

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕРЕСТИЛИЩ НИЖНЕГО ДОНА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.С. Шинкаренко¹, А.А. Васильченко²

¹ Институт космических исследований РАН, науч. сотр., канд. с.-х. наук; e-mail: shinkarenkos@vfanc.ru

² Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, инженер-исследователь; e-mail: vasilchenko-a@vfanc.ru

Строительство Цимлянской плотины в 1952 г. и климатические изменения привели к значительному сокращению весеннего стока и площади нерестилищ р. Дон в его нижнем течении. Если в многоводный 1963 г. было залито 300 тыс. га нерестовых площадей, то в 1979–1994 гг. – не более 130 тыс. га. Во многие последующие годы вода вообще не выходила на пойму. Следствием этого стала деградация рыбного хозяйства нижнего Дона, а нерестовые территории стали распахивать и застраивать. Нерестилища нижнего Дона являлись основой для воспроизводства проходных и полупроходных рыб Азово-Донского бассейна, уже потерявшего свое промысловое значение по осетровым и сельдям. В статье представлены результаты картографирования современной структуры пойменных земель нижнего Дона в границах заливаний разных лет. На основе обработки спутниковых изображений Landsat определены площади заливаний в половодья 1979–2018 гг., по данным Sentinel-2 картографирована современная структура землепользования этих земель. Также проанализированы типы земного покрова по глобальным данным GLC30 и ESRI. Так, в границах затопления 1979–1994 гг. расположено 0,7 тыс. га застройки, около 30 тыс. га пашни и 10 тыс. га залежей. Угроза затопления строений и других объектов инфраструктуры приводит к тому, что половодья на Нижнем Дону стали восприниматься как негативное явление. Необходимо введение ограничений на хозяйственное использование пойменных земель, запрет застройки и размещения нефтепродуктов, удобрений и ядохимикатов в границах заливания 1994 г. Использование технологий спутникового мониторинга является перспективным инструментом для оценки хозяйственного освоения пойм и выделения заливаемых земель. В дальнейшем возможно создание автоматизированной системы мониторинга поймы Дона и других рек, в том числе на основе данных спутниковой микроволновой радиометрии. Преимуществом подобных данных является независимость от наличия облачности, затрудняющей спутниковые наблюдения в оптическом диапазоне.

Ключевые слова: пойма, Landsat, Sentinel-2, Ростовская область, половодье

DOI: 10.55959/MSU0579-9414-5-2023-1-16-27

ВВЕДЕНИЕ

Площадь доступных нерестилищ является ключевым фактором стабильности популяций рыб [Белоусов, 2016]. Пойма р. Дон в его нижнем течении играет первостепенную роль в формировании рыбных запасов Азовского бассейна, обеспечивая естественное воспроизводство и пополнение запасов промысловых рыб Азовского моря. Несмотря на это, ее изученность в настоящее время недостаточна. Одна из основных причин заключается в отсутствии мониторинга хозяйственного использования пойменных земель, а статистические наблюдения отдельно по пойменным землям не ведутся [Дубинина, 2019; Жукова, 2020]. Имеющиеся работы касаются либо экологического состояния водоемов [Косенко и др., 2018; Matishov et al., 2016], либо гидрологических проблем Дона и функционирования Цимлянского гидроузла [Киреева и др., 2018а; Bolgov et al., 2020; Georgiadi et al., 2020; Dzhamaalov et al., 2010; Dzhamaalov et al., 2013; Korobkina et al., 2020; Osipova, Bolgov, 2020; Panin et al., 2016; Varentsova et al., 2020]. Оценки современного со-

стояния и хозяйственного освоения нерестилищ поймы Дона в его нижнем течении отсутствуют [Дубинина, 2019; Жукова, 2020]. Существующие оценки структуры земель касаются только бассейна Дона без выделения пойменных земель [Dolgov et al., 2020], в том числе по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса [Киреева и др., 2018б].

После строительства Цимлянского гидроузла изменился естественный сток р. Дон, периодичность и цикличность его многолетней и сезонной динамики. За это время только 11 раз наблюдалось обводнение нерестилищ, и только четырежды (1963, 1979, 1981, 1994) режим обводнения пойменных нерестилищ р. Дон отвечал экологическим требованиям воспроизводства полупроходных и проходных рыб. В границах заливания 1963 г. (максимальный расход 6320 м³/с) выделяют 12 займищ¹ общей площадью 307,5 тыс. га (табл. 1, рис. 1), наиболее важен для воспроизводства полупроходных рыб уча-

¹ Займище – заливаемая в половодье часть поймы. Термин часто используется в нижнем течении Дона и Волги.

сток поймы от ст. Кочетовская до устья Дона общей площадью около 220 тыс. га [Дубинина, 2019; Жукова, 2020]. В среднем за начало заливания поймы для расчетов принят расход 1800 м³/с в створе ст. Раздорской [Дубинина, 2019].

При условно-естественном стоке выход воды на пойму отмечался в среднем 30 марта при среднем расходе половодья 3200 м³/с, а продолжительность стояния воды на пойме была 58 суток. Частота заливания поймы составляла 84% [Дубинина, 2019; Схема..., 2013]. После строительства Цимлянского водохранилища и зарегулирования стока Дона в 1952 г. средняя площадь всей поймы нижнего Дона составила около 170 тыс. га, при-

чем после 1994 г. полноценного обводнения займищ не было из-за маловодья, вследствие чего не было и эффективного нереста проходных и полупроходных рыб [Дубинина, Жукова, 2016]. Из-за перераспределения водных ресурсов Цимлянского водохранилища для целей судоходства и сельского хозяйства сократилась частота рыбохозяйственных попусков [Схема..., 2013]. В результате Азово-Донской промысловый бассейн потерял свое значение не только по осетровым и азовским сельдям, но и частиковым полупроходным рыбам [Мирзоян и др., 2015]. По данным [Белоусов, 2016], промысловый запас судака Азовского моря снизился более чем в 30 раз.

Таблица 1

Использованные спутниковые изображения для выделения площадей заливания

Год	Максимальный расход, м ³ /с	Даты максимальных расходов	Даты спутниковых снимков	Спутник
1979	3290	24–25 мая	3–4, 30–31 мая	Landsat 2/3 MSS
1981	3280	14–17 мая	28–29 мая	Landsat 2 MSS
1994	3420	19–20 мая	13 мая	Landsat 5 TM
1996	2040	6–7 мая	2 мая	Landsat 5 TM
2003	2160	23 апреля	12 апреля	Landsat 7 ETM+
2018	1940	15 мая	26 апреля, 1, 31 мая	Sentinel-2A/2B

