

Оригинальная статья / Original article

УДК 330.15(556.5)

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-151-161

Опыт разработки геоинформационной системы пойменных земель Донского бассейна

Денис А. Солодовников¹, Станислав С. Шинкаренко^{1,2}, Наталья М. Хаванская¹,
Наталья А. Кукушкина¹

¹Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

²Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, Россия

Контактное лицо

Денис А. Солодовников, кандидат географических наук, заведующий кафедрой географии и картографии Волгоградского государственного университета; 400062 Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, 100. Тел. +78442461639

Email solodovnikov@volsu.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7635-912X>

Формат цитирования

Солодовников Д.А., Шинкаренко С.С., Хаванская Н.М., Кукушкина Н.А. Опыт разработки геоинформационной системы пойменных земель Донского бассейна // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 151-161. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-151-161

Получена 18 июня 2020 г.

Прошла рецензирование 16 февраля 2021 г.

Принята 6 сентября 2021 г.

Резюме

Цель. В работе описывается опыт разработки геоинформационной системы пойменных земель Донского бассейна. Играя большую роль в хозяйстве, поймы рек обеспечивают воспроизводство сенокосов и пастбищ, рыбы, водоплавающих и околоводных птиц, а в аридной зоне в них концентрируются лесные ресурсы и дикие животные. Но в настоящее время отсутствует единая база данных, которая бы позволила анализировать важнейшие характеристики пойменных ландшафтов.

Материал и методы. Реализация элементов базы данных была осуществлена с использованием следующих методов. Площадь бассейна реки (притока), уклон и экспозиция бортов долины, уклон русла реки и длина водотока, площади пойм, сельскохозяйственных угодий на пойменных землях, лесных угодий, коэффициенты извилистости реки и развитости поймы и количество, площадь и объем малых водохранилищ получают при обработке цифровых моделей рельефа функциями модуля Spatial Analyst и космоснимков в автоматическом режиме.

Результаты. На первом этапе исследования авторами разработаны 14 важнейших характеристик, которые составляют основу современной базы данных по поймам бассейна реки Дон и определены алгоритмы и методики расчета каждого показателя.

Заключение. Создание специализированной геоинформационной системы пойменных земель бассейна Дона позволяет решать частные задачи унификации данных и взаимодействия отдельных модулей электронного атласа между собой и с внешними ресурсами web-картографических сервисов и баз данных. Полученный атлас найдет широкое применение в сферах управления водными и земельными ресурсами и охраны природы.

Ключевые слова

Пойма, геоинформационные системы, бассейн реки, управление водными ресурсами, река Дон, база данных, электронный атлас.

Developmental experience of the geoinformation system for floodplain lands of the Don basin

Denis A. Solodovnikov¹, Stanislav S. Shinkarenko^{1,2}, Natalya M. Khavanskaya¹ and Natalya A. Kukushkina¹

¹Volgograd State University, Volgograd, Russia

²Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Amelioration and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

Principal contact

Denis A. Solodovnikov, Candidate of Geography Sciences, Head, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University; 100 Universitetsky Pr., Volgograd, Russia 400062. Tel. +78442461639
Email solodovnikov@volsu.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7635-912X>

How to cite this article

Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S., Khavanskaya N.M., Kukushkina N.A. Developmental experience of the geoinformation system for floodplain lands of the Don basin. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 151-161. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-151-161

Received 18 June 2020

Revised 16 February 2021

Accepted 6 September 2021

Abstract

Aim. The work describes the experience of developing a geographic information system for the floodplain lands of the Don basin. Playing a large role in the economy, river floodplains provide reproduction of hayfields and pastures, fish, waterfowl and birds which live near water, and in the arid zone they concentrate forest resources and wild animal populations. However, until the present there has been no single database that would allow us to analyse the most important characteristics of floodplain landscapes.

Material and Methods. The implementation of the database elements was carried out using the following methods. The area of the river basin (tributary), the slope and exposure of the sides of the valley, the slope of the river bed and the length of the watercourse, the area of floodplains, agricultural land on floodplain lands, forest land, the tortuosity of the river and the development of the floodplain and the number, area and volume of small reservoirs were obtained by processing digital terrain models employing functions of the Spatial Analyst module and satellite images in automatic mode.

Results. During this first stage of the study, the authors developed 14 important characteristics that form the basis of a modern database for the floodplains of the Don River Basin and determined algorithms and methods for calculating each indicator.

Conclusion. The creation of a specialized geographic information system for the floodplain lands of the Don basin permits the solution of particular problems of data unification and the interaction of individual electronic atlas modules with each other and with the external resources of web-mapping services and databases. The resulting atlas should find wide application in the areas of water and land management and nature conservation.

Key Words

Floodplain, geoinformation systems, river basin, water resources management, Don River, database, electronic atlas.

