality of land cover classification due to a lack of satellite imagery. To investigate the presence of significant changes in the distribution of land cover classes in the Lower Don basin, linear regression dependences were constructed on the year number for the period 2015-2022 years for the longest CCI-GLC dataset. The most significant changes were in the “herbaceous cover” and “cropland” land classes. The reviewed datasets are ordered from the most suitable to the least suitable for studying land cover in the Lower Don basin in following way: Copernicus Global Land Service Dynamic Land Cover map (CGLS-LC), Dynamic World (DW), ESA Climate Change Initiative Global Land Cover (CCI-GLC), University of Maryland Global Land Cover (UMd-GLC) and ESRI 10m Annual Land Use Land Cover (ESRI-LULC).

Keywords: land cover, dynamics of vegetation, Lower Don basin.

References

1. Matishov G.G., Dashkevich L.V., Titov V.V., Kirillova E.E. 2021. [Analysis of intracentury environmental variability in the sea of Azov and lower Don regions: the cause of low water period]. *Nauka Yuga Rossii [Science in the South Russia]*. 17(1): 13–23. DOI: 10.7868/S25000640210102. EDN: ODEWFL. (In Russian).
2. Matishov G.G., Novenko E.Y., Dyuzhova K.V. 2013. Palynological indication of anthropogenic changes in the Azov Region vegetation based on the bottom sediments of the Sea of Azov. *Doklady Earth Sciences*. 450(2): 672–675. DOI: 10.1134/S1028334X13060184. EDN: RFHTNX. (In Russian).
3. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N.-E., Masiliunas D., Linlin L., Herold M., Fritz S. 2020. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2015: Globe (Version V3.0.1) [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3939038.
4. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N.-E., Masiliunas D., Linlin L., Herold M., Fritz S. 2020. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2016: Globe (Version V3.0.1) [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3518026.
5. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N.-E., Masiliunas D., Linlin L., Herold M., Fritz S. 2020. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2017: Globe (Version V3.0.1) [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3518036.
6. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N.-E., Masiliunas D., Linlin L., Herold M., Fritz S. 2020. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2018: Globe (Version V3.0.1) [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3518038.
7. Zanaga D., van de Kerchove R., de Keersmaecker W., Souverijns N., Brockmann C., Quast R., Wevers J., Grosu A., Paccini A., Vergnaud S., Cartus O., Santoro M., Fritz S., Georgieva I., Lesiv M., Carter S., Herold M., Li Linlin, Tsendbazar N.-E., Ramoino F., Arino O. 2021. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.5571936.
8. Zanaga D., van de Kerchove R., Daems D., De Keersmaecker W., Brockmann C., Kirches G., Wevers J., Cartus O., Santoro M., Fritz S., Lesiv M., Herold M., Tsendbazar N.-E., Xu P., Ramoino F., Arino O. 2022. ESA WorldCover 10 m 2021 v200 [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.7254221.
9. Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P. 2021. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning. *IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Brussels, Belgium: 4704–4707. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499.
10. Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Hernandez-Serna A., Tyukavina A., Turubanova S., Zalles V., Li X., Khan A., Stolle F., Harris N., Song X., Baggett A., Kommareddy I., Kommareddy A. 2022. The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived from the Landsat Archive: First Results. *Front. Remote Sens.* 3:856903. DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.
11. Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store. Land cover classification gridded maps from 1992 to present derived from satellite observation. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS) [Data set]. 2019. DOI: 10.24381/cds.006f2c9a (accessed 20 July 2024).
12. Brown C.F., Brumby S.P., Guzder-Williams B., Birch T., Hyde S.B., Mazzariello J. et al. 2022. Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*. 9(1): 1–17. DOI: 10.1038/s41597-022-01307-4.
13. Product User Manual World Cover. URL: https://esa-worldcover.s3.eu-central-1.amazonaws.com/v200/2021/docs/WorldCover_PUM_V2.0.pdf (accessed 20 July 2024).
14. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., De Roo B., Lesiv M., Tsendbazar N.-E., Li L., Tarko A. 2020. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: version 3 Globe 2015-2019: Product

1. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС ПРИ РЕШЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

User Manual (Dataset v3.0, doc issue 3.3). Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3938963.

15. Product User Manual WorldCover v100. URL: https://esa-worldcover.s3.eu-central-1.amazonaws.com/v100/2020/docs/WorldCover_PUM_V1.0.pdf (accessed 20 July 2024).

16. Land Cover Climate Change Initiative – Product User Guide v2. Issue 2.0. URL: <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/>

[download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf](#) (accessed 20 July 2024).

17. Product User Guide and Specification, CDR and ICDR Sentinel-3 Land Cover (v2.1.1). URL: https://datastore.copernicus-climate.eu/documents/satellite-land-cover/WP2-FDDP-LC-2021-2022-SENTINEL3-300m-v2.1.1_PUGS_v1.1_final.pdf (accessed 20 July 2024).