

УДК 556.18

DOI: 10.46698/i4469-5379-6925-p

Оригинальная статья

## О техногенной деградации речных систем в Восточном Приазовье: гидрографический аспект

А.В. Погорелов <sup>1</sup>, Д.А. Липилин <sup>1, 2, 3</sup>, М.В. Кузякина <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кубанский государственный университет, Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149;

<sup>2</sup> Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13;

<sup>3</sup> Кубанский государственный технологический университет, Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2, e-mail: LipiLin\_dmitrii@mail.ru

Статья поступила: 01.07.2024, доработана: 29.07.2024, принята к публикации: 05.08.2024

**Резюме: Актуальность работы.** Исследуемая территория включает бассейны рек Бейсуг, Челбас, Албаши, Ясени, Ея, Чубурка общей площадью более 23 тыс. км<sup>2</sup> с суммарной длиной водотоков 7,66 тыс. км. Непрерывная техногенная деградация этих рек вследствие нарушения дренажа многочисленными перегораживающими сооружениями, распашки и перепланировки поверхности водосборов ведет к утрате реками своего водно-ресурсного потенциала. Гидрографические аспекты деградации указанных речных систем до сих пор слабо изучены. **Цель исследования.** Получение количественных оценок трансформации речных систем на базе гидрографических характеристик (длина водотоков, зарегулированность рек, распаханность водосборов и др.) за последние десятилетия (1999–2021 гг.) для последующей интерпретации в увязке с региональными водно-балансовыми изменениями. **Методы исследования.** Геоинформационные технологии применены при обработке материалов дистанционного зондирования Земли, а также при картографировании. Векторизация контуров частных водосборов и водно-эрозионной сети осуществлялась с помощью инструментов пространственного анализа в среде ГИС. Положение перегораживающих сооружений на реках определялось по данным спутниковых снимков с избирательной верификацией при проведении полевых работ (2018–2024 гг.). Распознавание типов земной поверхности / землепользования выполнено на спутниковых снимках посредством автоматизированной классификации. **Результаты работы.** На водосборах обнаружено около 3 тыс. перегораживающих сооружений со средней плотностью 0,13 ед./км<sup>2</sup>. Техногенные преобразования речных систем характеризуются изменениями структуры землепользования, сокращением длины водотоков и уменьшением густоты водно-эрозионной сети. Суммарная длина водотоков в исследуемых водосборах сократилась на 1618 км или на 17,4 %. Площадь сельскохозяйственных полей в отдельных бассейнах сократилась от 1,2 % (Бейсуг) до 4,7 % (Челбас). Повсеместно на водосборах низшего порядка выявлены «отмирания» верхних участков речной и балочной сети и нарушения дренированности территории. Динамика речной сети свидетельствует о неуклонной водохозяйственной деградации рек в Восточном Приазовье.

**Ключевые слова:** речные системы, Восточное Приазовье, техногенная деградация, водосбор, водно-эрозионная сеть, гидрографические характеристики, цифровая модель рельефа, геоинформационный анализ, спутниковые снимки.

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-20005 и при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта № 24-27-20005.

**Для цитирования:** Погорелов А.В., Липилин Д.А., Кузякина М.В. О техногенной деградации речных систем в Восточном Приазовье: гидрографический аспект. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(3): 243-259. DOI: 10.46698/i4469-5379-6925-p

DOI: 10.46698/i4469-5379-6925-p

Original paper

# On technogenic degradation of river systems in the Eastern Azov region: hydrographic aspect

A.V. Pogorelov<sup>1</sup>, D.A. Lipilin<sup>1, 2, 3</sup>, M.V. Kuzyakina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kuban State University, 149 Stavropolskaya Str.,  
Krasnodar 350040, Russian Federation;

<sup>2</sup> Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,  
13 Kalinina Str., Krasnodar 350044, Russian Federation;

<sup>3</sup> Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya Str., Krasnodar 350040,  
Russian Federation, e-mail: LipiLin\_dmitrii@mail.ru

Received: 01.07.2024, revised: 29.07.2024, accepted: 05.08.2024

**Abstract: Relevance.** The study area belongs to the catchment area includes the catchment areas of the Beisug, Chelbas, Albashi, Yaseni, Eya, Chuburka rivers with a total area of more than 23 thsd km<sup>2</sup> with a total length of watercourses of 7.66 thsd km. Continuous technogenic degradation of these rivers due to disruption of drainage by numerous partitioning structures, plowing and redevelopment of the surface of watersheds leads to the loss of rivers of their water resource potential. Hydrographic aspects of the degradation of these river systems are still insufficiently studied. **Aim.** Obtaining quantitative assessments of the transformation of river systems based on hydrographic characteristics (length of watercourses, regulation of rivers, plowed watersheds, etc.) over the past decades (1999–2021) for subsequent interpretation in connection with regional water balance changes. **Methods.** GIS technologies are used in the processing of Earth remote sensing materials, as well as in GIS mapping. Vectorization of the watersheds contours and the water-erosion network was carried out using spatial analysis tools in a full-featured GIS environment. The position of the blocking structures on the rivers was determined using satellite images with selective verification during field work (2018–2024). Recognition of land surface/land use types was performed on satellite images through automated classification. **Results.** About 3000 partitioning structures with an average density of 0.13 units/km<sup>2</sup> were found in the studied catchment areas. Technogenic transformations of river systems are characterized by changes in the structure of land use, a reduction in the length of watercourses and decrease in the density of the water-erosion network. The total length of watercourses decreased by 1618 km or 17.4%. The area of agricultural fields in individual watersheds decreased from 1.2% (Beisug) to 4.7% (Chelbas). Everywhere in lower-order watersheds «dying away» of the upper sections of the river and gullies network and disturbances in the drainage of the territory were revealed. The dynamics of the river network indicate the steady water degradation of rivers in the Eastern Azov region.

**Keywords:** river systems, Eastern Azov region, technogenic degradation, watershed, water erosion network, hydrographic characteristics, digital elevation model, GIS analysis, satellite images.

**Acknowledgments:** *The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-27-20005 and with the financial support of the Kuban Science Foundation in the framework of the scientific project No. 24-27-20005.*

**For citation:** Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Kuzyakina M.V. On technogenic degradation of river systems in the Eastern Azov region: hydrographic aspect. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2024. 14(3): 243-259. DOI: 10.46698/i4469-5379-6925-p

## Введение

Речные системы в степной зоне Юга России под влиянием многообразных техногенных воздействий в течение многих десятилетий вовлечены в деградационные процессы, следствием которых являются, в частности, ухудшение естественных качеств компонентов речных систем, изменение их структурной организации, потеря способности самовосстановления. Состояние степных рек Краснодарского края «перешло черту экологического кризиса»<sup>1</sup>, что выражается в обмелении, заболачивании, уменьшении стока, снижении транспортирующей способности рек, усилении эрозионных процессов на водосборах, накоплении загрязняющих веществ в воде и донных отложениях. Так, слой иловых отложений в руслах степных рек достигает 1,5...7 м, что, в свою очередь, приводит к уменьшению глубин, эвтрофикации, ухудшению экологического состояния речных экосистем в целом. Подобная ситуация «не позволяет в полном объеме вести хозяйственную деятельность»<sup>1</sup>. Мероприятия по улучшению состояния рек сводятся к нерегулярной весьма затратной механической расчистке отдельных, небольших по протяженности (первые километры) участков русел некоторых рек. При этом в Краснодарском крае наблюдается устойчивый рост водопотребления на сельскохозяйственные и производственные нужды.