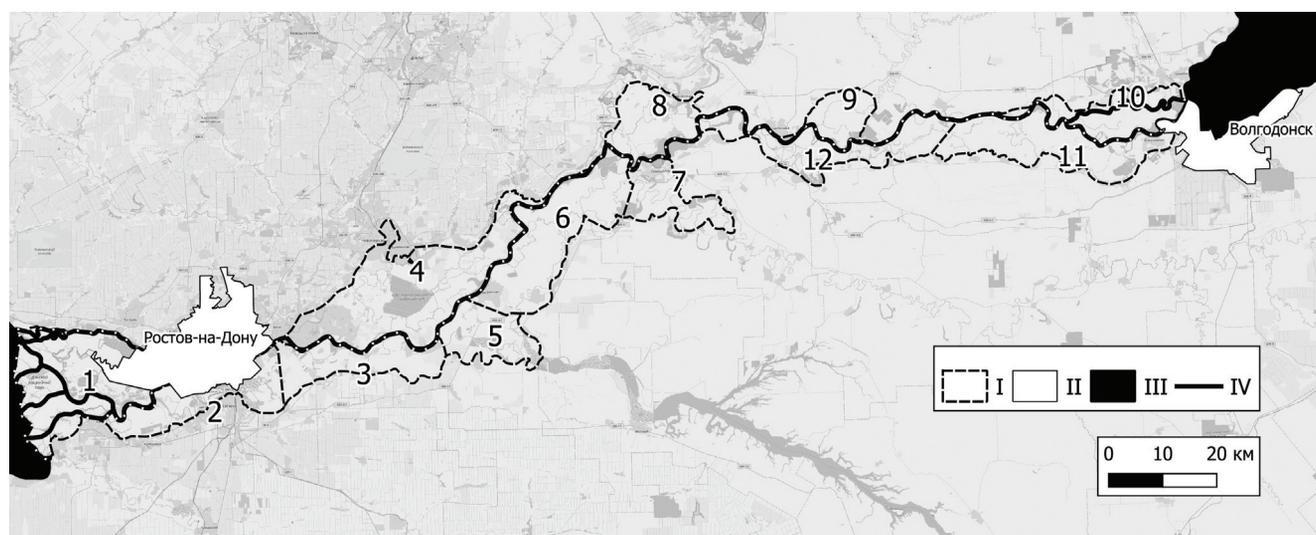


Рис. 1. Расположение нерестилищ в пойме нижнего Дона:

1–12 – номера нерестилищ (см. табл. 1–3); I – границы нерестилищ; II – города Ростов-на-Дону и Волгоград; III – Таганрогский залив Азовского моря и Цимлянское водохранилище; IV – р. Дон

Fig. 1. Location of spawning grounds in the Lower Don River floodplain:

1–12 – numbers of spawning grounds, see Tables 1–3; I – borders of spawning grounds; II – cities of Rostov-na-Donu and Volgograd; III – the Taganrog Bay of the Azov Sea and the Tsimlyansk reservoir; IV – the Don River

Современная пойма нижнего Дона существенно трансформирована строительством множества гидротехнических сооружений, дорог, построек, орошаемых массивов. В этой связи возникает необходимость придания территории статуса особо охраняемой со специальным режимом хозяйствования в зонах периодического затопления, например в границах 1994 г. [Дубинина, 2019; Мирзоян и др., 2015]. Это даст возможность предотвратить строительство капитальных сооружений, вывести незаконные постройки, запретить размещение отходов, промышленных площадок, использование удобрений и ядохимикатов. В то же время велики риски возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных затоплением в половодья хозяйственно-освоенных территорий на пойменных землях нижнего Дона. Значительная часть населенных пунктов, объектов инфраструктуры, промышленности, сельского хозяйства расположены на прибрежных землях в долинах рек. По этой причине высокие половодья, которые соответствуют требованиям воспроизводства рыбных ресурсов, стали восприниматься как стихийные бедствия, которые могут приводить к многомиллиардным ущербам [Белоусов, 2016; Жукова, 2020].

Изменение гидрологического режима пойменных ландшафтов приводит к их нарушению. Например, для Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги характерны снижение амплитуды колебания вод и стабилизация грунтовых, редукция поемного режима, что ведет к деградации высокой и средней поймы [Kuzmina et al., 2018]. В низовьях Сырдарьи в результате гидрологических изменений в последние два десятилетия в естественных ландшафтах средней ступени поймы отмечается ранее не характерное гидроморфное солончакообразование, а также выход не только высокой, но и низкой ступеней из поемного режима [Kuzmina et al., 2019]. Для пойменных ландшафтов среднего Дона также характерно понижение отметок высокой и средней поймы из-за снижения частоты, продолжительности и высоты половодий [Solodovnikov, Shinkarenko, 2020]. Таким образом, определение заливаемых в половодья пойменных земель важно для последующего анализа их состояния, включающего как определение их хозяйственного освоения, так и степени гидрологических нарушений наземных экосистем [Кузьмина, Трешкин, 2017].

Целью работы является определение современного состояния и структуры пойменных земель в границах заливания при разных уровнях, наблюдавшихся в прошлом. Картографирование заливаемых площадей является одним из важных этапов геоинформационного анализа пойменных ландшафтов и позволяет проанализировать характер

использования земель [Solodovnikov, Shinkarenko, 2020]. В дальнейшем эти данные могут послужить для определения потенциальной рыбопродуктивности нерестилищ, состояния пойменных экосистем и оптимизации попусков из Цимлянского водохранилища.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе применены спектрзональные космические снимки Landsat-2 MSS, 5 TM, 7 ETM+ и Sentinel-2 с 1979 по 2018 г. с пространственным разрешением 80 м (сканер MSS), 30 (TM, ETM+) и 10 м у Sentinel-2 (MSI). Выбор источника данных обусловлен достаточным пространственным разрешением для выделения водных объектов, наличием в свободном доступе и глубиной архива более 40 лет. Прочие доступные данные (например, с радиометра MODIS) не подходят для целей исследования из-за низкого пространственного разрешения, несмотря на высокое временное разрешение. Также данные MODIS не охватывают период до 2000 г. Даты съемки подбирались максимально близко ко времени пиков половодья на нижнем Дону – последняя декада апреля и май (см. табл. 1). Тем не менее реальные площади заливания могут отличаться от полученных оценок, так как даты максимальных уровней воды не совпадают с датами полученных спутниковых изображений, что связано с временным разрешением последних до двух недель. При наличии нескольких снимков за один год бралась объединенная площадь водного зеркала.

Водные объекты и площадь заливания выделялись управляемой классификацией красного и ближнего инфракрасного каналов (3-й и 4-й каналы Landsat-2, 3, 5, 7; 8-й и 4-й каналы Sentinel-2A) в QGIS. После чего классифицированные растры преобразовывались в полигональные объекты, затем корректировались границы объектов, исходя из визуального контроля по панхроматическому каналу и цветовому RGB-композиту 3, 2 и 1-го каналов Landsat-2, 3, 5, 7 (4, 3 и 2-го каналов Sentinel 2A). Этот подход к анализу состояния пойменных земель уже применялся авторами в Волго-Ахтубинской пойме, дельте Волги, дельте Сырдарьи и притоках Дона в его среднем течении [Рулев и др., 2017; Kuzmina et al., 2018; Kuzmina et al., 2019; Solodovnikov, Shinkarenko, 2020].