ВВЕДЕНИЕ

Поймы рек играют большую роль в природных экосистемах и хозяйстве. При сравнительно небольших площадях они обеспечивают воспроизводство сенокосов и пастбищ, рыбы, водоплавающих и околоводных птиц. Например, пойменные луга дают 50% заготавливаемого в стране сена, хотя их площадь составляет лишь 20% площади сенокосов [1]. Особенно велика роль речных пойм в регионах с засушливым климатом. Именно в поймах аридной зоны концентрируются лесные ресурсы, дикие животные. Долины рек служат путями миграций птиц. В поймах аккумулируется огромное количество биогенных элементов, как принесенных с поверхности водосбора, так и образовавшихся на месте. При условии мелиорации и масштабного гидротехнического строительства обширные площади пойменных угодий могут эффективно использоваться в хозяйстве, в первую очередь как районы возделывания овощных культур. Низовья крупных рек юга Европейской России (Волга, Дон, Кубань) уже в значительной степени освоены. Пойменные угодья почти полностью относятся к территориям с особым режимом природопользования. Часто на одной территории накладываются несколько режимов охраны, например «водоохранный зона», «нерестоохранная полоса леса», «ключевая орнитологическая территория», «водно-болотные угодья международного значения», особо охраняемые природные территории федерального и регионального уровня и др. [2]. Пойменные угодья служат важным буфером распространения антропогенных загрязнителей [3; 4]. Все это указывает на чрезвычайную ценность и уязвимость ландшафтов речных пойм, и необходимость бережного и эффективного управления их природными ресурсами [5].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Актуальной представляется задача формирования современной базы данных и электронного атласа по пойменным угодьям России. Общедоступные архивы космоснимков и современные средства обработки (геоинформационные системы) позволяют получать большую часть такой информации дистанционно. Начало такой работы положено авторами, формирующими базу данных по поймам бассейна реки Дон. На начальном этапе база данных включает следующие элементы:

1. Площадь бассейна реки (притока).
2. Уклоны и экспозиции бортов долины.
3. Уклоны русла реки и длина водотока.
4. Площади пойм.
5. Площади сельскохозяйственных угодий на пойменных землях.
6. Площади лесных угодий.
7. Дифференциация пойм по высотным уровням.
8. Коэффициент извилистости реки.
9. Коэффициент развитости поймы.
10. Глубина залегания грунтовых вод и уклоны зеркала грунтовых вод.

11. Строение речной долины.
12. Количество, площадь и объем малых водохранилищ.
13. Гидрологические и гидрохимические характеристики по данным государственного мониторинга на гидропостах.
14. Климатические характеристики по данным наблюдений на метеостанциях в бассейне реки.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Площадь бассейна реки (притока)

Материальной основой геоморфологического анализа района исследования послужила цифровая модель рельефа (ЦМР), созданная по данным радарной топографической съемки Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), проведенной в феврале 2000 г. с борта шаттла многоразового использования «Endeavour» [6]. Разработчики ЦМР – Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства США (NASA) и Национальная Геопространственная Спецслужба (NGA) [7]. ЦМР, построенные на основе данных радарной съемки, нашли широкое применение в дистанционных методах изучения рельефа. Использовалась ЦМР SRTM 1 Arc-Second Global с разрешением в 1 угловую секунду. В ходе геоинформационного моделирования она была обработана в программной среде ArcGIS 10.3 с помощью модуля пространственного анализа Spatial Analyst. Моделирование эрозионной сети было осуществлено в ArcGIS 10.3 с помощью последовательной обработки ЦМР функциями модуля пространственного анализ: Spatial Analyst > Гидрология (Hydrology) [8]. Отбор водотоков проводился по величине значения суммарного стока >100,1. Границы водосборных бассейнов при таком алгоритме обработки формируются автоматически. Также можно использовать бесплатное программное обеспечение QGIS.

2. Уклоны и экспозиции бортов долины

Этот показатель также формируется по указанному выше алгоритму. Он имеет значение при расчетах модуля и слоя стока [9].

3. Уклоны русла реки и длина водотока

Являются важным показателем интенсивности русловых процессов в долине реки. Данные формируются автоматически по указанному выше алгоритму. Также сведения о среднем и средневзвешенном уклонах реки могут быть получены из формы 1.11-гвр «Водные объекты. Основные гидрографические характеристики водосборных площадей рек». Но, как показывает опыт, даже для таких крупных рек как Дон или Волга, в Государственном водном реестре содержатся не все сведения по уклонам и морфометрическим характеристикам водосборов рек. Поэтому использование данных дистанционного зондирования является практически безальтернативным.

4. Площади пойм

Этот слой атласа формируется на основе морфометрического анализа цифровых моделей рельефа, а также данных дистанционного зондирования, как оптических, так и радарных. Актуальная площадь затопления при половодье может быть определена классификацией инфракрасного канала (максимум поглощения водой). Для этих целей подходят спутниковые данные Sentinel 2 (восьмой канал) разрешением 10 м и Landsat (пятый канал Landsat 8, четвертый канал Landsat 5 и 7) разрешением 30 м [10; 11]. Для больших водных объектов, например, дельты Волги на пике половодья возможно использование данных MODIS разрешением 250 м, преимущество которых является высоко временное разрешение: менее суток, в то время как данные более высокого пространственного разрешения получаются с интервалом 7-16 дней [12; 13]. Перспективными данными для выделения водного зеркала являются радарные информационные продукты. Их преимуществом является независимость от состояния атмосферы и облачности, что очень важно в период весеннего половодья, когда ясные дни очень редки. По слою с водным зеркалом определяются высотные отметки по цифровой модели рельефа, в результате по данным дистанционного зондирования возможно определение уровней поймы и площадей затоплений при половодьях различной обеспеченности [14].

При совмещении этого слоя маской границ муниципальных образований [15] получают данные об административной приуроченности земельных угодий, могут быть определены площади пойменных земель для каждого муниципального образования.

5. Площади сельскохозяйственных угодий на пойменных землях

Контуры обрабатываемых земель выделяются при визуальном изучении космоснимков и оцифровываются в ручном режиме. Следует отметить, что пойменные угодья в большинстве случаев относятся к водоохранной зоне и распашка земель здесь запрещена из экологических соображений. Распашка пойменных земель неизбежно приводит к значительным потерям почв, смываемых во время следующего половодья, поэтому выявление и устранение таких нарушений является важной природоохранной мерой [16].