В условиях ограниченности водных ресурсов в рассматриваемом регионе особую озабоченность, наряду с другими аспектами деградации рек, вызывает водохозяйственная деградация [Суздалева, Горюнова, 2014], приводящая к утрате возможностей использования речных ресурсов при осуществлении хозяйственной деятельности.

Исследуемая территория относится к водосбору Азовского моря – внутреннего моря России. Азовская гидрографическая область охватывает площадь 556 км<sup>2</sup> и включает гидрографические районы: Крымский Восточный, Кубанский, Восточный Приазовский, Донской, Северный Приазовский [Ресурсы..., 1973; Лурье, Панов, 2021]. Подавляющая часть Азовской гидрографической области находится в условиях семиаридного климата и испытывает дефицит влаги. В данной работе анализируется трансформация гидрографических характеристик рек Восточного Приазовского района за последние десятилетия (1999–2020/21 гг.).

На территории Восточного Приазовского района, среднее годовое количество осадков довольно однородно и изменяется в пределах 460–600 мм. Слой годового стока (30–60 мм) как минимум в десять раз меньше осадков, что обусловлено величинами испарения (500 мм по данным [Владимиров и др., 1991]) и коэффициентами фильтрации местных почв (1 м/сут. при предельно-полевой влагоемкости 600 мм в слое 2 м согласно [Суслов, 2015]). Водный баланс территории, а также водообмен в Азовском море, определяются текущим состоянием речных систем через прямые (выпадение атмосферных осадков) и опосредующие процессы. Понятно, что составляющие водного баланса (поверхностный и подземный сток, эвапотранспирация, инфильтрация) регулируются техногенными изменениями почвенно-растительного покрова, проницаемости, уклонов поверхности и т.п. Техногенные воздействия в виде агротехнической деятельности на водосборах, влияние гидротехнических сооружений и инженерных мероприятий на русловые процессы име-

<sup>1</sup> Архив документов Краснодарского края. Постановление от 16.02.2011 г. № 2425-П «Об экологическом состоянии степных рек на территории Краснодарского края». Электронный ресурс: <https://krasnodar.gov.ru/> (дата обращения 30.05.2024)

ют, в совокупности, неуправляемый характер. Вклад техногенных преобразований в формирование речного стока на исследуемой территории, предполагающий натурные измерения, к сожалению, слабо изучен.

Настоящая статья продолжает исследования техногенной трансформации речной сети в Краснодарском крае [Погорелов и др., 2022]. Действительно, речные системы (Ея, Челбас, Албаши, Бейсуг и др.) фактически представляют собой природно-техногенные системы с измененными гидрографическими характеристиками, нарушенными показателями вещественного обмена, высокой зарегулированностью стока. Основные причины – огромное количество перегораживающих сооружений на реках, создание искусственной ирригационной сети, перепланировка склонов водосборов, распашка поймы (зачастую до уреза воды) и русел. Отдельную проблему представляет нарушение водоохранных и санитарных зон вдоль водных объектов, характерное для аграрных регионов Юга России. В исследуемых бассейнах нами обнаружено 2991 перегораживающих сооружений (плотин, преимущественно земляных), плотность которых на территории составляет 0,13 ед./км<sup>2</sup>. В соответствии с ландшафтно-гидрологическим подходом [Косолапов и др., 1995; Позаченюк и др., 2022; Сазонов и др., 2022] существует системная взаимосвязь между ландшафтной структурой водосбора, в частности, – между морфологическими свойствами водосбора и характеристиками стока рек, стекающих с этого водосбора.

Понятно, что деградация гидрографической сети оказывает влияние на гидроэкологические показатели местных агроландшафтов (поверхностный сток, влагозапасы в слое активного влагообмена, уровень грунтовых вод) [Голубаш, Сенцова, 2009]. Имеющиеся сведения о трансформации гидрографической сети в степной зоне [Гайдай, 2006; Белюченко, 2010, 2017; Суслов, 2015; Экология речных..., 2017], охватывающие преимущественно биологические, химические, биоэкологические аспекты, недостаточны для получения внятных представлений об изменениях элементов влагооборота и влагообеспеченности местных ландшафтов в связи с техногенным фактором.

В настоящей работе оценка изменений морфометрических и морфологических (гидрографических) характеристик (длина водотоков, площадь водосборов, густота речной сети, распаханность водосборов, урбанизированность и др.)<sup>2</sup> выполняется с использованием данных дистанционного зондирования (спутниковые снимки, цифровые модели рельефа) на основе предлагаемой методики [Погорелов и др., 2022].

### Объект исследования

Восточный Приазовский район расположен в междуречье Дона и Кубани и охватывает северную часть Азово-Кубанской низменности. Район включает 605 маловодных степных рек, из которых река Ея – самая крупная по площади водосбора и длине. Анализируются бассейны рек Бейсуг, Челбас, Албаши, Ясени, Ея, Мокрая Чубурка, расположенные на территории Краснодарского края и отчасти Ростовской области (рис. 1). Азово-Кубанская низменность, занимающая западную часть Предкавказской депрессии, представляет собой слабонаклоненную к северо-западу аккумулятивную равнину с преобладающими абсолютными высотами 20–150 м. Низменность сложена на поверхности лессовидными суглинками и глинами, вблизи побережья – дельтовыми отложениями.

<sup>2</sup> Р 52.08.874-2018. Рекомендации. Определение гидрографических характеристик картографическим способом. Росгидромет. СПб. 2018. 172 с.



