

А.Е. Косолапов¹, Г.И. Скрипка², О.В. Ивлиева^{3,4}, Л.А. Беспалова^{5,6}

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГУСТОТЫ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ БЕЛГОРОДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

АННОТАЦИЯ

В автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов обязательным показателем является определение значения густоты эрозионной сети водоохранной зоны.

При изучении водоохранной зоны Цимлянского водохранилища авторами статьи были разработаны и апробированы рекомендации по определению густоты эрозионной сети по материалам дистанционных обследований, выполненных с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и инструментария географических информационных систем (ГИС).

В настоящей статье дана оценка густоты эрозионной сети водоохранной зоны побережья Белгородского водохранилища, проведённая с использованием данных рекомендаций. Такие исследования особенно актуальны для берегов, на которых отсутствует регулярная наблюдательная реперная сеть, или для берегов, имеющих низкую транспортную доступность.

На основе серий фотоснимков, сделанных беспилотным летательным аппаратом, с использованием программы Agisoft PhotoScan, построены цифровые модели рельефа и ортофотопланы водоохранной зоны. По прямым и косвенным признакам определено положение тальвегов линейных эрозионных форм рельефа разных порядков – от борозд и рытвин до ручьёв и малых рек. Водоохранная зона в соответствии с разработанными авторами рекомендациями разбита на элементарные сегменты, для каждого из которых с использованием инструментария ГИС определена величина густоты эрозионной сети (I).

Выполненная оценка густоты эрозионной сети показала, что на фоне в целом низкой степени горизонтального расчленения рельефа водоохранной зоны Белгородского водохранилища заметно выделяется правобережье водохранилища в границах Шебекенского муниципального района. Густота эрозионной сети данного участка в 5–7 раз превышает среднее значение данного параметра, определённого в целом для всей водоохранной зоны водохранилища. Так же только здесь заметно преобладают эрозионные формы рельефа, полностью расположенные в границах водоохранной зоны, что не характерно для остальной части побережья водохранилища.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водохранилище, густота эрозионной сети, ортофотоплан, беспилотный летательный аппарат, цифровая модель рельефа

¹ Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНВХЦ), ул. Филимоновская, 174, 344000, г. Ростов-на-Дону, Россия; *e-mail*: akosol@mail.ru

² Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНВХЦ), ул. Филимоновская, 174, 344000, г. Ростов-на-Дону, Россия; *e-mail*: skripka.grisha@yandex.ru

³ Южный федеральный университет, ул. Б. Садовая, 105, 344006, г. Ростов-на-Дону; *e-mail*: ivlieva.o@mail.ru

⁴ Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНВХЦ), ул. Филимоновская, 174, 344000, г. Ростов-на-Дону, Россия; *e-mail*: ivlieva.o@mail.ru

⁵ Южный федеральный университет, ул. Б. Садовая, 105, 344006, г. Ростов-на-Дону; *e-mail*: bespalowaliudmila@yandex.ru

⁶ Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНВХЦ), ул. Филимоновская, 174, 344000, г. Ростов-на-Дону, Россия; *e-mail*: bespalowaliudmila@yandex.ru

Aleksei E. Kosolapov¹, Grigoriy I. Skripka², Olga V. Ivlieva^{3,4}, Ludmila A. Bespalova^{5,6}

**THE USE OF A SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX CREATED
ON THE BASIS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND GIS TECHNOLOGIES
FOR MONITORING THE EROSION PROCESSES OF THE WATER PROTECTION
ZONE OF THE BELGOROD RESERVOIR**

ABSTRACT

Determining value of erosion network density in the water protection zone is the compulsory index in the automated information system of water bodies state monitoring.

The authors of the article developed and tested when studying the Tsimlyansk reservoir water protection zone recommendations for determining erosion network density by materials of distant inspections carried out using pilot-less aircraft (PLA) and tools of geographic information systems (GIS).

In the article assessment of erosion network density for the Belgorodsk reservoir water protection zone carried out using given recommendations is presented. Such inspections are especially actual for the banks where regular observation benchmark network is lacking or they have low transport accessibility.