Структура подстилающей поверхности в бассейне в 2020 г. определялась по данным Global Land Cover (GLC30), которые имеют разрешение 30 м [Chen et al., 2014], а также продукта ESRI Landcover с разрешением 10 м [Karra et al., 2020]. Указанные информационные продукты имеют наибольшее пространственное разрешение из всех доступных [Hua et al., 2018]. Все данные разрешения 10 м были

приведены к разрешению 30 м. Легенда использованных информационных продуктов типов земного покрова включает следующие категории в районе исследований: пашни, леса, водоемы, искусственные поверхности, кустарники, водно-болотные угодья (ВБУ), пастбища и сенокосы (grassland), открытые почвы и грунты.

Кроме использования указанных информационных продуктов, на основе визуального экспертного дешифрирования по спутниковым композитам Sentinel-2A и контролем по данным сверхвысокого разрешения Google Earth Pro выделены категории землепользования в границах заливаний 1979, 1981, 1994 и 2018 гг. Экспертное дешифрирование позволило уточнить границы застройки на заливаемых землях, а также отделить залежные земли от обрабатываемых. С помощью оверлейных операций определены площади участков различных категорий земель на займищах, которые были залиты в исследуемые годы. Границы займищ приводятся согласно работе [Жукова, 2020]. Геоинформационная обработка выполнена в программе QGIS. Площади рассчитывались на эллипсоиде WGS 84 (система координат WGS 84, UTM zone 38N), площади заливаний приводятся после вычитания площадей водоемов в период летне-осенней межени и русел. Статистический анализ произведен в Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе классификации красного и ближнего инфракрасного каналов Landsat были определены площади заливаний в пойме нижнего Дона в 1979, 1981, 1994 и 2018 гг. Также выход воды на пойму отмечен в 1985, 1993, 1996 и 2003 гг., но из-за облачности определить площадь всех займищ в эти годы не удалось. Наибольшая площадь заливания отмечена в 1979 г. при максимальных расходах в створе ст. Раздорской – 3290 м³/с. В этот год было залито примерно 130 тыс. га, или 41,5% от площади половодья 1963 г. (табл. 2). В дельте Дона во все годы площадь водной поверхности занижена, поскольку перекрыта зарослями тростника и другой высокорослой околородной растительности. По этой причине на спутниковых снимках водное зеркало, маскированное растительностью, идентифицировалось не всегда. В реальности доля заливания в дельте значительно выше, чем получена по данным дистанционного зондирования. В то же время в дельте Дона имеют место сгонно-нагонные явления [Матишов, Бердников, 2015], которые могут вносить существенную неопределенность при определении зон заливаний в дельтовой части в весенний период.

Половодье 1994 г. стало третьим по водности после 1963 и 1979 гг., было залито примерно 38% площади. Обеспеченность весеннего стока

Таблица 2

Площади заливания займищ в половодья разных лет

№ п/п	Займище	Площадь, тыс. га / %						
		Год						
		1979	1981	1993	1994	1996	2003	2018
1	Дельта Дона	3,9 / 9,7	2,5 / 6,2	8,3 / 20,9	8,3 / 20,9	4,0 / 10,0	2,8 / 7,0	3,9 / 9,8
2	Койсугское	11,0 / 49,6	10,0 / 45,0	3,9 / 17,6	9,1 / 41,0	2,8 / 12,8	1,1 / 4,8	2,0 / 8,9
3	Ольгинское	4,7 / 24,6	4 / 20,9	0,9 / 4,6	5,5 / 28,8	1,3 / 6,7	0,3 / 1,8	0,4 / 1,9
4	Аксайское	37,6 / 74,1	34,5 / 67,9	10,7 / 21,1	34,7 / 68,3	15,7 / 30,9	5,3 / 10,3	4,7 / 9,2
5	Манычское	8,6 / 58,3	7,6 / 51,5	2,3 / 15,6	8,5 / 57,3	2,2 / 14,9	0,6 / 3,8	1,1 / 7,5
6	Сусагско-Подпольненское	14,3 / 40,9	9,6 / 27,5	1,9 / 5,5	18,7 / 53,7	1,4 / 4,0	0,4 / 1,0	0,9 / 2,5
7	Сальское	3,6 / 25,3	2,3 / 15,8	1,6 / 11,5	5,3 / 37,2	2,3 / 15,9	1,0 / 6,8	1,3 / 8,9
8	Кочетовское	3,2 / 19,0	0,6 / 3,6	0,2 / 1,2	3,9 / 23,2	0,4 / 2,6	0,1 / 0,6	0,1 / 0,9
9	Кагальницкое	5,7 / 60,8	3,9 / 41,7	0,1 / 0,8	0,8 / 8,8	0,2 / 1,7	0,1 / 1,2	0,4 / 4,1
10	Сухо-Кумшакское	5,1 / 32,2	0,3 / 1,6	–	–	–	–	0,4 / 2,4
11	Дубенцовское	8,2 / 28,0	3,5 / 11,9	–	–	–	–	1,2 / 4,2
12	Задоно-Кагальницкое	14,4 / 64,2	6,9 / 30,7	0,5 / 2,2	14,5 / 64,8	0,9 / 4,2	0,1 / 0,4	1,2 / 5,3
Всего		120,2 / 41,5	85,6 / 29,5	30,5 / 10,5	108,5 / 37,5	31,7 / 10,7	11,6 / 4,4	15,4 / 5,3

в 1994 г. составила 5%, границы заливания этого года предлагается использовать в качестве актуальных для займищ [Жукова, 2020]. Для Сухо-Кумшакского и Дубенцовского займищ не удалось определить площади из-за отсутствия безоблачных спутниковых изображений, поэтому данная оценка имеет неопределенность в 5–7%. Также к 1994 г. из-за строительства дамбы, ограждающей сельскохозяйственные поля, Кагальницкое займище большей частью вышло из пойменного режима: в 1994 г. площадь заливания сократилась в 8 раз по сравнению с 1979 г. Наиболее эффективным во все годы было Аксайское займище, залитое на 74% в 1979 г., на 68,3% в 1994 г. В последующие годы оно также заливалось наиболее сильно. К 2018 г. кроме Аксайского на 7–10% заливались также дельта

Дона, Койсугское, Манычское и Сальское займища. При этом весной 2018 г. вода на пойме держалась около месяца, что вдвое меньше средней продолжительности половодья в период условно-естественного стока.

По данным GLC30 в 2020 г. в пойме нижнего Дона в границах заливания 1963 г. преобладают луга (39%), пашни (30%) и ВБУ (17%). Искусственные поверхности занимают 12 тыс. га, или 4% территории. Наиболее сильно освоены в сельскохозяйственном отношении Ольгинское, Кочетовское, Кагальницкое и Сухо-Кумшакское займища, половина площади которых распаханна. Наименее освоена дельта Дона, представленная на 80% водно-болотными угодьями. Наиболее застроены Ольгинское и Сальское займища (рис. 2, табл. 3).