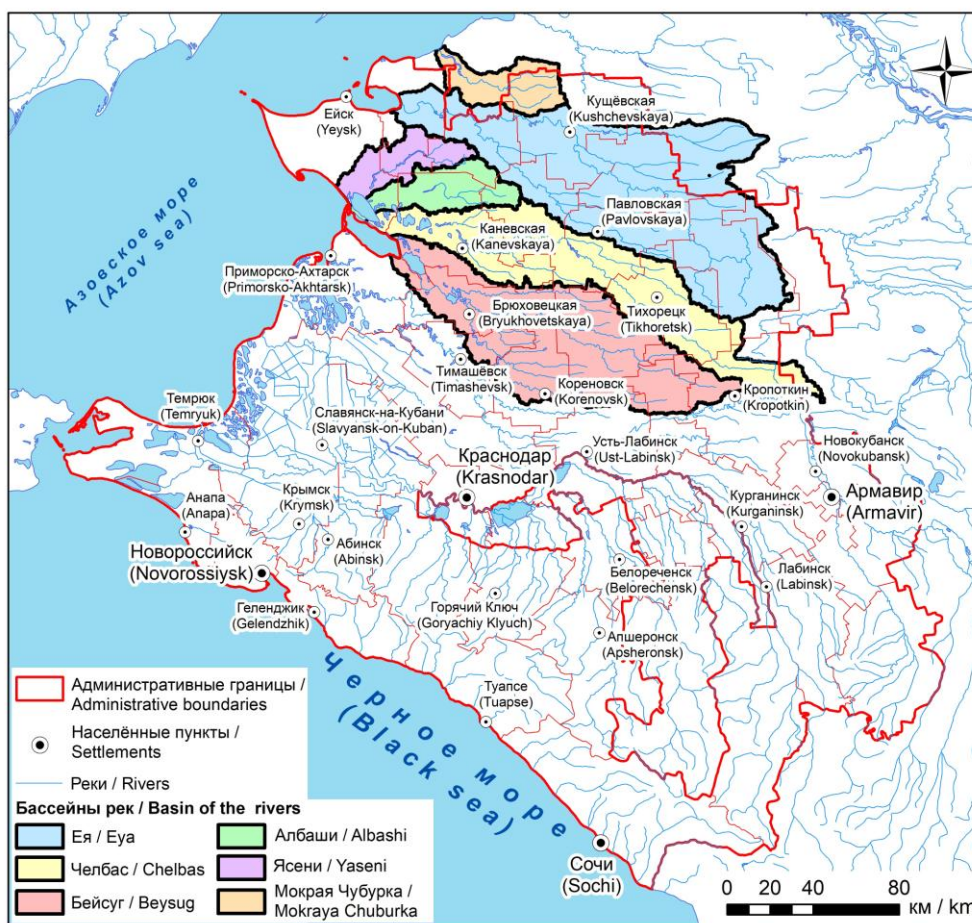


Рис. 1. Расположение исследуемых речных бассейнов на территории Краснодарского края и Ростовской области /

Fig. 1. Location of the studied river basins in the Krasnodar and Rostov territory

Поверхность низменности слабо расчленена. Часть исследуемой территории фактически лишена речной сети (Ейский полуостров, примыкающий к водосборам рек Ея и Ясени) (рис. 1). Существующие речные долины неглубокие; плоские водоразделы представляют собой, скорее, водораздельные пространства. Долины рек, не разработанные в верховьях, расширяются в среднем течении и достигают максимальной ширины в низовьях (у Еи – 10–12 км, Челбаса – 5–6 км). Ширина русел рек меняется в пределах от 5–30 м в верховьях до 60–100 м в среднем течении, достигая наибольшей величины на запруженных участках (300 м и более). Русла рек в большинстве своем неглубокие – 0,5–1,5 м. В западной части низменности уровень рек располагается почти вровень с местностью; на дельтовых участках повсеместно развиты плавни. Береговая линия Азовского моря здесь весьма извилиста и осложнена полуостровами, косами, лиманами.

Особенность гидрогеологического строения – изменчивый по вертикали и горизонтали линзовидный характер залегания водоносных горизонтов, представленных суглинками, песками и галечниками. Грунтовые воды – один из источников питания исследуемых рек – характеризуются повышенной минерализацией. Главный источник питания – атмосферные осадки с максимумом (200–300 мм) в теплое время года. Однако летом участие атмосферных осадков в формировании речного

стока заметно снижается из-за высоких потерь на испарение. Снежный покров характеризуется неустойчивостью и малой продолжительностью залегания. Течение на реках отмечается обычно в период весеннего половодья в марте-апреле с максимальной скоростью не более 0,6–0,7 м/с. Подъёмы уровня во время половодья незначительные, в многоводные годы могут достигать 1–1,5 м и более, что, тем не менее, приводит к затоплению многих плотин. Минимальные уровни наблюдаются в конце лета–начале осени. В целом годовому ходу уровней воды на реках свойственна устойчивость: половодье и паводки сглажены.

### Методы исследования

В расчетах характеристик речных систем авторы опирались на приемы гидрографии, при построении карт и проведении пространственных расчетов – на инструменты ГИС-картографирования и геоанализа. Подобные приемы в исследованиях речных бассейнов широко применяются в разных регионах [Погорелов и др., 2022; Ashok, Pravin, 2014; Daramola et al., 2022; Dwivedi et al., 2022; Gura et al., 2021; Kumar et al., 2021; Nikolova et al., 2022; Ragi, Mallikarjuna, 2023; Sondarva et al., 2023; Chhetri, 2023 и др.]. Векторизация сети тальвегов (постоянных и временных водотоков) и границ речных бассейнов проводилась по откорректированной глобальной цифровой модели рельефа ASTER GDEM2 [ASTER..., 2009] с пространственным разрешением 30 м. При выделении бассейнов более низкого порядка мы исходили из относительной гомогенности развития водно-эрозионной сети в границах выделяемых бассейнов. Отметим, что плоские междуречья обуславливают неопределенность положения линий водоразделов, что, вместе с различиями в определении конечных створов устьев рек (впадение в Азовское море или в лиман) приводит к расхождению оценок площади речных бассейнов и длин рек в справочных и литературных источниках. Уточнение положения сети постоянных и временных водотоков, а также результатов дешифрирования типов землепользования осуществлялось нами с помощью сервиса Google Earth Pro.

Среди гидрографических характеристик степных рек существенной является распаханность водосборов. Распознавание типов землепользования за анализируемый период 1999–2020/21 гг. выполнено по космическим снимкам Landsat 7/8 (табл. 1), пространственное разрешение которых сопоставимо с разрешением ЦМР ASTER GDEM2. Для соблюдения корректности сравнения разновременных снимков предпочтение отдавалось датам съемки, приходящимся на межень.

*Таблица 1 / Table 1*

#### Сведения об использованных космических снимках / Information about the used satellite images

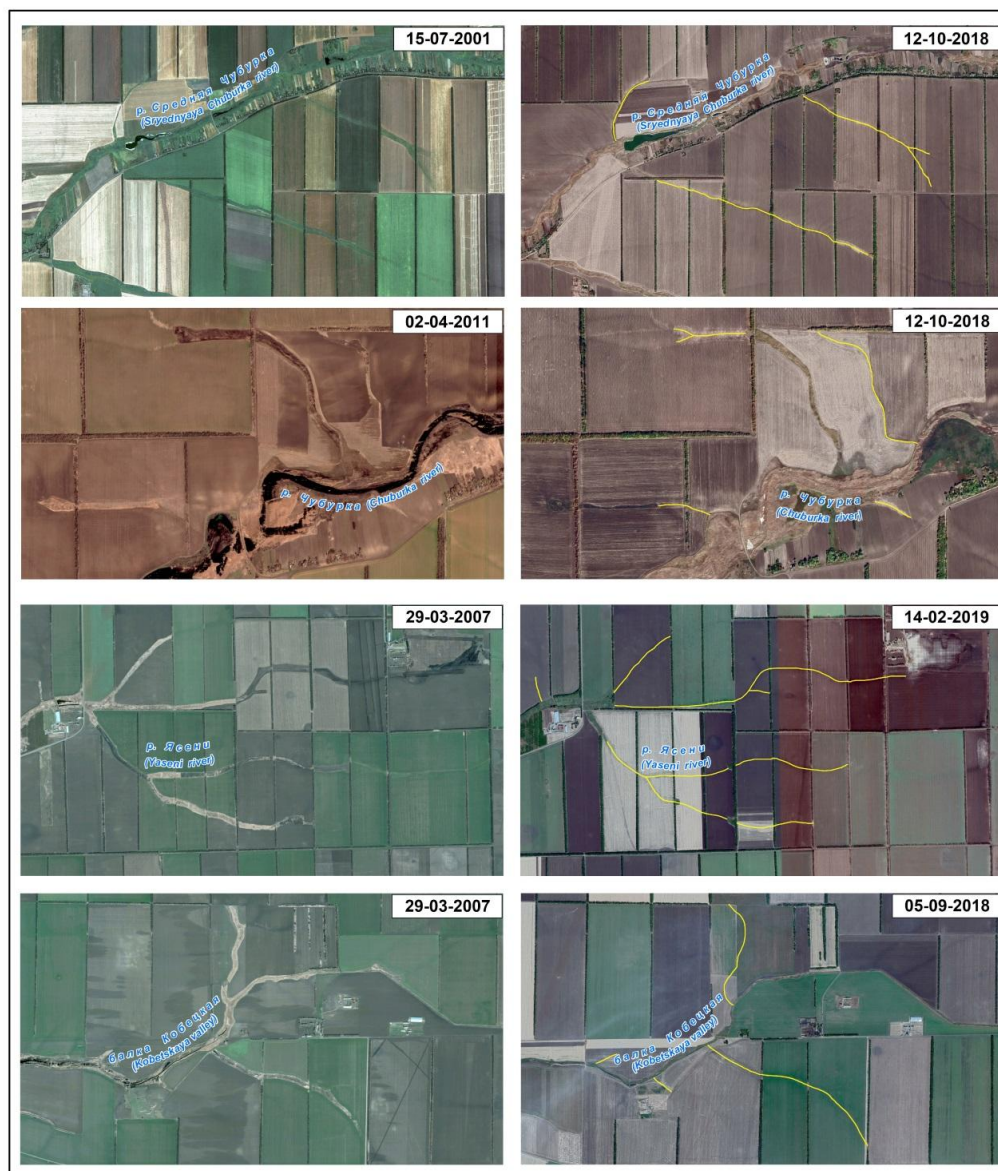
Космический аппарат / Satellite	Дата снимка / Date	ID снимка / ID of satellite images
Бассейн р. Ея / Eya River basin		
Landsat 7	01.10.1999	LE71750281999274NSG01
Landsat 7	03.10.1999	LE71730281999276SGS00
Landsat 7	11.11.1999	LE71740281999315SGS00