6. Площади лесных угодий

Лесные массивы выделяются по спутниковым RGB-композитам Sentinel 2 разрешением 10 м в комбинации «естественные цвета» (каналы 4-3-2) или «искусственные цвета» с включением инфракрасного канала (комбинация 8-4-3). Для локальных участков можно ограничиться визуальным экспертным дешифрированием с верификацией по данным сверхвысокого разрешения, например, Google Earth. Для площадей уровня бассейна реки необходимо использовать алгоритмы автоматизированных классификаций с обучением. Для этого оптимально использовать спутниковые снимки за август-сентябрь. Травянистая растительность в это время, как правило,

уже заканчивает вегетацию и зеленые кроны деревьев хорошо выделяются. Кроме дешифрирования и автоматизированных алгоритмов обработки спутниковых снимков возможно получение данных о подстилающей поверхности и распределении типов использования земель из готовых наборов. Это имеет смысл при анализе пойменных земель в пределах бассейнов крупных рек. Например, существуют продукты, содержащие сведения о растительном покрове как низкого разрешения [17], так и высокого [18]. Преимуществом этих данных является глобальный охват – весь мир. Тем не менее, на субрегиональном уровне они недостаточно точны, и метод экспертного дешифрирования данных дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого разрешения остаётся вне конкуренции.

7. Дифференциация пойм по высотным уровням

Исследователи речных долин отмечают в поймах крупных и средних по размерам рек наличие трех высотных уровней (генераций), связанных с разными гидролого-климатическими условиями на протяжении периода образования пойм как форм рельефа [19]. Для любой реки характерна значительная вариабельность высоты и продолжительности половодий в разные годы. Например, на реках степной зоны разница в высоте подъема воды в разные годы в половодье может составлять более 5 метров. Высокая пойма затопляется редко и на короткий срок, средняя пойма заливается половодьем чаще, низкая пойма – ежегодно на срок до 1-1,5 месяцев (в зависимости от размеров и географического положения реки).

Для решения этой задачи одних данных дистанционного зондирования Земли недостаточно. Необходимо полевое эталонирование на характерных участках. Алгоритм работы при этом следующий:

а) анализ максимальных высот половодий на конкретной реке по годам. Используются данные наблюдений за уровнями воды на гидрологических постах;

б) анализ космоснимков района расположения гидрологического поста, определение предварительных границ трех высотных уровней поймы (рис. 1);

с) полевые исследования в районе гидрологического поста, получение инструментального поперечного профиля поймы реки;

д) сопоставление высотных отметок поверхности поймы с высотой половодий, определение условий и вероятности затопления при половодьях разного уровня (рис. 2). Также анализируется состояние растительности на пробных площадях: виды-доминанты, ярусность, проективное покрытие, состояние древостоев, наличие видов-индикаторов и т.п. Растительность, как один из наиболее динамичных компонентов ландшафта, служит показателем современных тенденций функционирования пойменных экосистем;

е) анализ космических снимков периода половодья за характерные годы (с низким, средним и высоким уровнем половодья). Этот этап позволяет

детализировать данные о затоплении поймы и дать пространственную характеристику этого процесса. По результатам строятся картосхемы затопления уровней поймы в зависимости от высоты половодья. Шейп-файлы с контурами зон затопления и является результатами этого этапа. Такие данные имеют большую ценность при планировании землепользования, защите населенных пунктов и

объектов инфраструктуры от катастрофических затоплений, оценке лесопригодности территории (рис. 3).

f) расчет вероятности затопления отдельных высотных уровней поймы и поймы в целом в годы с разной высотой половодья. Расчет выражается графически в виде диаграммы, показывающей риски затопления (рис. 4).

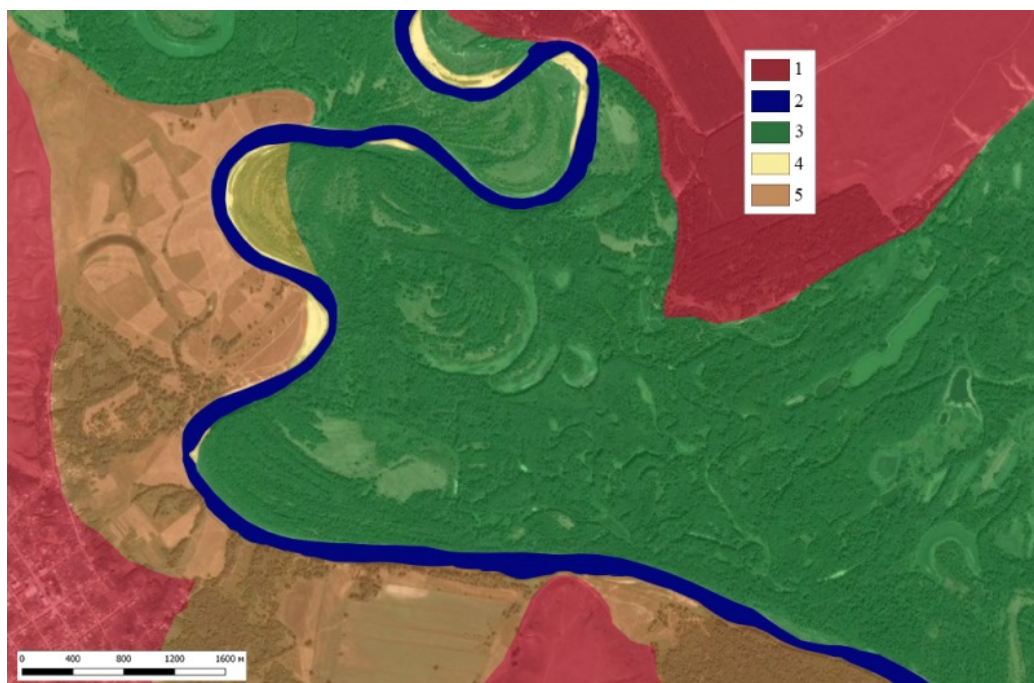


Рисунок 1. Соотношение трех уровней поймы и коренных склонов в пойме реки Хопер.