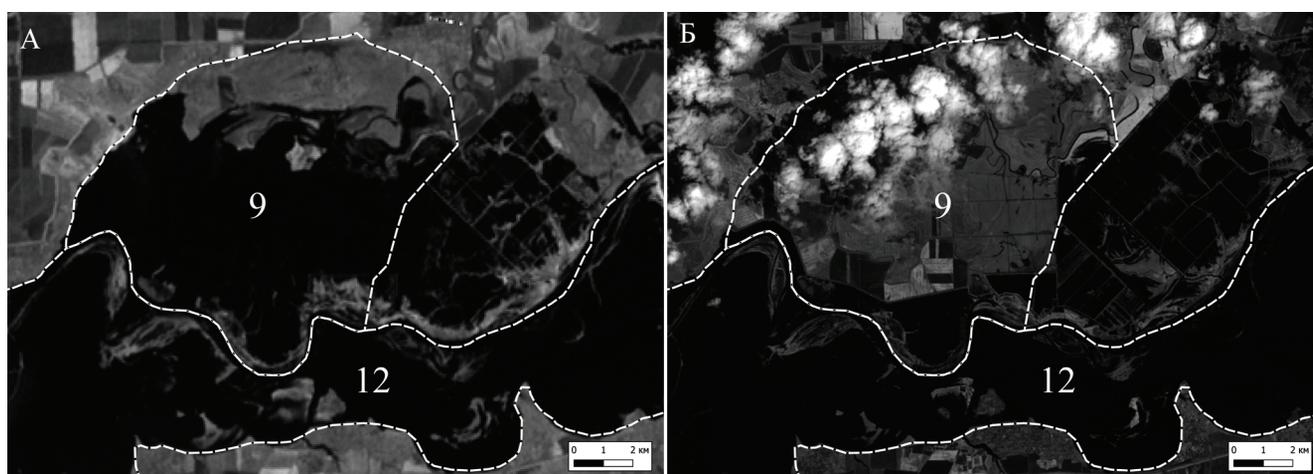


Рис. 2. Кагальницкое (9) и Задано-Кагальницкое (12) займища 30 мая 1979 г. (А) и 13 мая 1994 г. (Б), пунктирная линия – граница займищ

Fig. 2. Kagalnikskoye (9) and Zadono-Kagalnikskoye floodplain meadows on May 30, 1979 (A) and May 13, 1994 (B); the dotted line – the borders of floodplain meadows

Согласно продукту ESRI Land cover, большая часть поймы в 2020 г. представлена пашней (42%) и кустарниками (27%), луга и ВБУ занимают всего 9,5 и 2% соответственно. Площадь застройки составляет 4% (табл. 4). Данные ESRI показывают наличие кустарников в пойме Дона, которые на самом деле здесь почти не представлены, что подтверждается данными GLC30, не зафиксировавшими этот тип растительности (shrubland). Видимо, алгоритм продукта ESRI относит к кустарникам водно-болотные угодья, представленные высокопродуктивной околосводной растительностью, отсюда заниженные оценки площадей ВБУ и завышенные площади кустарниковой растительности. Оба информационных продукта дают сходную оценку площади застройки (4%) и лесов (6%). Реальная площадь пашни в пойме Дона составляет не более 40% территории, поскольку многочисленные осушенные пруды рыб-

ных хозяйств также могли быть отнесены к сельскохозяйственным землям по данным использованных информационных продуктов.

Для оценки структуры заливаемых земель полученные электронные карты типов земного покрова GLC30 и ESRI были сопоставлены с границами водного зеркала в половодья 1979, 1981, 1994 и 2018 гг. Таким образом были определены земли, которые могут быть залиты при повторении половодий указанных лет в настоящее время. Так, площадь застройки, которая будет затоплена при повторении уровней 1979 и 1994 гг., составляет 1,2 тыс. га, в 2018 г. было залито 0,2 и 0,6 тыс. га застроенной площади согласно GLC30 и ESRI соответственно. Большая часть застройки, которая находится в зоне затопления, расположена на Койсугском (0,3–0,4 тыс. га) и Аксайском (0,2–0,3 тыс. га) займищах.

Таблица 3

**Список займищ нижнего Дона и площади различных типов земного покрова
по данным GLC30 в 2020 г.**

№ п/п	Займище	Площадь, тыс. га						
		Всего	Пашни	Лес	Луга	ВБУ	Водные объекты	Искусственные поверхности
1	Дельта Дона	42,83	0,04	0,03	2,01	34,34	4,58	1,84
2	Койсугское	23,76	1,80	1,27	9,82	7,07	2,61	1,18
3	Ольгинское	19,38	8,86	0,12	7,88	0,06	0,65	1,80
4	Аксайское	52,28	15,65	0,59	28,17	4,60	2,12	1,15
5	Манычское	15,28	2,86	0,10	7,64	2,82	1,66	0,19
6	Сусатско-Подпольненское	36,61	9,06	1,69	21,52	1,01	1,52	1,80
7	Сальское	14,45	4,68	0,29	6,25	0,10	1,75	1,38
8	Кочетовское	17,36	9,70	1,35	5,37	0,00	0,41	0,53
9	Кагальницкое	9,41	5,17	1,03	2,87	0,00	0,26	0,08
10	Сухо-Кумшакское	17,41	9,81	2,53	2,97	0,02	1,79	0,29
11	Дубенцовское	30,39	8,30	6,87	11,38	0,19	2,14	1,51
12	Задано-Кагальницкое	23,64	5,69	3,60	12,08	0,06	2,09	0,13
Всего		302,79	302,79	19,49	117,96	50,26	21,58	11,88

Таблица 4

Площади различных типов земного покрова на займищах нижнего Дона по данным ESRI в 2020 г.

№ п/п	Займище	Площадь, тыс. га							
		Разлив 1963 г.	Пашни	Лес	Луга	ВБУ	Водные объекты	Искусственные поверхности	Кустарники
1	Дельта Дона	43,46	4,59	0,54	12,28	2,36	6,42	1,50	15,73
2	Койсугское	23,78	3,70	0,66	2,73	0,71	2,58	1,79	11,45
3	Ольгинское	19,40	10,62	0,26	0,49	0,01	0,85	1,72	5,44
4	Аксайское	52,29	31,65	1,77	3,18	0,09	2,84	1,30	11,34
5	Манычское	15,29	6,33	0,27	0,73	1,07	1,69	0,29	4,91
6	Сусатско-Подпольненское	36,64	15,30	3,09	1,31	0,03	1,95	1,93	13,00
7	Сальское	14,49	6,59	0,38	0,53	0,15	2,08	1,33	3,40
8	Кочетовское	17,38	10,52	3,46	0,20	0,00	0,58	0,61	1,96
9	Кагальницкое	9,42	6,56	0,49	0,31	0,00	0,30	0,08	1,69
10	Сухо-Кумшакское	17,43	8,09	2,44	0,80	0,18	2,33	0,13	3,45
11	Дубенцовское	30,38	11,68	2,80	4,32	1,43	3,10	1,37	5,67
12	Задано-Кагальницкое	23,65	11,69	2,51	1,91	0,05	2,71	0,09	4,68
Всего		303,61	303,6	18,68	28,81	6,08	27,42	12,15	82,71

Угроза затопления населенных пунктов, дачных поселков и других объектов инфраструктуры может стать существенным ограничивающим фактором для высоты половодья на нижнем Дону. Так, в 2001, 2004 и 2007 гг. приток воды в Цимлянское водохранилище позволял увеличить пуски для заливания поймы, но это не было сделано во многом из-за

угрозы затопления объектов инфраструктуры [Белоусов, 2016]. В результате застройки пойменных земель половодья воспринимаются как стихийные бедствия, приводящие к ущербу. По этой причине необходимо срочное ограничение строительства в границах заливания 1994 г. [Белоусов, 2016; Дубинина, 2019]. Также необходимо проведение разьяс-

нительной работы с населением, поскольку периодические заливания поймы являются нормальным режимом функционирования рек [Жукова, 2020].