Landsat 8	10.07.2021	LC81740282021191LGN00
Landsat 8	17.07.2021	LC81750282021198LGN00
Landsat 8	19.07.2021	LC81730282021200LGN00
Бассейны рек Мокрая Чубурка и Ясени / Yaseny and Mokraya Chuburka River basins		
Landsat 7	30.08.1999	LE71750271999242SGS00
Landsat 7	30.08.1999	LE71750281999242SGS00
Landsat 8	18.08.2021	LC81750272021230LGN00
Landsat 8	18.08.2021	LC81750282021230LGN00
Бассейны рек Челбас и Албаши / Chelbas and Albashi River basins		
Landsat 7	01.10.1999	LE71750281999274NSG01
Landsat 7	03.10.1999	LE71730281999276SGS00
Landsat 7	11.11.1999	LE71740281999315SGS00
Landsat 8	18.09.2020	LC81730282020262LGN00
Landsat 8	12.11.2020	LC81740282020317LGN00
Landsat 8	19.11.2020	LC81750282020324LGN00
Бассейн р. Бейсуг / Beysug River basin		
Landsat 7	01.10.1999	LE71750281999274NSG00
Landsat 7	11.11.1999	LE71740281999315SGS00
Landsat 8	09.09.2020	LC81740282020253LGN00
Landsat 8	12.11.2020	LC81740282020317LGN00

За основу классификации принята номенклатура базы данных покрытия / землепользования, разработанная для европейской программы CORINE Land Cover (CLC)<sup>3</sup>. Использование этой номенклатуры свидетельствует о целесообразности ее применения для анализа техногенной деградации речных систем в соответствии с разработанной методикой дешифрирования космических снимков [Погорелов и др., 2022]. Для исследуемой территории выделено четыре типа характерных поверхностей / землепользования: 1) сельскохозяйственные угодья (Agricultural areas), 2) населенные пункты и объекты инфраструктуры (Artificial surfaces), 3) плавни (болота) и лесополосы (Wetland, Forests and semi-natural areas), 4) водные объекты (Water body). Объединение плавней и лесополос в единый тип обусловлено сложностью распознавания болотной и древесной растительности на космических снимках. Приемы оценки техногенных изменений элементов водно-эрозионной сети на снимках иллюстрирует рисунок 2.

<sup>3</sup> <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>





*Рис. 2. Уменьшение длины водно-эрозионной сети в результате распашки и вертикальной планировки поверхности в бассейнах рек Мокрая Чубурка и Ясени. Уничтоженные водотоки выделены желтым цветом /*

*Fig. 2. Decreases in the length of the erosion network as a result of plowing and vertical leveling of the surface in the Mokraya Chuburka and the Yaseny river basin. Eliminated streams are highlighted in yellow*

## Результаты работы и их обсуждение

**Сокращение длины водотоков.** В процессе векторизации границ бассейнов на исследуемой территории выделено 72 речных бассейна низших порядков, площадь которых варьирует от 70 до 609,5 км<sup>2</sup> (рис. 3). Длина водотоков среди гидрографических характеристик наиболее показательна в аспекте деградации речной сети (табл. 2). За анализируемый период произошло повсеместное уменьшение суммарной длины водотоков в каждом исследуемом речном бассейне в интервале от 15,7 % (бассейн р. Челбас) до 32,9 % (бассейн р. Ясени).



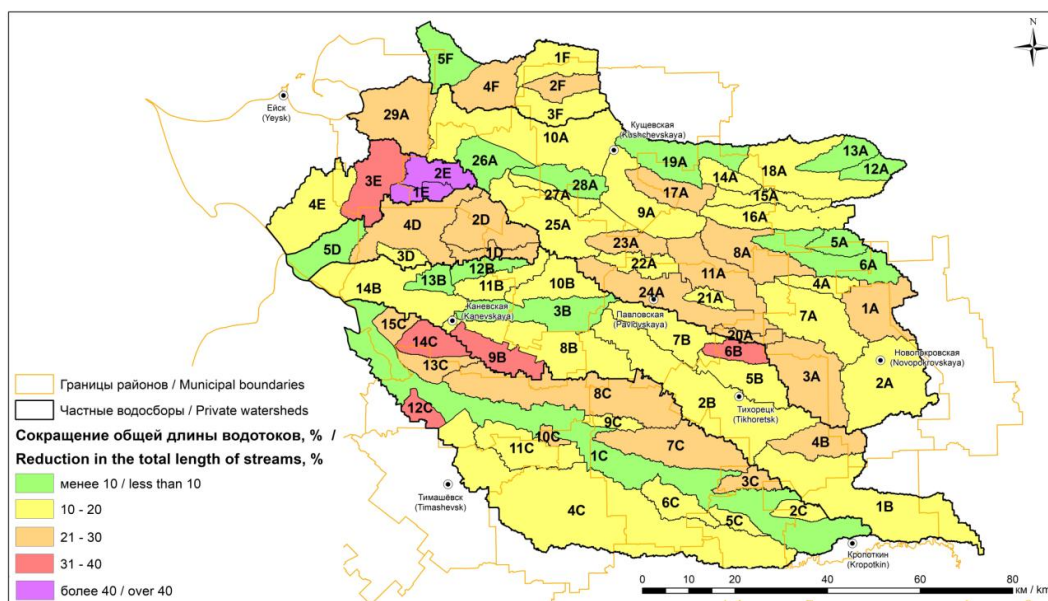


Рис. 3. Выделенные речные бассейны низших порядков. Сокращение общей длины водотоков за период 1999–2021 гг. в исследуемых речных бассейнах /  
 Fig. 3. Allocated river basins of lower orders. Changes in the length of watercourses for the period 1999–2021 in the studied river basins