1 – коренные склоны речной долины; 2 – русло реки; 3 – средний уровень; 4 – низкий уровень; 5 – высокий уровень

Figure 1. Ratio of the three levels of the floodplain and indigenous slopes in the floodplain of the Kopper River.

1 – bedrock slopes of the river valley; 2 – riverbed; 3 – middle level; 4 – low level; 5 – high level

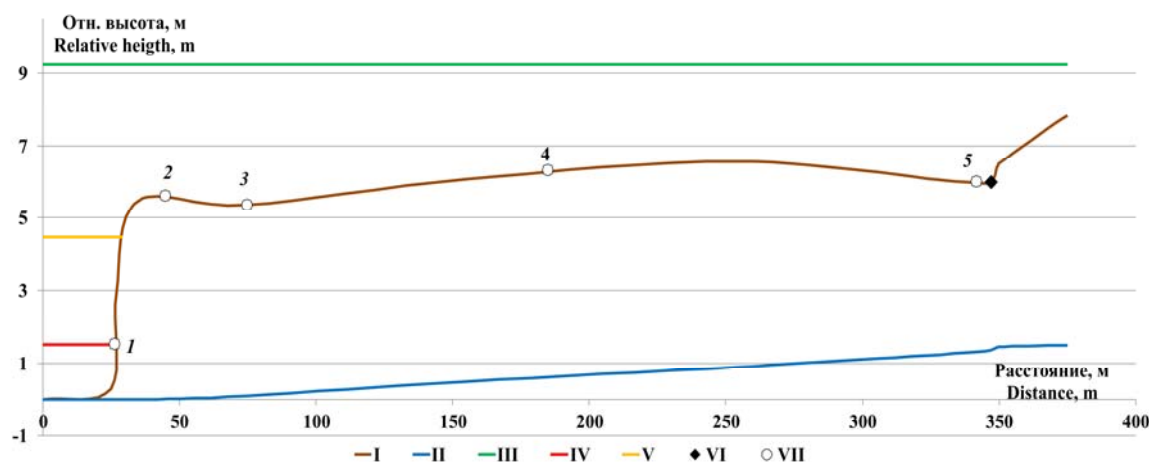


Рисунок 2. Поперечный профиль поймы реки Медведица. I – рельеф; II – уровень грунтовых вод;

III – максимальный уровень при половодье; IV – минимальный уровень при половодье;

V – среднемаксимальный уровень при половодье; VI – контрольные скважины;

VII – геоботанические площадки (1-5 номера площадок)

Figure 2. Cross section of the floodplain of the Medveditsa River. I – relief; II – ground water level;

III – maximum flood level; IV – minimum flood level; V – medium maximum flood level; VI – control wells;

VII – geobotanical sampling plot (1-5 numbers)