Для уточнения площадей застройки было проведено экспертное дешифрирование спутниковых снимков Sentinel-2 разрешения 10 м на 2020 г. Общая площадь застроенных земель на 2020 г. в зоне затопления 1979–1994 гг. составила около 700 га, из которых 312 га расположены на Койсугском займище, еще 130 га – на Ольгинском и 190 га – на Аксайском. Пойменные земли застраиваются как за счет расширения существующих населенных

пунктов, так и за счет постройки дачных поселков в пойме. Например, СНТ «Задонье», созданное в 2003 г. на левом берегу Дона на землях, полностью заливаемых в 1979 и 1994 гг. (рис. 3). По данным [Белоусов, 2016], в границах Ростова-на-Дону площадь застройки после 1994 г. увеличилась в 40 раз, включая опасные производственные объекты: АЗС, склады нефтепродуктов и химических реактивов. Застройка пойм и водно-болотных угодий – проблема общемировая, которая ведет к негативным экологическим последствиям [Penfound, Vaz, 2021].

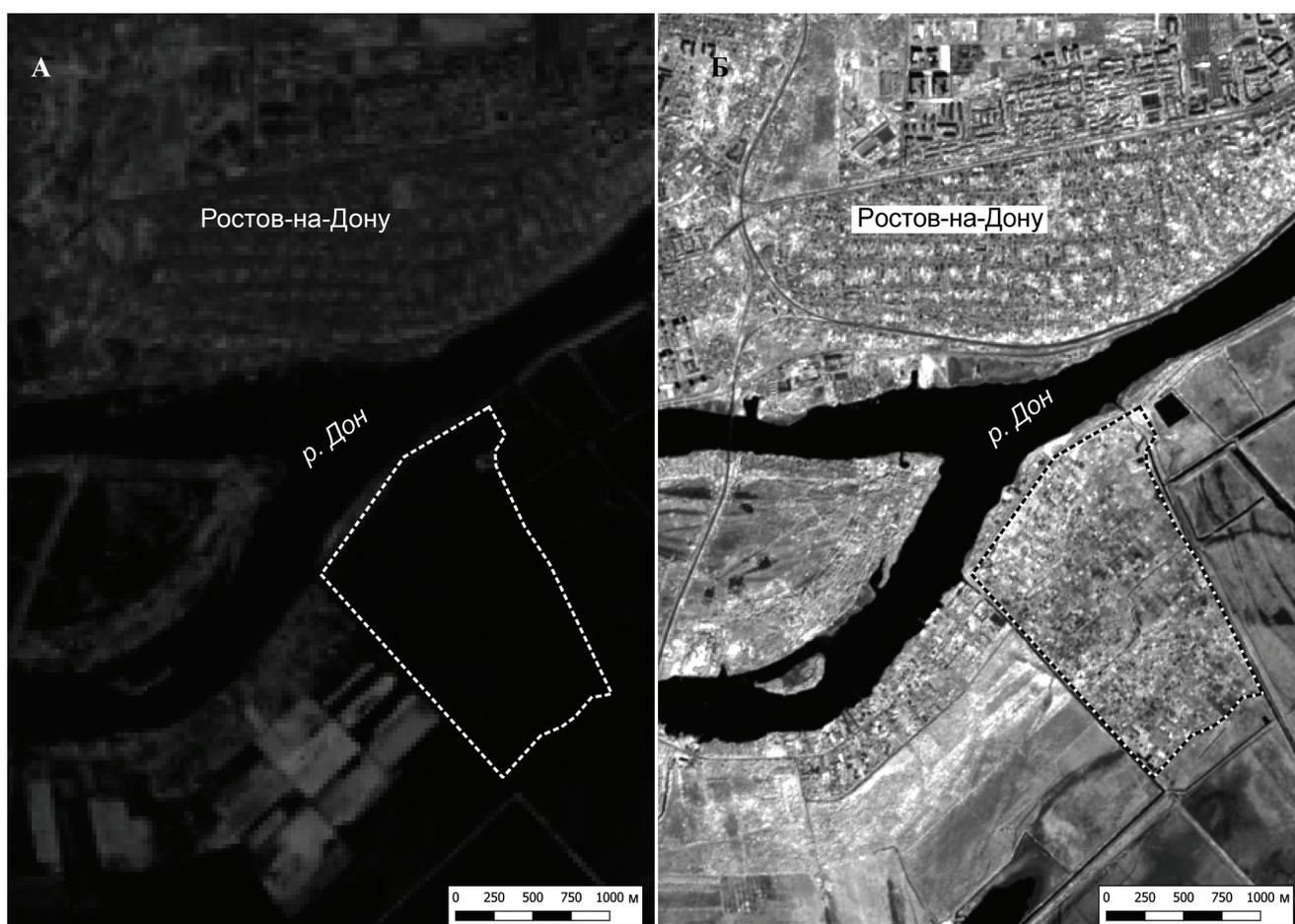


Рис. 3. Пример застройки залитых в 1994 г. земель: пунктирная линия – граница СНТ; А – 13 мая 1994 г.; Б – 5 мая 2021 г.

Fig. 3. An example of the development of lands flooded in 1994: the dotted line is the border of SNT; А – on May 13, 1994; Б – on May 5, 2021

По данным экспертного дешифрирования спутниковых снимков Sentinel-2, на 2020 г. в зоне затопления 1994 г. расположено 32,5 тыс. га пашни и 9,3 тыс. га залежей (30 и 8,5% всех заливаемых земель). Пахотные земли являются источником поступления в воду загрязняющих веществ, поэтому распашка пойменных земель должна регулироваться. Здесь должно быть ограничено использование и

запрещено складирование удобрений и ядохимикатов. Наиболее распахан Аксайское займище (около 30%), где расположено более 15 тыс. га пашни и 2,7 тыс. га залежей (44 и 28% всей площади этих категорий земель поймы).