Таблица 2 / Table 2

**Изменения за 1999–2020/21 гг. длины водотоков в исследуемых бассейнах /  
 Changes for 1999–2020/21 in the length of the studied watercourses**

№	Бассейн / Basin	Площадь, км <sup>2</sup> / Area, km <sup>2</sup>	Длина водотоков, км / Length of water object, km		
			1999 г. / 1999 year	2020/21 г. / 2020/21 year	Изменение за 1999–2020/21 гг., % / Change for 1999-2020/21 year, %
1	Бейсуг / Beysug	5994,60	2721,90	2252,50	-17,20
2	Челбас / Chelbas	5057,05	2215,22	1868,27	-15,66
3	Албаша / Albashi	1210,65	430,11	340,09	-20,93
4	Ясени / Yaseni	1033,60	258,82	173,69	-32,89
5	Ея / Eya	8654,18	3226,52	2674,65	-17,10
6	Мокрая Чубурка / Mokraya Chuburka	1077,53	422,00	347,08	-17,75

Различия в изменениях длины водотоков в частных бассейнах в Восточном Приазовье за 1999–2021 гг. показаны (рис. 3). Как видим (табл. 3), в отдельных бассейнах, в зависимости от ситуации с распашкой и планировкой поверхности, относительные сокращения длины водотоков за 22 года имеют разный порядок (от 3,2 до 43,5 %), что подтверждается данными бассейнов рек Ясени и Мокрая Чубурка.

Наибольшему сокращению длины водотоков подвержены водосборы, где ползучая экспансия пашни приводит к уничтожению верхних звеньев водно-эрозионной сети (рис. 2, табл. 3). Последнее обусловлено еще и тем, что в своих верховьях реки зачастую не имеют постоянного стока. Полученные результаты указывают на деградацию речной сети, свойственную в целом речным системам Азово-Кубанской равнины (рис. 3, табл. 2). Подобные изменения, вызванные «отмиранием» верховий рек в водосборах за последние десятилетия, предопределяют последующее нарушение активности флювиальных процессов и дренированности территории.

Таблица 3 / Table 3

**Изменения за 1999–2021 гг. длины водотоков в бассейнах рек  
Ясени и Мокрая Чубурка /  
Changes for 1999–2021 in the length of watercourses in the basins  
of the Yaseni and Mokraya Chuburka rivers**

№	Частные бассейны / Local basins	Площадь, км <sup>2</sup> / Area, km <sup>2</sup>	Длина водотоков, км / Length of watercourses, km		
			1999 г. / 1999 year	2021 г. / 2021 year	Изменение за 1999–2021 гг., % / Change for 1999–2021 year, %
Бассейн р. Ясени / Yaseny River basin					
1E	Балка Кобецкая / Kobetskaya valley	99,8	31,21	17,63	-43,51
2E	Ясени (верхнее течение) / Yaseni (upper flow)	164,75	62,69	36,69	-41,47
3E	Ясени (среднее течение) / Yaseni (middle flow)	322,37	101,45	66,65	-34,3
4E	Ясени (нижнее течение) / Yaseni (down flow)	446,68	63,47	52,72	-16,94
Бассейн р. Мокрая Чубурка / Mokraya Chuburka River basin					
1F	Чубурка / Chuburka	234,36	107,29	89,19	-16,87
2F	Средняя Чубурка / Middle Chuburka	136,18	64,4	48,78	-24,25
3F	Мокрая Чубурка (верхнее течение) / Mokraya Chuburka (upper flow)	225,11	104,07	89,47	-14,03
4F	Мокрая Чубурка (среднее течение) / Mokraya Chuburka (middle flow)	261,09	95,20	70,21	-26,25
5F	Мокрая Чубурка (нижнее течение) / Mokraya Chuburka (down flow)	218,79	51,04	49,43	-3,15

**Изменение структуры землепользования.** На рисунках 4 и 5 на материалах бассейнов рек Мокрая Чубурка и Ясени представлены некоторые результаты распознавания на спутниковых снимках типов землепользования в их динамике на отдельных участках водосборов. Обобщенные сведения о распределении типов поверхности в речных бассейнах, рассматриваемые с позиции гидрографических характеристик (распаханность, урбанизированность), приведены в таблице 4.