Based on series of photographs made by pilotless aircrafts using Agisoft Photo Scan programme relief numerical models and orthophotomaps of the water protection zone are constructed. By direct and indirect signs position of tolwegs for the relief linear erosion forms of different orders—from furrows and grooves to brooks and small rivers. According to the recommendations developed by the authors, the water protection zone is divided into elementary segments and for every of them the value of erosion network density determined using GIS tools.

Assessment of erosion network density showed that on the background of general low degree of the relief horizontal dismemberment for the Belgorodsk reservoir water protection zone the reservoir right-bank within Shebekinsky municipal region was distinguished noticeably. The erosion network density of this plot by 5–7 times exceeds the value of this parameter for the whole water protection zone of the reservoir. And only here relief erosion forms fully located within the water protection zone predominate noticeably, that is not characteristic for the rest part e the reservoir cost.

KEYWORDS: reservoir, density of the erosion network, orthomosaic, unmanned aerial vehicle, digital terrain model

¹ Russian Information-Analytic and Research Water Economy Center (FSBI RusIARWMC), Filimonovskaya Street, 174, 344000, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail*: akosol@mail.ru

² Russian Information-Analytic and Research Water Economy Center (FSBI RusIARWMC), Filimonovskaya Street, 174, 344000, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail*: skripka.grisha@yandex.ru

³ Southern Federal University, B. Sadovaya Street, 105, 344006, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail*: ivlieva.o@mail.ru

⁴ Russian Information-Analytic and Research Water Economy Center (FSBI RusIARWMC), Filimonovskaya Street, 174, 344000, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail*: ivlieva.o@mail.ru

⁵ Southern Federal University, B. Sadovaya Street, 105, 344006, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail*: bespalowaliudmila@yandex.ru

⁶ Russian Information-Analytic and Research Water Economy Center (FSBI RusIARWMC), Filimonovskaya Street, 174, 344000, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail*: bespalowaliudmila@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Согласно действующим нормативно-правовым актам информация о состоянии водоохранной зоны и берегов, в том числе о густоте эрозионной сети водоохранной зоны, должна в обязательном порядке представляться органами, осуществляющими мониторинг водных объектов. Полученную информацию вносят в автоматизированную информационную систему государственного мониторинга [Kosolapov *et al.*, 2018].

На топографических картах русла ручьёв и рек трассируют тальвеги этих водотоков. Положение тальвегов временных водотоков фиксируется линией, пересекающей горизонтали в точках наибольшего перегиба. На участках со слабо расчленённым рельефом положение тальвегов даже относительно крупных временных водотоков удаётся установить (и то не во всех случаях) только на крупномасштабных топографических картах, а более мелкие формы эрозионного рельефа (рытвины, борозда, а нередко и овраги) на них вообще не отражены.

Для оптимизации получения информации о степени эрозионной расчленённости водоохранной зоны водохранилищ, имеющих большую протяженность берегов, предлагается помимо традиционного ручного сбора данных с применением измерительных устройств, использовать результаты дистанционных наблюдений, осуществляемых с использованием БПЛА, а для их обработки программное обеспечение Agisoft PhotoScan Professional и стандартный инструментарий ГИС.

Многие исследователи [Семёнчик, 2017; Павлова, 2013, 2016] указывают на перспективность использования для получения количественных характеристик рельефа геоинформационных программных продуктов, а также геоинформационного моделирования на основе анализа цифровых моделей рельефа.

Применение дистанционных методов наблюдения резко повышает оперативность мониторинга. Важным преимуществом ГИС-технологий является возможность хранения и анализа в одной базовой системе больших объёмов данных. Использование при изучении состояния водоохранной зоны водных объектов материалов дистанционных наблюдений и ГИС-технологий, способствует принятию адекватных управленческих решений по осуществлению водохозяйственных и природоохранных мероприятий с учётом изменения природных условий. В качестве объекта исследований выбрана водоохранная зона Белгородского водохранилища. Предметом исследования стала оценка густоты эрозионной сети водоохранной зоны водохранилища.