В бассейне Дона в последние десятилетия зафиксировано существенное снижение весеннего стока [Киреева и др., 2018а; Киреева, Фролова, 2013;

Solodovnikov, Shinkarenko, 2020]. При сохранении этой тенденции частота, высота и длительность паводков могут снижаться. В результате может интенсифицироваться застройка и хозяйственное освоение заливаемых ранее участков поймы. Спутниковый мониторинг является достаточно перспективным методом оценки состояния пойменных земель и их хозяйственного использования: площадей заливания, застройки, распашки. В дальнейшем возможно развитие системы автоматизированного мониторинга хозяйственного освоения пойм не только Дона, но и других крупных рек. В настоящее время большая часть исследований на основе данных ДЗЗ направлена на мониторинг и прогнозирование наводнений, оценку рисков затопления территорий населенных пунктов. Результаты чаще всего основаны на цифровых моделях рельефа и местности, климатических данных и гидродинамическом моделировании [Chen et al., 2021]. Результаты картографирования водного зеркала по спутниковым данным могут служить основой для калибровки подобных моделей. Развитие методов спутниковой микроволновой радиометрии позволяет проводить картографирование независимо от доступности безоблачных изображений, поскольку радиоволны проникают через облака, а разрешение радарных данных приближается к оптическим сенсорам. Это также одно из направлений оптимизации методов картографирования водных объектов как на глобальном, так и на локальном уровнях [Bueso-Bello et al., 2021].

ВЫВОДЫ

Пойма нижнего Дона значительно освоена в хозяйственном отношении: в границах заливания 1963 г. по разным данным 30–40% представлено пашней и 4% застройкой. Около 50–60% составляют луга и водно-болотные угодья. Таким образом, в пойме сохраняется значительный нерестовый потенциал. Самая высокая доля лугов на Аксайском займище – 54%, также луга преобладают на Манычском, Сусатско-Подпольненском, Сальском и Задон-

но-Кагальницком займищах – это 50, 59, 43 и 51% соответственно.

В настоящее время из 307,5 тыс. га площади займищ, заливаемых в 1963 г., отмечено фактическое заливание на площади лишь около 120 тыс. га. За последние два десятилетия площадь заливаний не превысила 20 тыс. га, что связано со снижением стока в весенний период как из-за климатических изменений, так и гидротехнического регулирования. Наибольшая доля заливания характерна для Аксайского займища – от 74% в 1979 до 9% в 2018 г. Кагальницкое займище после постройки оросительного канала и дамбы потеряло свое нерестовое значение: в 1979 г. оно было залито на 60%, а в 1994 г. всего на 9%. Судя по паводку 2018 г., актуальны для нереста следующие займища: дельта Дона, Койсугское, Аксайское, Манычское, Сальское (8–10% обводнения). Общая площадь разлива в 2018 г. без учета русел составила 15,4 тыс. га.

Среди заливаемых земель преобладают некашиваемые луга и другие земли, велика доля пашни. В границах заливания в паводке 5% обеспеченности (например, в 1994 г.) в настоящее время будет залито около 33 тыс. га пахотных земель и около 10 тыс. га залежей. Примерно 10 тыс. га сенокосов, около 0,7 тыс. га застройки. В условиях периодического заливания пойменных земель возникают существенные риски чрезвычайных ситуаций и затопления населенных пунктов и объектов инфраструктуры. Наибольшая площадь урбанизированных территорий характерна для Койсугского, Ольгинского, Сальского и Сусатско-Подпольненского займищ. Необходимо создать особо охраняемую природную территорию в пойме Дона в границах затопления 1994 г., где ввести запрет на застройку и ограничить распашку пойменных земель. Должна проводиться просветительская работа с населением и представителями местного самоуправления, так как периодические заливания пойменных земель – нормальный процесс функционирования любой реки.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-77-00018) с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [Лузян и др., 2015] и возможностей информационного сервиса Вега [Барталев и др., 2012]. Авторы благодарны младшему научному сотруднику ФНЦ агроэкологии РАН В.А. Романову за помощь в экспрессном дешифрировании спутниковых снимков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барталев С.А., Еришов Д.В., Лузян Е.А., Толтин В.А. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 49–56.
- Белоусов В.Н. Последний рубеж естественного воспроизводства в Азово-Донском районе // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 14–19.
- Дубинина В.Г. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ // Экосистемы: эко-

- логия и динамика. 2019. Т. 3. № 1. С. 67–97. DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027.
- Дубинина В.Г., Жукова С.В. Оценка возможных последствий строительства Багаевского гидроузла для экосистемы нижнего Дона // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 20–30.
- Жукова С.В. Обеспеченность водными ресурсами рыбного хозяйства нижнего Дона // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3. № 1. С. 7–19.
- Киреева М.Б., Илич В.П., Гончаров А.В., Богачев А.Н., Фролова Н.Л., Пахомова О.М., Соловьева В.В. Влияние маловодья 2007–2015 гг. в бассейне р. Дон на состояние водных экосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018а. № 5. С. 3–13.
- Киреева М.Б., Илич В.П., Сазонов А.А., Михайлюкова П.Г. Оценка трансформации поверхности водосбора и ее влияния на условия формирования стока в бассейне р. Дон на основе данных космической съемки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018б. Т. 15. № 2. С. 191–200. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-191-200.
- Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России. 2013. № 1. С. 60–76.
- Косенко Ю.В., Баскакова Т.Е., Картамышева Т.Б. Роль стока реки Дон в формировании продуктивности Таганрогского залива // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 3–4. С. 32–39.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Методика оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах в результате климатических и гидрологических изменений // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1. № 3. С. 146–188.
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
- Матишов Г.Г., Бердников С.В. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г. // Известия РАН. Сер. Географическая. 2015. № 1. С. 111–118. DOI: 10.15356/0373-2444-2015-1-111-118.
- Мирзоян А.В., Жукова С.В., Подмарева Т.И., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Бурлачко Д.С., Карманов В.Г., Шишкин В.М., Куропаткин А.П. Современное состояние и пути реконструкции поймы нижнего Дона // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года». Т. 1. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 327–335.
- Рулес А.С., Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю. Оценка влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159. Кн. 1. С. 139–152.
- Bolgov M.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Vlasenko M.V., Shul'gin M.V. Azov – Don water problem, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 1065–1076, DOI: 10.1134/S0097807820060032.
- Bueso-Bello J.-L., Martone M., González C., Sica F., Valdo P., Posovszky P., Pulella A., Rizzoli P. The Global Water Body Layer from TanDEM-X Interferometric SAR Data, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 5069, DOI: 10.3390/rs13245069.
- Chen C., Luan D., Zhao S., Liao Z., Zhou Y., Jiang J., Pei Q. Flood Discharge Prediction Based on Remote-Sensed Spatiotemporal Features Fusion and Graph Attention, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 5023, DOI: 10.3390/rs13245023.
- Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map, *Nature*, 2014, vol. 514, p. 434, DOI: 10.1038/514434c.
- Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Barabanova E.A. Landscape-hydrological changes in the Don basin, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 934–944, DOI: 10.1134/S0097807820060056.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Current changes in river water regime in the Don River basin, *Water resources*, 2013, vol. 40, no. 6, p. 573–584, DOI: 10.1134/S0097807813060043.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I. Climate-Induced Changes in Groundwater Runoff in Don Basin, *Water Resources*, 2010, vol. 37, no. 5, p. 733–742, DOI: 10.1134/S0097807810050131.
- Georgiadi A.G., Milyukova I.P., Kashutina E.A. Contemporary and scenario changes in river runoff in the Don basin, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 913–923, DOI: 10.1134/S0097807810050131.
- Hua T., Zhao W., Liu Y., Wang S., Yang S. Spatial Consistency Assessments for Global Land-Cover Datasets: A Comparison among GLC2000, CCI LC, MCD12, GLOB-COVER and GLCNMO, *Remote Sensing*, 2018, vol. 10, no. 11, p. 1846, DOI: 10.3390/rs10111846.
- Korobkina E.A., Filippova I.A., Kharlamov M.A. Evaluating the runoff in the Don basin: the need to change the paradigm of hydrological calculations, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 924–933, DOI: 10.1134/S009780782006007X.
- Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region, *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 4, p. 231–244, DOI: 10.1134/S2079096118040066.
- Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr-Darya River under Modern Changing Conditions, *Arid Ecosystems*, 2019, vol. 9, no. 4, p. 226–236, DOI: 10.1134/S207909611904005X.
- Matishov G.G., Stepan'yan O.V., Khar'kovskii V.M., Startsev A.V., Bulysheva N.I., Semin V.V., Soier V.G., Krenneva K.V., Glushchenko G.Yu., Svistunova L.D. Characteristic of Lower Don aquatic ecosystem in late autumn, *Water resources*, 2016, vol. 43, no. 6, p. 873–884, DOI: 10.1134/S009780781606004X.
- Osipova N.V., Bolgov M.V. Assessing the characteristics of the maximal spring flood runoff in the Don basin under nonstationary conditions, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 945–952, DOI: 10.1134/S009780782006010X.
- Panin G.N., Vyrychalkina T.Yu., Grechushnikova M.G., Solomonova I.V. Specific features of the hydrological regime of the Tsimlyansk reservoir under climate changes in the Don basin, *Water resources*, 2016, vol. 43, no. 2, p. 249–258, DOI: 10.1134/S0097807816020123.