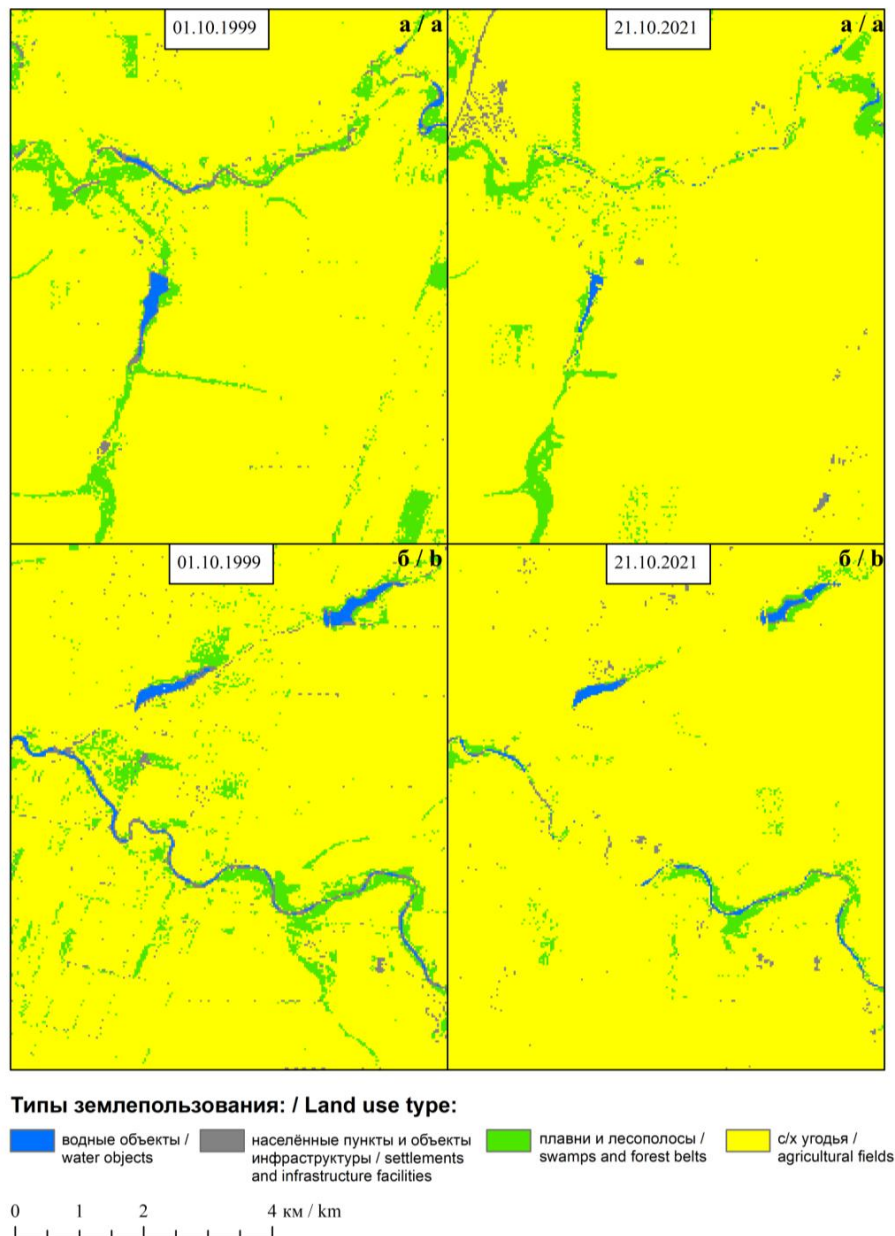
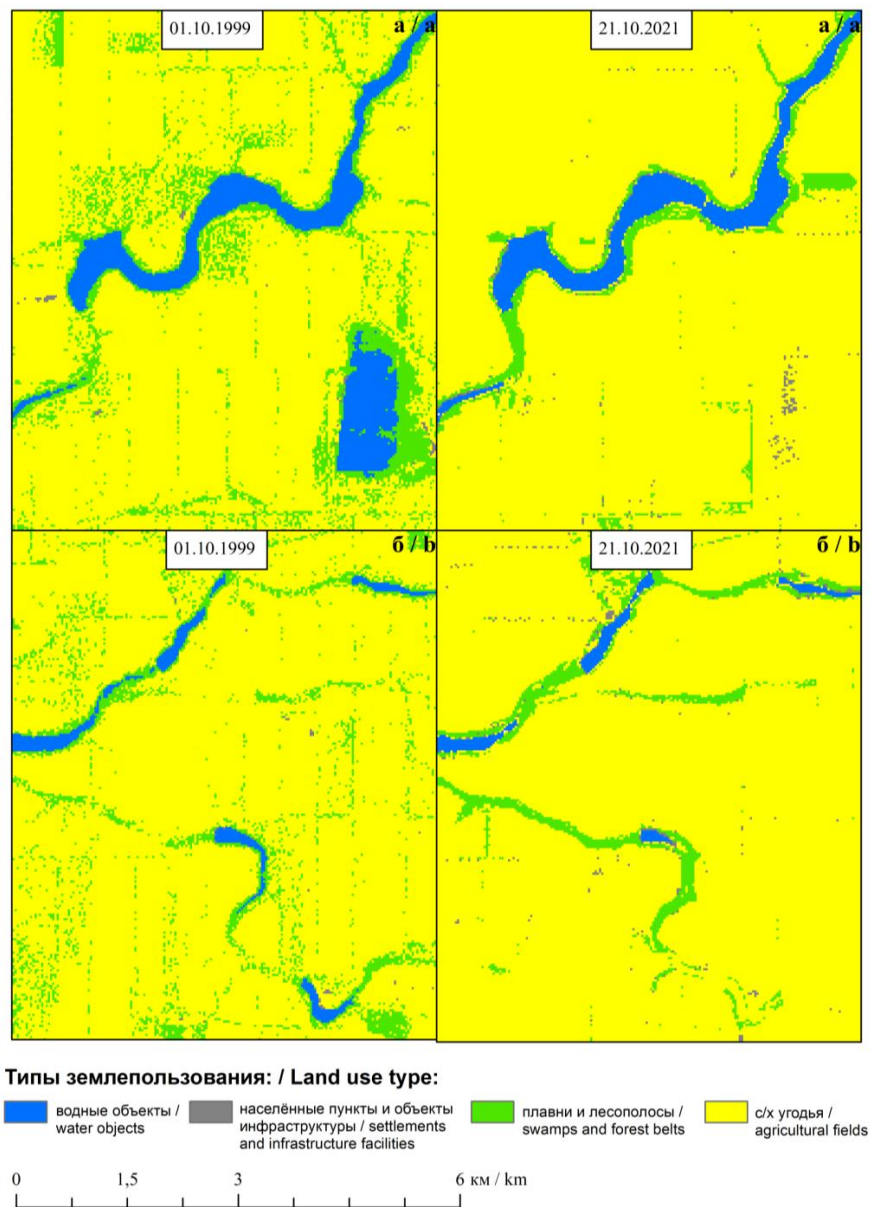


Рис. 4. Дешифрирование типов землепользования по данным спутников Landsat и примеры изменений землепользования в 1999–2021 гг. в бассейне р. Мокрая Чубурка в районе населенных пунктов х. Христичево (а) и х. Марков (б) /

Fig. 4. Recognition of land use types from Landsat satellites and examples of land use changes in 1999–2021 in the Mokraya Chuburka river basin in the area of settlements Khristichevo (a) and Markov (b)



*Рис. 5. Дешифрирование типов землепользования по данным спутников Landsat и примеры изменений землепользования в 1999–2021 гг. в бассейне р. Ясени в районе населенных пунктов с. Новошчебиновская (а) и с. Новоясенская (б) /*

*Fig. 5. Recognition of land use types from Landsat satellites and examples of land use changes in 1999–2021 in the Yaseni river basin in the area of settlements Novoshchebinovskaya (a) and Novoyasenskaya (b)*

Структуре землепользования свойственны следующие особенности. Подавляющая часть территории анализируемых бассейнов занята сельскохозяйственными полями (82,5–94,2 % по данным 2021 г.). При этом доля пашни за 1999–2021 гг. в бассейнах рек Бейсуг, Челбас, Албаши, Ея сократилась на 1,2–4,7 %, а в бассейнах рек Мокрая Чубурка и Ясени возросла на 0,7–11,1 %. Сокращение площади пашни объясняется отчасти ростом площади земель населенных пунктов (бассейны рек Бейсуг, Челбас, Албаши). Показательно, что во всех бассейнах одновременно с сокращением длины водотоков наблюдается и сокращение площади, занятой водны-



ми объектами (табл. 4), что дополнительно указывает на техногенную перестройку водообменных процессов в регионе.

Таблица 4 / Table 4

**Распределение типов поверхностей в частных бассейнах  
в исследуемых речных бассейнах /  
Distribution of surface types in basins in the in the studied river basins**

№	Бассейн / Basin	Площадь, км <sup>2</sup> / Area, km <sup>2</sup>	Количество частных бассейнов / Amount of local basins	1999 г. / 1999 year				2020/21 гг. / 2020/21 year			
				Населенные пункты, % / Settlements, %	Плавни и лесополосы, % / Swamps and forest belts, %	Водные объекты, % / Water objects, %	Сельскохозяйственные поля, % / Agricultural fields, %	Населенные пункты, % / Settlements, %	Плавни и лесополосы, % / Swamps and forest belts, %	Водные объекты, % / Water objects, %	Сельскохозяйственные поля, % / Agricultural fields, %
1	Бейсуг / Veysug	5994,60	15	2,09	9,24	1,95	86,71	2,87	10,09	1,54	85,49
2	Челбас / Chelbas	5057,05	16	3,49	3,64	2,57	90,30	8,03	4,12	2,24	85,61
3	Албаша / Albashi	1210,65	3	2,18	5,32	8,20	84,30	3,64	5,70	8,14	82,52
4	Ясени / Yaseni	1032,77	4	0,55	16,72	4,32	78,41	0,80	5,86	3,99	89,35
5	Ея / Eya	8654,18	29	5,84	4,22	1,37	88,58	5,57	9,17	1,16	84,10
6	Мокрая Чубурка / Mokraya Chuburka	1076,67	5	1,76	4,01	0,76	93,47	1,95	3,3	0,58	94,17

Установленное распределение типов земной поверхности (табл. 4) отражает сложившуюся структуру землепользования на территории Азово-Кубанской равнины и одновременно показывает безусловное доминирование агрофитоценозов (пашни) в ландшафтообразовании при подчиненной роли земель, занятых водными объектами, лесополосами и застройкой.