Рекомендации по проведению оценки густоты эрозионной сети водоохранной зоны водных объектов с использованием БПЛА и ГИС-технологий были ранее разработаны и апробированы при изучении и оценке экзогенных процессов водоохранной зоны Цимлянского водохранилища [Kosolapov *et al.*, 2018; Скрипка *и др.*, 2020].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водоохранной зоны водных объектов густота эрозионной сети (I) определяется её протяжённостью на единицу площади и рассчитывается по формуле:

$$I = L/S,$$

где L — суммарная длина тальвегов элементов эрозионной сети, S — площадь участка. Густота эрозионной сети измеряется в км/км² или м/м².

Густота эрозионной сети может быть определена «ручными» методами (длина тальвегов определяется с помощью курвиметра, а площади участка посредством разбивки его на квадраты определённого размера) и с использованием ГИС технологий.

Для определения густоты эрозионной сети водоохранной зоны Белгородского водохранилища были использованы материалы фотосъёмки, выполненной в апреле и июле 2019 г.

БПЛА Phantom 4 Pro. Съёмка местности производилась в надир с высоты 100 м. Фотограмметрическую обработку материалов аэросъёмки выполнили в Agisoft PhotoScan Professional. Пространственное разрешение полученных ортофотопланов составило 3 см, цифровых моделей местности – 10 см. По полученным авторами при изучении побережья Цимлянского водохранилища оценкам, погрешность определения координат объектов по ортофотоплану при использовании стационарной реперной сети составляет единицы сантиметров, а без реперов – 5–15 м. При этом относительная погрешность определения расстояний в первом случае не превышала 0,01 % от длины измеряемого объекта, а без использования реперов – 1 %. В данной работе реперную сеть не использовали, посчитав погрешности измерений удовлетворяющими цели исследования.

На ортофотопланах и цифровых моделях местности при визуальном дешифрировании эрозионные формы рельефа и их тальвеги могут быть идентифицированы по прямым и косвенным дешифровочным признакам (рис. 1). Определение густоты эрозионной сети проводили в ГИС ArcMap 10.2 по следующему алгоритму:

- визуальное дешифрирование эрозионных форм рельефа исследуемой территории по фотоматериалам, полученным с помощью БПЛА;
- маркирование (оцифровка) всех тальвегов для дальнейших расчётов и создания отдельного слоя для ГИС-проекта;
- создание слоя площадей территорий для расчёта густоты эрозионной сети;
- расчёт густоты эрозионной сети.