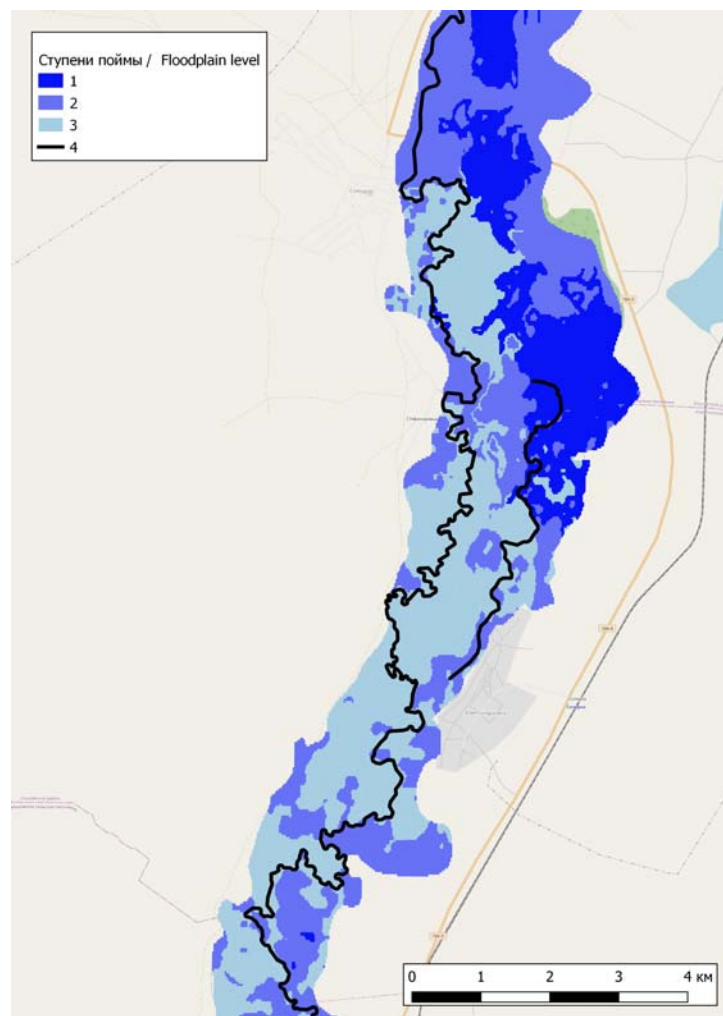


Рисунок 3. Высотные уровни поймы реки Иловля

1 – низкий уровень; 2 – средний уровень; 3 – высокий уровень; 4 – русло реки

Figure 3. Altitude levels of the Ilovlya floodplain

1 – low level; 2 – middle level; 3 – high level; 4 – riverbed

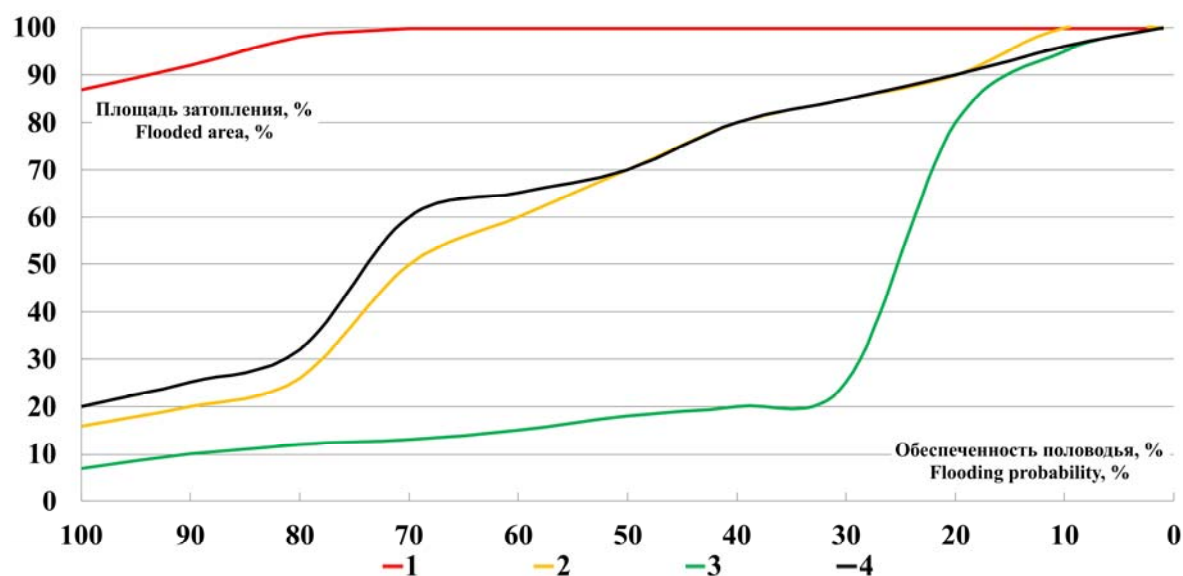


Рисунок 4. Риск затопления поймы реки Хопер при половодьях разной вероятности.

1 – низкий уровень; 2 – средний уровень; 3 – высокий уровень; 4 – вся площадь поймы

Figure 4. Risk of flooding of the Koper floodplain during floods of different probability.

1 – low level; 2 – middle level; 3 – high level; 4 – all areas of the floodplain

8. Коэффициент извилистости реки

Одна из важных морфометрических характеристик реки. Все равнинные реки в процессе своего развития формируют системы излучин-меандров. Физический смысл меандров – увеличение длины водотока, а, следовательно – уменьшение уклонов на каждом конкретном участке. Коэффициент извилистости – отношение длины водотока на определенном участке (или реки в целом) к длине соответствующего участка речной долины. В настоящее время разработано несколько математических инструментов вычисления коэффициента извилистости, в основном, достаточно трудоемких. При использовании средств геоинформатики получение результатов любым (или всеми сразу) методом становится простой задачей.

9. Коэффициент развитости поймы

Коэффициент развитости поймы – отношение средней для характерного участка ширины поймы к ширине русла реки. Является одним из важнейших косвенных показателей, характеризующих природно-хозяйственную значимость речных экосистем. Этот показатель прямо связан с объемом воспроизводства планктона и бентоса, площадью нерестовых и нагульных угодий рыбы, площадью гнездовий водоплавающих и околоводных птиц, лугов и лесов [1]. В среднем, чем выше этот коэффициент, тем выше хозяйственная и природоохранная ценность поймы, хотя бываю и исключения.

Особое значение имеют флуктуации средней ширины поймы – расширения и сужения. Такие участки служат маркерами современных тектонических движений [20]. Расширения поймы и участки увеличения меандрирования соответствуют зонам неотектонических опусканий, а сужения и участки спрямленных русел – зонам поднятий [20]. Эти показатели имеют значение в структурной геологии, в частности при поиске месторождений нефти и газа.

10. Глубина залегания грунтовых вод и уклоны зеркала грунтовых вод

Важнейшая характеристика экосистемы поймы. Определяет лесопригодность, буферные функции поймы как природного фильтра, возможность диффузного стока загрязняющих веществ в пределах поймы. Данные по этому элементу базы данных получаются исключительно в полевых условиях (рис. 2). Авторами разработаны оригинальные методики мониторинга и моделирования процессов динамики грунтовых вод пойм [21-24].

11. Строение речной долины

Этот тематический слой электронного атласа найдет применение в структурной геологии. Речные долины обычно приурочены к нарушениям земной коры – разломам, сбросам, прогибам, зонам тектонической трещиноватости. Технологии анализа строения долин давно и хорошо разработаны [19], но современная геоинформатика выводит их применение на качественно новый уровень.

Классическими морфометрическими признаками речных долин являются:

- схема расположения притоков по отношению к главной долине системы;
- количество долин, образующих данную систему;
- степень асимметричности долинной системы;
- длины долин по порядкам.

Все эти показатели получаются современными геоинформационными системами в автоматическом режиме.