### Выводы

1. Признаками деградации гидрографической сети в бассейнах рек Бейсуг, Челбас, Албаша, Ясени, Ея, Мокрая Чубурка на площади более 23 тыс. км<sup>2</sup> является постепенное разрушение структурной (в гидрографическом понимании) и функциональной организации рек как экосистем. По данным полевых исследований и анализа спутниковых снимков в каждом речном бассейне за 1999–2020/21 гг. отмечено сокращение суммарной длины водотоков от 15,7 (бассейн р. Челбас) до 32,9 % (бассейн р. Ясени). В бассейнах низшего порядка уменьшение общей длины водо-

токов колеблется от 3,2 до 43,5 %. Подобное уменьшение вызвано, главным образом, «отмиранием» верхних звеньев водно-эрозионной сети при экспансии пахотных земель. В исследуемых речных бассейнах одновременно с сокращением длины водотоков зафиксировано и сокращение площади, занятой водными объектами.

2. При весьма низких коэффициентах стока у исследуемых степных рек (около 3,5–7,5 %) отмирание верховий рек приводит к местным нарушениям горизонтальной и вертикальной фильтрации и ухудшению условий питания грунтовых вод, что неблагоприятно сказывается на питании рек в Восточном Приазовье в целом.

3. Спутниковые снимки позволяют отслеживать динамику землепользования в речных бассейнах в показателях гидрографических характеристик, включая распаханность и урбанизированность. В структуре землепользования во всех бассейнах доминируют пахотные земли (82,5–94,2 % площади); доля пашни за 1999–2021 гг. в крупных речных бассейнах (Бейсуг, Челбас, Ея, Албаши) сократилась на 1,2–4,7 %, главным образом, за счет увеличения площади застройки. Доля площади населенных пунктов и объектов техногенной инфраструктуры практически везде растет, достигая в разных бассейнах 0,8–8 %.

4. Техногенные воздействия на экосистемы рек Восточного Приазовья (агротехническая и инженерная деятельность на водосборах, влияние гидротехнических сооружений на русловые процессы) и вызванные ими изменения гидрографических характеристик носят неуправляемый характер. При сохранении эффектов деградации речных систем водохозяйственная ситуация в регионе будет в обозримой перспективе обостряться.

## Литература

1. Белюченко И.С. Функционирование степных рек Краснодарского края и перспективы их развития. // Экология речных ландшафтов. Сборник статей по материалам I Международной экологической конференции. / Отв. за вып. Н.Н. Мамась. Краснодар: КубГАУ, 2017. – С. 28–43.
2. Белюченко И.С. Экологическое состояние бассейнов степных рек Кубани и перспективы их развития. // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2010. – Т. 6. № 2. – С. 5–12.
3. Владимиров Л.А., Гигинейшвили Г.Н., Джавахишвили А.И., Закарашвили Н.Н. Водный баланс Кавказа и его географические закономерности. Тбилиси: Мецниереба, 1991. – 141 с.
4. Гайдай А.А. Оценка экологического состояния бассейна реки Бейсуг и предложения по улучшению его функционирования: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. / Гайдай Андрей Александрович. – Краснодар: КГАУ, 2006. – 179 с.
5. Голубаш Т.Ю., Сенцова Н.И. Количественная оценка изменения компонентов водного баланса агроландшафта как основа рационального водопользования. // Природообустройство. – 2009. – № 1. – С. 15–23.
6. Косолапов А.Е., Кувалкин А.В. Мордвинцев М.М., Магомедзагиров З.М. Ландшафтно-гидрологический подход к обоснованию сети мониторинга и управления малым водосбором. // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 6. – С. 25–26.
7. Лурье П.М., Панов В.Д. Реки бассейна Азовского моря: Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2021. – 672 с.
8. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Дудкина А.А., Копанева О.В. О техногенных преобразованиях речной сети на Азово-Кубанской равнине (реки Челбас, Албаши). // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». – 2022. – Т. 28. № 2. – С. 567–582. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-567-582.

9. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Киселёв Е.Н. Об изменении гидрографических характеристик рек в степных агроландшафтах за последние десятилетия (на примере бассейна р. Бейсуг, Краснодарский край). // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». – 2021. – Т. 27. № 4. – С. 19–32. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-19-32.
10. Позаченюк Е.А., Тимченко З.В., Кутикова Е.В. Ландшафтно-гидрологический подход к изучению речных ландшафтов Алуштинского амфитеатра. // Учёные записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. – 2022. – Т. 8(74). № 1. – С. 70–82.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ. / Под редакцией В.В. Куприянова. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 447 с.
12. Сазонов А.Д., Закруткин В.Е., Решетняк О.С. Временная изменчивость поверхностного гидрохимического стока в бассейне реки Большой Егорлык в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. № 2. – С. 117–130. DOI: 10.46698/VNC.2022.37.47.009.
13. Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Техногенез и деградация поверхностных водных объектов. М.: ООО ИД ЭНЕРГИЯ, 2014. – 456 с.
14. Суслов О.Н. Степные реки Краснодарского края. Краснодар: Куб ГАУ, – 2015. 256 с.
15. Экология речных ландшафтов. Сборник статей по материалам I Международной экологической конференции. Отв. за вып. Н.Н. Мамась. Краснодар: КубГАУ, 2017. – 267 с.
16. Ashok S.S., Pravin L.Y. Morphometric Analysis of Watershed using GIS and RS: A Review. // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2014. – Vol. 3. Issue 11. – pp. 599–602.
17. ASTER Global DEM Validation. Summary Report. ASTER GDEM Validation Team: METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS. – 2009. 28 p.
18. Chhetri B.A. Quantitative Analysis of Morphometric Parameters Using Remote Sensing and GIS Techniques in the Geil River Basin of Darjeeling Himalaya. // Ecology, Environment and Conservation. – 2023. – Vol. 29. No. 4. – pp. 1940–1948. DOI: 10.53550/eec.2023.v29i04.082.
19. Daramola J., Lam K.C., Ekhwan T.M., Mokhtar J., Salihu Y.M., Babayahaya A.M. Assessment of landuse/landcover dynamics of Kaduna watershed, using remote sensing data and GIS techniques. // Malaysian Journal of Society and Space. – 2022. – Vol. 18. No. 2. – pp. 32–47. DOI: 10.17576/geo-2022-1802-03.
20. Dwivedi L., Pandey R., Tripathi Sh. Remote sensing and GIS based morphometric characterization of Bichiya river watershed of Rewa district, MP. // International Journal of Applied Research. – 2022. – Vol. 8. No. 6. – pp. 101–107. DOI: 10.22271/allresearch.2022.v8.i6b.9829.
21. Gura D.A., Markovskii I.G., Pshidatok S.K. Methods of monitoring real estate objects using three-dimensional laser scanning in the specifics of urban lands. // Geodezia i Kartografia. – 2021. – Vol. 82. No. 4. – pp. 45–53. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-970-4-45-53.
22. Kumar V., Sen S., Chauhan P. Geo-morphometric prioritization of Aglar micro watershed in Lesser Himalaya using GIS approach. // Modeling Earth Systems and Environment. – 2021. – Vol. 7. No. 2. – pp. 1269–1279. DOI: 10.1007/s40808-020-01000-8.
23. Nikolova V., Mitova M., Dimitrov E. Topographic factor of water erosion – analysis of watershed morphometry and RUSLE LS factor in GIS environment. // Review of the Bulgarian Geological Society. – 2022. – Vol. 83. No. 1. – pp. 3–14. DOI: 10.52215/rev.bgs.2022.83.1.3.
24. Ragi R., Mallikarjuna V. Watershed Delineation and Morphometric Analysis Using GIS and Remote Sensing. // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 399. Art. No. 02002. DOI: 10.1051/e3sconf/202339902002.
25. Sondarva K.N., Shrivastava P.K., Jayswal P.S. Basic morphometric analysis of watershed or River basin using GIS: a review. // Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences. – 2023. – Vol. 25. No. 3. – pp. 87–92.