- Penfound E., Vaz E.* Analysis of Wetland Landcover Change in Great Lakes Urban Areas Using Self-Organizing Maps, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 4960, DOI: 10.3390/rs13244960.
- Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S.* Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin, *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 719–728, DOI: 10.1134/S0097807820060135.
- Varentsova N.A., Kireeva M.B., Frolova N.L., Kharlamov M.A., Ilich V.P., Sazonov A.A.* Forecasting water inflow into the Tsimlyansk reservoir during spring flood under current climate conditions: problems and reproducibility, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 953–967, DOI: 10.1134/S0097807820060159.
- Электронные ресурсы*
 Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Дон. 2013. URL: http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/ (дата обращения 15.01.2022).
- 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. IEEE, 2021, URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>, DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499 (дата обращения 15.01.2022).

Поступила в редакцию 14.02.2022

После доработки 06.05.2022

Принята к публикации 27.06.2022

ACTUAL STATE OF THE LOWER DON SPAWNING GROUNDS ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

S.S. Shinkarenko¹, A.A. Vasilchenko²

¹ *Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Scientific Researcher, Ph.D. in Agricultural Sciences; e-mail: shinkarenkos@yrfanc.ru*

² *Federal Scientific Centre for agroecology, complex amelioration and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences, Research Engineer; e-mail: vasilchenko-a@yrfanc.ru*

The construction of the Tsimlyansk reservoir in 1952 and the actual climate changes led to significant reduction of spring water flow and the area of the Lower Don River spawning grounds. About 300 thousand hectares of spawning lands were flooded in 1963, while not more than 130 thousand hectares in 1979–1994. In later years water often didn't rise to the floodplain at all. As a result, the fishing industry of the Lower Don River underwent degradation and the spawning grounds were ploughed or built over. The spawning grounds of the Lower Don were the basis for the reproduction of anadromous and semi-anadromous fish of the Azov – Don basin, which has already lost its commercial value for sturgeon and herring. The article presents the results of mapping the modern structure of the floodplain lands of the Lower Don River within the flooding areas in different years. The areas of 1979–2018 floods were determined by processing the Landsat satellite images; the modern structure of their land use was mapped according to Sentinel-2 data. The types of land cover were also analyzed using the global data (GLC30 and ESRI). Within the area of 1979–1994 flooding there are 0,7 thousand hectares of built-up territories, about 30 thousand hectares of arable land and 10 thousand hectares of fallow lands. There is a threat of flooding the buildings and other infrastructure facilities, therefore the floods in the Lower Don River area are now perceived as a negative phenomenon. It is necessary to impose restrictions on the economic use of floodplain lands, and ban the construction activities and stocking of oil products, fertilizers and pesticides within the 1994 flooding area. Application of satellite monitoring technologies is a promising tool for assessing the economic development of floodplain lands and identification of flooded lands. In the future, it is possible to create an automated system for monitoring floodplains of the Don River and other rivers, basing among other on the satellite microwave radiometry data. The advantage of such data is the independence from the presence of clouds, which impedes satellite observations in the visible range.

Keywords: floodplain, Landsat, Sentinel-2, Rostov region, spring flood

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 21-77-00018) using the infrastructure of the IKI-Monitoring Shared Use Center [Loipyan et al., 2015] and the capabilities of the Vega information service [Bartalev et al., 2012]. The authors are grateful to V.A. Romanov, Junior Researcher of the FSC of Agroecology RAS, for his assistance in the expert interpretation of satellite images.