12. Количество, площадь и объем малых водохранилищ

Важнейший показатель использования водных ресурсов бассейна [25]. Как показывает практика, в условиях дефицита водных ресурсов на реках создается большое количество таких водохранилищ, причем большая часть – фактически нелегально. В бассейне Дона насчитывается более 12 000 водохранилищ, но в Российский регистр гидротехнических сооружений [26] включено всего 1738. Большую часть (67% от общего числа искусственных водоемов) составляют малые водохранилища и пруды, имеющие полезный объем менее 1 млн м³, основная часть которых используется для водоснабжения окрестных территорий и орошения земель [27]. Уже первые этапы формирования нашей базы данных показали, что и количество 12 000 сильно занижено, в него не включено множество небольших прудов, перехватывающих поверхностный сток в самых верхних звеньях эрозионной сети. В бассейне Среднего Дона в верховьях балок нередко насчитывается до 20 прудов на 100 км² площади (рис. 5). Без точных данных об объеме таких водохранилищ невозможно корректное составление водного баланса бассейна. Площади малых водохранилищ получаются при обработке цифровых моделей рельефа и космоснимков в автоматическом режиме. Объем водохранилища тесно связан с площадью и высотой подпора воды. Зная основные морфометрические характеристики его можно вычислить с погрешностью до 10-15%, что допустимо при расчете основных гидрологических характеристик реки. Также перечень сооружений на водных объектах формируется с использованием сведений Государственного водного реестра (формы 3.1-гвр «Водохозяйственные системы», 3.2-гвр «Гидротехнические сооружения, расположенные на водных объектах» и 3.3-гвр «Сооружения, расположенные на водных объектах»).

13. Гидрологические и гидрохимические характеристики по данным государственного мониторинга на гидропостях

Для анализа динамики состояния пойменных экосистем и условий их функционирования очень важно иметь представление о гидрологических (уровни, расходы) характеристиках и гидрохимических (содержание в воде загрязняющих веществ) характеристиках водотоков. На первом этапе формируется перечень гидропостов согласно форме 1.10-гвр «Водные объекты. Список пунктов

наблюдения» Государственного водного реестра с указанием периода наблюдений за гидрологическими и гидрохимическими характеристиками. Далее происходит запрос сведений из Государственного водного реестра в Бассейновом водном управлении или Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу

окружающей среды. Сведения о гидрохимических показателях также могут быть получены из находящихся в открытом доступе региональных докладов о состоянии окружающей среды и ежегодниках Гидрохимического института Росгидромета.



Рисунок 5. Система малых водохранилищ в верховьях балки Грачи (приток реки Паньшинка, Средний Дон).

1-17 – пруды

Figure 5. The system of small reservoirs in the upper reaches of the Grachi Gully (a tributary of the Panshinka River, Middle Don). 1-17 – reservoirs

14. Климатические характеристики по данным наблюдений на метеостанциях в бассейне реки

Кроме гидрологических условий на состояние пойменных экосистем оказывают влияние климатические и погодные флуктуации [28-30]. Массив данных по метеостанциям, в зоне влияния которых находятся изучаемые пойменные ландшафты, формируется на основе Автоматизированной Информационной Системы Обработки Режимной Информации (АИСОРИ), поддерживаемой Всероссийским НИИ гидрометеорологической информации – Мировым центром данных [31]. По этим данным вычисляются коэффициенты линейных трендов, и производится анализ направления климатических изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе создания специализированной геоинформационной системы пойменных земель бассейна Дона решаются частные задачи