## References

1. Belyuchenko I.S. Functioning of the steppe rivers of the Krasnodar territory and prospects for their development. Ecology of river landscapes. In: Collection of articles on the materials of the I International Ecological Conference. Responsible for release N.N. Mamas. Krasnodar. KubGAU. 2017. pp. 28–43. (In Russ.)
2. Belyuchenko I.S. Ecological state of the basins of the steppe rivers of the Kuban and prospects for their development. Ecological Bulletin of the North Caucasus. 2010. Vol. 6. No. 2. pp. 5–12. (In Russ.)
3. Vladimirov L.A., Gigineishvili G.N., Javakhishvili A.I., Zakarashvili N.N. Water balance of the Caucasus and its geographical patterns. Tbilisi. Metsniereba. 1991. 141 p. (In Russ.)
4. Gaidai A.A. Assessment of the ecological state of the Beisug river basin and proposals for improving its functioning. Dissertation of candidate of biological sciences. 03.00.16. Krasnodar. KSAU. 2006. 179 p. (In Russ.)
5. Golubash T.Yu., Sentsova N.I. Quantitative assessment of changes in the components of the water balance of the agricultural landscape as the basis for rational water use. Nature Management. 2009. No. 1. pp. 15–23. (In Russ.)
6. Kosolapov A.E., Kuvalkin A.V., Mordvintsev M.M., Magomedzagirov Z.M. Landscape-hydrological approach to substantiating a network for monitoring and managing a small watershed. Melioration and Water Management. 1995. No. 6. pp. 25–26. (In Russ.)
7. Lurie P.M., Panov V.D. Rivers of the Azov Sea basin: Hydrography and runoff regime. Rostov-on-Don. Donskoy publishing house. 2021. 672 p. (In Russ.)
8. Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Dudkina A.A., Kopaneva O.V. On technogenic transformations of the river network in the Azov-Kuban Plain (Chelbas, Albashi rivers). In: Proceedings of the International Conference “InterCarto. InterGIS”. 2022. Vol. 28. No. 2. P. 567–582. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-567-582. (In Russ.)
9. Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Kiselev E.N. Changes in the hydrographic characteristics of rivers in steppe agrolandscapes over the past decades (on the example of the Beysug river, Krasnodar territory). In: Proceedings of the International Conference “InterCarto. InterGIS”. 2021. Vol. 27. No. 4. pp. 19–32. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-19-32. (In Russ.)
10. Pozachenyuk E.A., Timchenko Z.V., Kutikova E.V. Landscape-hydrological approach to the study of river landscapes of the Alushta amphitheater. Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Geography. Geology. 2022. Vol. 8 (74). No. 1. pp. 70–82. (In Russ.)
11. Surface water resources of the USSR. Vol. 8. North Caucasus. Ed. V.V. Kupriyanov. Leningrad. Gidrometeoizdat. 1973. 447 p. (In Russ.)
12. Sazonov A.D., Zakrutkin V.E., Reshetnyak O.S. Temporal variability of surface hydrochemical runoff in the Bolshoi Egorlyk River basin under anthropogenic impact and climate change. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No. 2. pp. 117–130. DOI: 10.46698/VNC.2022.37.47.009. (In Russ.)
13. Suzdaleva A.L., Goryunova S.V. Technogenesis and degradation of surface water bodies. Moscow. LLC ID ENERGY. 2014. 456 p. (In Russ.)
14. Suslov O.N. Steppe rivers of the Krasnodar Territory. Krasnodar. KubSAU. 2015. 256 p. (In Russ.)
15. Ecology of river landscapes. In: Collection of articles on the materials of the I International Ecological Conference. Ed. N.N. Mamas. Krasnodar. KubGAU. 2017. 267 p. (In Russ.)
16. Ashok S.S., Pravin L.Y. Morphometric Analysis of Watershed using GIS and RS: A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2014. Vol. 3. Issue 11. pp. 599–602.
17. ASTER Global DEM Validation. Summary Report. ASTER GDEM Validation Team: METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS. 2009. 28 p.



18. Chhetri B.A. Quantitative Analysis of Morphometric Parameters Using Remote Sensing and GIS Techniques in the Geil River Basin of Darjeeling Himalaya. *Ecology, Environment and Conservation*. 2023. Vol. 29. No. 4. pp. 1940–1948. DOI: 10.53550/eec.2023.v29i04.082.

19. Daramola J., Lam K.C., Ekhwan T.M., Mokhtar J., Salihu Y.M., Babayahaya A.M. Assessment of landuse/landcover dynamics of Kaduna watershed, using remote sensing data and GIS techniques. *Malaysian Journal of Society and Space*. 2022. Vol. 18. No. 2. pp. 32–47. DOI: 10.17576/geo-2022-1802-03.

20. Dwivedi L., Pandey R., Tripathi Sh. Remote sensing and GIS based morphometric characterization of Bichiya river watershed of Rewa district, MP. *International Journal of Applied Research*. 2022. Vol. 8. No. 6. pp. 101–107. DOI: 10.22271/allresearch.2022.v8.i6b.9829.

21. Gura D.A., Markovskii I.G., Pshidatok S.K. Methods of monitoring real estate objects using three-dimensional laser scanning in the specifics of urban lands. *Geodezia i Kartografia*. 2021. Vol. 82. No. 4. pp. 45–53. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-970-4-45-53.

22. Kumar V., Sen S., Chauhan P. Geo-morphometric prioritization of Aglar micro watershed in Lesser Himalaya using GIS approach. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2021. Vol. 7. No. 2. pp. 1269–1279. DOI: 10.1007/s40808-020-01000-8.

23. Nikolova V., Mitova M., Dimitrov E. Topographic factor of water erosion – analysis of watershed morphometry and RUSLE LS factor in GIS environment. *Review of the Bulgarian Geological Society*. 2022. Vol. 83. No. 1. pp. 3–14. DOI: 10.52215/rev.bgs.2022.83.1.3.

24. Ragi R., Mallikarjuna V. Watershed Delineation and Morphometric Analysis Using GIS and Remote Sensing. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 399. Art. No. 02002. DOI: 10.1051/e3sconf/202339902002.

25. Sondarva K.N., Shrivastava P.K., Jayswal P.S. Basic morphometric analysis of watershed or River basin using GIS: a review. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*. 2023. Vol. 25. No. 3. pp. 87–92.