REFERENCES

- Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya sputnikovogo servisa VEGA dlya resheniya razlichnykh zadach monitoringa nazemnykh ekosistem [Possible application of VEGA satellite service for addressing various problems of land ecosystems monitoring], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, vol. 9, no. 2, p. 9–27. (In Russian)
- Belousov V.N. Poslednii rubezh estestvennogo vosproizvodstva v Azovo-Donskom raione [The last frontier of natural fish reproduction in the Azov-Don region], *Rybnoe khozyaistvo*, 2016, no. 4, p. 1419. (In Russian)
- Bolgov M.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Vlasenko M.V., Shul'gin M.V. Azov – Don water problem, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 1065–1076, DOI: 10.1134/S0097807820060032.
- Bueso-Bello J.-L., Martone M., González C., Sica F., Valdo P., Posovszky P., Pulella A., Rizzoli P. The Global Water Body Layer from TanDEM-X Interferometric SAR Data, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 5069, DOI: 10.3390/rs13245069.
- Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map, *Nature*, 2014, vol. 514, p. 434, DOI: 10.1038/514434c.
- Chen C., Luan D., Zhao S., Liao Z., Zhou Y., Jiang J., Pei Q. Flood Discharge Prediction Based on Remote-Sensed Spatiotemporal Features Fusion and Graph Attention, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 5023, DOI: 10.3390/rs13245023.
- Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Barabanova E.A. Landscape-hydrological changes in the Don basin, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 934–944, DOI: 10.1134/S0097807820060056.
- Dubinina V.G. Trebovaniya rybnogo khozyaistva pri upravlenii rezhimami vodokhranilishch [Requirements for fishery under management of water reservoir regimes], *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2019, vol. 3, no. 1, p. 67–97, DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027 (In Russian)
- Dubinina V.G., Zhukova S.V. Otsenka vozmozhnykh posledstviy stroitel'stva Bagaevskogo gidrouzla dlya ekosistemy Nizhnego Dona [Assessment of possible consequences of the Bagaevsky hydroelectric system construction for the Lower Don ecosystem], *Rybnoe khozyaistvo*, 2016, no. 4, p. 20–30. (In Russian)
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Current changes in river water regime in the Don River basin, *Water resources*, 2013, vol. 40, no. 6, p. 573–584, DOI: 10.1134/S0097807813060043.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I. Climate-Induced Changes in Groundwater Runoff in Don Basin, *Water Resources*, 2010, vol. 37, no. 5, p. 733–742, DOI: 10.1134/S0097807810050131.
- Georgiadi A.G., Milyukova I.P., Kashutina E.A. Contemporary and scenario changes in river runoff in the Don basin, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 913–923, DOI: 10.1134/S0097807810050131.
- Hua T., Zhao W., Liu Y., Wang S., Yang S. Spatial Consistency Assessments for Global Land-Cover Datasets: A Comparison among GLC2000, CCI LC, MCD12, GLOBCOVER and GLCNMO, *Remote Sensing*, 2018, vol. 10, no. 11, p. 1846, DOI: 10.3390/rs10111846.
- Kireeva M.B., Ilich V.P., Goncharov A.V., Bogachev A.V., Frolova N.L., Pakhomova O.M., Solovieva V.V. Vliyanie malovod'ya 2007–2015 gg. v basseine r. Don na sostoyanie vodnykh ekosistem [Influence of 2007–2015 extreme low flow period in the Don River basin on water ecosystems], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018a, no. 5, p. 3–13. (In Russian)
- Kireeva M.B., Frolova N.L. Sovremennye osobennosti vesennego polovod'ya rek basseina Dona [Current specific features of spring flood on the Don River basin rivers], *Vodnoe khozyaistvo Rossii*, 2013, no. 1, p. 60–76. (In Russian)
- Kireeva M.B., Ilich V.P., Sazonov A.A., Mikhailyukova P.G. Otsenka transformatsii poverkhnosti vodosbora i ee vliyaniya na usloviya formirovaniya stoka v basseine r. Don na osnove dannykh kosmicheskoi s'emki [An assessment of changes in land usage and their impact on Don river basin runoff using satellite imagery], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018b, vol. 15, no. 2, p. 191–200. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-191-200. (In Russian)
- Korobkina E.A., Filippova I.A., Kharlamov M.A. Evaluating the runoff in the Don basin: the need to change the paradigm of hydrological calculations, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 924–933, DOI: 10.1134/S009780782006007X.
- Kosenko Yu.V., Baskakova T.E., Kartamysheva T.B. Rol' stoka reki Don v formirovanii produktivnosti Taganrogskogo zaliva [Role of the Don River flow in productivity formation of the Taganrog Bay], *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya*, 2018, vol. 1, no. 3–4, p. 32–39. (In Russian)
- Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr-Darya River under Modern Changing Conditions, *Arid Ecosystems*, 2019, vol. 9, no. 4, p. 226–236, DOI: 10.1134/S207909611904005X.
- Kuz'mina Zh.V., Treshkin S.E. Metodika otsenki narushenii v nazemnykh ekosistemakh i landshaftakh v rezul'tate klimaticheskikh i gidrologicheskikh izmenenii [Technique of a valuation of violations in land ecosystems and landscapes owing to climatic and hydrological changes], *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2017, vol. 1, no. 3, p. 146–188. (In Russian)
- Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region, *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 4, p. 231–244, DOI: 10.1134/S2079096118040066.
- Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovyykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy [IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environment study and monitoring], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, vol. 12, no. 5, p. 263–284. (In Russian)

- Matishov G.G., Berdnikov S.V. Ekstremal'noe zatoplenie del'ty Dona vesnoi 2013 g. [Extreme Flooding in the Don River Delta in Spring 2013], *Izvestiya RAN. Ser. Geograficheskaya*, 2015, no. 1, p. 111–118, DOI: 10.15356/0373-2444-2015-1-111-118. (In Russian)
- Matishov G.G., Stepan'yan O.V., Khar'kovskii V.M., Startsev A.V., Bulysheva N.I., Semin V.V., Soier V.G., Krenova K.V., Glushchenko G.Yu., Svistunova L.D. Characteristic of Lower Don aquatic ecosystem in late autumn, *Water resources*, 2016, vol. 43, no. 6, p. 873–884, DOI: 10.1134/S009780781606004X.
- Mirzoyan A.V., Zhukova S.V., Podmareva T.I., Lutynskaya L.A., Fomenko I.F., Burlachko D.S., Karmanov V.G., Shishkin V.M., Kuropatkin A.P. [Current state and ways of reconstruction of the Lower Don floodplain], *Nauchnoe obespechenie realizatsii "Vodnoi strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 goda", t. 1* [Scientific support for the implementation of the Water Strategy of the Russian Federation for the period till 2020, vol. 1], 2015, p. 327–335. (In Russian)
- Osipova N.V., Bolgov M.V. Assessing the characteristics of the maximal spring flood runoff in the Don basin under nonstationary conditions, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 945–952, DOI: 10.1134/S009780782006010X.
- Panin G.N., Vyruchalkina T.Yu., Grechushnikova M.G., Solomonova I.V. Specific features of the hydrological regime of the Tsimlyansk reservoir under climate changes in the Don basin, *Water resources*, 2016, vol. 43, no. 2, p. 249–258, DOI: 10.1134/S0097807816020123.
- Penfound E., Vaz E. Analysis of Wetland Landcover Change in Great Lakes Urban Areas Using Self-Organizing Maps, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 4960. DOI: 10.3390/rs13244960.
- Rulev A.S., Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu. Otsenka vliyaniya gidrologicheskogo rezhima Volgi na dinamiku zatopleniya ostrova Sarpinskii [Assessment of the Influence of the Hydrological Regime of the Volga River on the Dynamics of the Sarpinsky Island Flooding], *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2017, vol. 159, no. 1, p. 139–152. (In Russian)
- Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin, *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 719–728, DOI: 10.1134/S0097807820060135.
- Varentsova N.A., Kireeva M.B., Frolova N.L., Kharlamov M.A., Ilich V.P., Sazonov A.A. Forecasting water inflow into the Tsimlyansk reservoir during spring flood under current climate conditions: problems and reproducibility, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 953–967, DOI: 10.1134/S0097807820060159.
- Zhukova S.V. Obespechennost' vodnymi resursami rybnogo khozyaistva Nizhnego Dona [Availability of water resources for the fisheries of the Lower Don River], *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya*, 2020, vol. 3, no. 1, p. 7–19. (In Russian)
- Web sources*
- 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*, IEEE, 2021, URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>, DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499 (access date 15.01.2022).
- Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov basseina r. Don, kn. 1, Obschaya kharakteristika rechnogo basseina [Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Don River Basin, book 1, General characteristics of the river basin], URL: http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/ (access date 15.01.2022).

Received 14.02.2022

Revised 06.05.2022

Accepted 27.06.2022