унификации данных и взаимодействия отдельных модулей электронного атласа между собой и с внешними ресурсами web-картографических сервисов и баз данных. По мере создания ГИС пополняется новыми тематическими слоями. Будучи окончательно сформированной, такая база данных может стать эффективным средством мониторинга и управления природными ресурсами пойм и их охраны.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках темы НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 0713-2019-0001.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within a theme of the Federal Scientific Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences No. 0713-2019-0001.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фашевский Б.В. Гидрологические аспекты охраны и рационального использования пойменных ландшафтов // Гидрологические исследования ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1986. С. 57-64.
2. Robert A. River Processes: An Introduction to Fluvial Dynamics. 2003, Arnold, London. 240 p.
3. Onistratenko N.V., Ivantsova E.A., Denysov A.A., Solodovnikov D.A. Heavy metals in suburban ecosystems of industrial centres and ways of their reduction // *Ekologia Bratislava*. 2016. V. 35. N 3. P. 205-212. DOI: 10.1515/eko-2016-0016
4. Червань А.Н., Романенко С.С. Пространственное отображение устойчивости почв к техногенному засолению в Солигорском горнопромышленном районе на основе почвенных комбинаций // *Почвоведение*. 2019. N 8. С. 993-1003. DOI: 10.1134/S0032180X19080057
5. 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. V. 9. N 4. P. 226-236. DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10070
6. Zyl J. van. The shuttle radar topography mission (SRTM): A breakthrough in remotesensing of topography // *Acta Astronautica*. 2001. V. 48. Iss. 5-12. P. 559-565. DOI: 10.1016/S0094-5765(01)00020-0
7. Martz L.W., Garbrecht J. Automated Extracion of Drainage Network and Watershed Data from Digital Elevation Models // *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*. 1993. V. 29. Iss. 6. P. 901-908. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1993.tb03250.x
8. Кашацева А.Ю., Шипулин В.Д. Моделирование речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3 // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География». 2011. Т. 24 (63). С. 85-92.
9. Harvey A. Introducing Geomorphology: A Guide to Landforms and Processes. 2012, Dunedin Academic Press, Edinburgh. 136 p.
10. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А. Формирование новой дельты Сырдарьи // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. N 2. С. 267-271. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-267-271
11. 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. V. 47. N 6. P. 977-986. DOI: 10.1134/S0097807820060135
12. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгадиева А.Н., Выприцкий А.А. Динамика площадей водоемов Западного ильменно-бурового района дельты Волги // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021. Т. 18. N 4. С. 285-290. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290
13. Gao B. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // *Remote sensing of environment*. 1996. V. 58. N 3. P. 257-266. DOI: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3
14. Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А., Рулев А.С. Динамика береговой линии острова Сарпинский на Нижней Волге // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. N 5. С. 120-129. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-120-129
15. Векторные слои и готовые проекты на базе Open Street Map в формате ESRI shapefile URL: <https://data.nextgis.com/> (дата обращения: 23.05.2020)
16. Romanova T.A., Chervan' A.N., Andreeva V.L. The theoretical basis and practical significance of the study of soil cover structure // *Eurasian Soil Science*. 2011. V. 44. P. 272-280. DOI: 10.1134/S106422931101011X
17. Lamarche C., Santoro M., Bontemps S., d'Andrimont R., Radoux J., Giustarini L., Brockmann C., Wevers J., Defourny P., Arino O. Compilation and validation of SAR and optical data products for a complete and global map of inland/ocean water tailored to the climate modeling community // *Remote Sensing*. 2017. V. 9. N 1. 36 p. DOI: 10.3390/rs9010036
18. Jun Ch., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map // *Nature*. 2014. Iss. 514 (7523). P. 434. DOI: 10.1038/514434c
19. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Снижение стока рек равнин Северной Евразии в оптимум голоцена // *Водные ресурсы*. 2012. Т. 39. N 1. С. 40-53.
20. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1960. 96 с.
21. Солодовников Д.А., Филиппов О.В. Геологическое строение и современные тектонические движения в районе Александровского грабена // *Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища. Сборник научных статей. Ответственный редактор: А.В. Плякин; Федеральное агентство по образованию, Волгоградский государственный университет. Волгоград, 2009. С. 71-83.*
22. Солодовников Д.А., Хаванская Н.М., Вишняков Н.В., Иванцова Е.А. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм // *Юг России: экология, развитие*. 2017. Т. 12. N 3. С. 106-114.
23. Solodovnikov D.A. Modeling of groundwater dynamics and landscapes of river floodplains of the Lower Volga region // *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2019. V. 12. Hydrology and Water Resources. P. 387-392. DOI 10.5593/sgem2019/3.1/S12.050
24. Солодовников Д.А., Шинкаренко С.С., Вишняков Н.В., Хаванская Н.М. Грунтовые воды речных пойм – годовая динамика и математические модели // *Природные системы и ресурсы*. 2019. Т. 9. N 3. С. 54-63. DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.2.7
25. Анучина Н.А., Шилова Н.В. Ожидаемые демографические тенденции развития Волгоградской области // *Естественные и технические науки*. 2018. N 12 (126). С. 151-153.
26. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона // *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40. N 6. С. 544-556.
27. Российский регистр гидротехнических сооружений 2020. Справочное пособие М.: Ростехнадзор, ФГБУ «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений», 2020. 1304 с.
28. 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. N 3. С. 146-188.
29. Golub V.B., Chuvashov A.V., Bondareva V.V., Gerasimova K.A., Nikolaichuk L.F. Changes in the flora composition of the Volga-Akhtuba floodplain after regulation of the flow of Volga river // *Arid ecosystems*. 2020. V. 10. N 1. P. 44-51. DOI: 10.1134/S2079096120010047

30. 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. V. 8. N 4. P. 231-244. DOI: 10.1134/S2079096118040066
 31. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР) Свидетельство о государственной регистрации базы данных N 2014620942. 2004. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 23.05.2020)
- REFERENCES**
1. Fashevskiy B.V. [Hydrological aspects of protection and rational use of floodplain landscapes]. In: *Gidrologicheskoe issledovaniya landshaftov* [Hydrological studies of landscapes]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986, pp. 57-64. (In Russian)
 2. Robert A. River Processes: An Introduction to Fluvial Dynamics. Arnold, London, 2003, 240 p.
 3. Onistratenko N.V., Ivantsova E.A., Denysov A.A., Solodovnikov D.A. Heavy metals in suburban ecosystems of industrial centres and ways of their reduction. *Ekologia Bratislava*, 2016, vol. 35, no. 3, pp. 205-212. DOI: 10.1515/eko-2016-0016
 4. Chervan A.N., Romanenko S.S. Spatial mapping of soil resistance to technogenic salinization in the Soligorsk mining district based on soil combinations. *Eurasian Soil Science*, 2019, no. 8, pp. 993-1003. (In Russian) DOI: 10.1134/S0032180X19080057
 5. 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, pp. 226-236. DOI: 10.24411/1993-3916-2019-10070
 6. Zyl J. van. The shuttle radar topography mission (SRTM): A breakthrough in remotesensing of topography. *Acta Astronautica*, 2001, vol. 48, iss. 5-12, pp. 559-565. DOI: 10.1016/S0094-5765(01)00020-0
 7. Martz L.W., Garbrecht J. Automated Extracion of Drainage Network and Watershed Data from Digital Elevation Models. *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*, 1993, vol. 29, iss. 6, pp. 901-908. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1993.tb03250.x
 8. Kashchavtseva A.Yu., Shipulin V.D. Modeling of River Basins by Means of ArcGIS 9.3. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya "Geografiya" [Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series "Geography"]. 2011, vol. 24 (63), pp. 85-92. (In Russian)
 9. Harvey A. Introducing Geomorphology: A Guide to Landforms and Processes. Dunedin Academic Press, Edinburgh, 2012, 136 p.
 10. Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Formation of a new delta of Syr Darya. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 267-271. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-267-271
 11. 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, pp. 977-986. DOI: 10.1134/S0097807820060135
 12. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Vypritskii A.A. Dynamics of water bodies areas in the Western Ilmen Lake Region of the Volga Delta. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, vol. 18, no. 4, pp. 285-290. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290
 13. Gao B. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 1996, vol. 58, no. 3, pp. 257-266. DOI: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3
 14. Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A., Rulev A.S. Coastline dynamics of the Sarpinsky Island on the Lower Volga. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 16, no 5. pp. 120-129. (In Russian) DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-120-129
 15. *Vektornye sloi i gotovye proekty na baze Open Street Map v formate ESRI shapefile* [Vector layers and ready-to-go GIS projects based on Open Street Map in ESRI shapefile format]. Available at: <https://data.nextgis.com/en/> (accessed 23.05.2020)
 16. Romanova T.A., Chervan A.N., Andreeva V.L. The theoretical basis and practical significance of the study of soil cover structure. *Eurasian Soil Science*, 2011, vol. 4, pp. 272-280. DOI: 10.1134/S106422931101011X
 17. Lamarche C., Santoro M., Bontemps S., D'Andrimont R., Radoux J., Giustarini L., Brockmann C., Wevers J., Defourny P., Arino O. Compilation and validation of SAR and optical data products for a complete and global map of inland/ocean water tailored to the climate modeling community. *Remote Sensing*, 2017, vol. 9, no. 1, 36 p. DOI: 10.3390/rs9010036
 18. Jun Ch., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map. *Nature*, 2014, iss. 514 (7523), 434 p. DOI: 10.1038/514434c
 19. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., Borisova O.K. River runoff decrease in North-Eurasian plains during the holocene optimum. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2012, vol. 39, no. 1, pp. 40-53. (In Russian)
 20. Filosofov V.P. *Kratkoe rukovodstvo po morfometricheskoy metodу poiskov tektonicheskikh struktur* [Brief management to a morphometrical method of search for tectonic structures]. Saratov, SSU Publ., 1960, 96 p. (In Russian)
 21. Solodovnikov D.A., Filippov O.V. [Geological Structure and Neotectonic Displacements in Aleksandrovsky Graben's Area]. In: *Problemy kompleksnogo issledovaniya Volgogradskogo vodokhranilishcha* [Problems of Complex Research of the Volgograd Water Reservoir]. Volgograd, VSU Publ., 2009, pp. 71-83. (In Russian)
 22. Solodovnikov D.A., Khavanskaya N.M., Vishnyakov N.V., Ivantsova E.A. Methodical basis of geophysical monitoring of ground water river floodland. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2017, vol. 12, no. 3, pp. 106-114. (In Russian)
 23. Solodovnikov D.A. Modeling of groundwater dynamics and landscapes of river floodplains of the Lower Volga region. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2019, vol. 12, Hydrology and Water Resources, pp. 387-392. DOI: 10.5593/sgem2019/3.1/S12.050
 24. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S., Vishnyakov N.V., Khavanskaya N.M. Groundwater of river floodplains – intra-annual dynamics and mathematical models. *Natural Systems and Resources*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 54-63. (In Russian) DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.2.7
 25. Anuchina N.A., Shilova N.V. Expected demographic trends in the Volgograd region. *Estestvennye i tekhnicheskie*

nauki [Natural and technical Sciences]. 2018, no. 12 (126), pp. 151-153 (In Russian)

26. Jamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Modern changes in the water regime of rivers in the Don basin. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2013, vol. 40, no. 6, pp. 544-556. (In Russian)

27. *Rossiiskii registr gidrotekhnicheskikh sooruzhenii* [Russian Register of Hydraulic Constructions]. Moscow, Rostekhnadzor, FGBU "Tsentr Rossiiskogo registra gidrotekhnicheskikh sooruzhenii" Publ., 2020, 1304 p. (In Russian)

28. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E. Evaluation of disturbances in terrestrial ecosystems and landscapes caused by changes of climate and hydrological conditions. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics]. 2017, vol. 1, no. 3, pp. 146-188. (In Russian)

29. Golub V.B., Chuvashov A.V., Bondareva V.V., Gerasimova K.A., Nikolaichuk L.F. Changes in the flora composition of the

Volga-Akhtuba floodplain after regulation of the flow of Volga river. *Arid ecosystems*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 44-51. DOI: 10.1134/S2079096120010047

30. 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, pp. 231-244. DOI: 10.1134/S2079096118040066

31. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. *Opisanie massiva dannykh sutochnoi temperatury vozdukh i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR)* [Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR)] Certificate of database registration RF no. 2014620942, 2004. (In Russian) Available at: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#opisanie-massiva-dannykh> (accessed 23.05.2020)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Денис А. Солодовников проводил работы по геоинформационному моделированию, написал рукопись. Станислав С. Шинкаренко участвовал в разработке ГИС. Наталья М. Хаванская определила научный дизайн статьи и её оформление. Наталья А. Кукушкина подготовила иллюстративный материал, также проводила корректировку рукописи до поступления в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Denis A. Solodovnikov carried out work on geoinformation modeling and wrote the manuscript. Stanislav S. Shinkarenko participated in the development of GIS. Natalya M. Khavanskaya determined the scientific design of the article and its layout. Natalya A. Kukushkina prepared the illustrative material and also corrected the manuscript before submitting it to the Editor. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Денис А. Солодовников / Denis A. Solodovnikov <https://orcid.org/0000-0002-7635-912X>

Станислав С. Шинкаренко / Stanislav S. Shinkarenko <https://orcid.org/0000-0002-9269-4489>

Наталья М. Хаванская / Natalya M. Khavanskaya <http://orcid.org/0000-0001-9217-6529>

Наталья А. Кукушкина / Natalya A. Kukushkina <https://orcid.org/0000-0001-8588-8501>