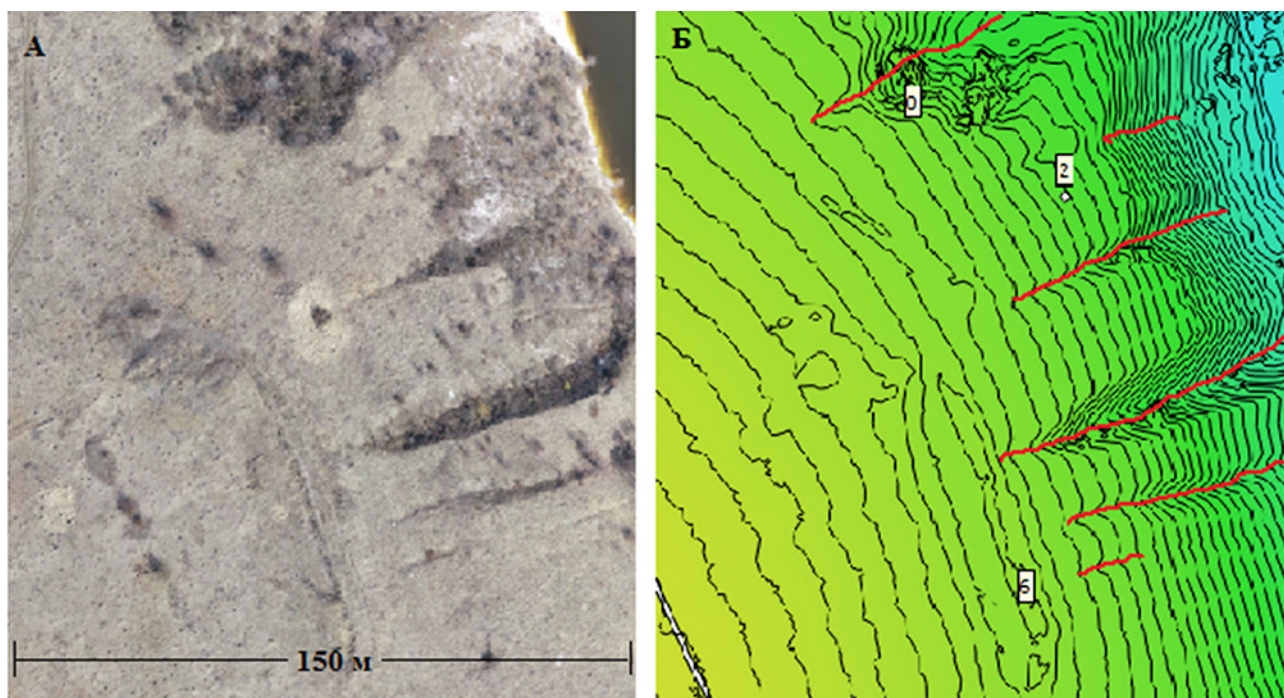


Рис. 1. Фрагмент ортофотоплана водоохранной зоны Белгородского водохранилища (А) и цифровой модели местности с горизонталями, проведёнными через 1 м и тальвегами (красные линии) эрозионных форм рельефа (Б), построенными по материалам съёмки БПЛА

Fig. 1 Orthophoto map fragment of the Belgorodsk reservoir water protection zone (A) and numerical model of local with horizontal lines drowned across 1m and talwegs (red lines) of relief erosion forms (B) constructed by the materials of PLA survey

Для определения изменений величины горизонтального расчленения по простиранию водоохранной зоны, оценки связи густоты эрозионной сети с особенностями природных условий или последствиями антропогенной деятельности, осуществлялось деление её территории на небольшие (элементарные) сегменты.

Величина отрезков, на которые делят линию усреднённого простирания водоохранной зоны, определяется в зависимости от решаемых задач, но в общем случае она должна быть соизмерима с шириной наиболее крупных линейных эрозионных форм, встречающихся на данной территории [Скрипка и др., 2020]. Для каждого элементарного сегмента, используя инструментарий ГИС, определяли площадь, длину тальвегов, расположенных в его границах эрозионных форм, и (по приведённой ранее формуле) рассчитывали величину густоты эрозионной сети. Провели ранжирование (классификацию) полученных элементарных сегментов по величине густоты эрозионной сети, в соответствии с выбранным интервалом (шагом) изменения значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После заполнения Белгородского водохранилища (1987 г.) началась интенсивная переработка берегов и формирование следующих их типов: абразионных, аккумулятивных, нейтральных, защищённых и подтопленных. В настоящее время доля абразионных берегов составляет около 50 %, аккумулятивных – более 15 %, нейтральных – более 30 % длины береговой линии. Незначительную долю (менее 1 %) составляют так называемые защищённые (искусственные) берега. Эти берега представлены наклонными бетонными плитами, расположенными в южной (приплотинной) правобережной и левобережной частях водохранилища. А также техногенные берега отмечаются вдоль береговой линии у пос. Маслова Пристань, на небольших участках береговой зоны, вдоль пионерских лагерей и домов отдыха на левом берегу водоёма [Крамчанинов, 2009; Галыгин и др., 2012].

В развитии опасных экзогенных геологических процессов в береговой зоне водохранилища можно выявить некоторые закономерности. Правый берег имеет более высокое гипсометрическое положение и больше подвержен эрозионным и гравитационным процессам, нежели левый. А на левом берегу более развиты процессы заболачивания и пляжеобразования. Подтопление и заболачивание развиты также в районе верхнего бьефа и в верховье водохранилища.

Аккумулятивный тип берега весьма широко представлен в левобережной части Белгородского водохранилища. Абразионно-обвальный тип берега на правой стороне водохранилища относится к береговым уступам, сложенным лессовидными суглинками, глинами и имеет фрагментарное распространение. Абразионно-осыпной выровненный тип берега в левобережной части водохранилища имеет широкое распространение и выделяется на фоне низменных аккумулятивных берегов отчётливо выраженными осыпными уступами. Абразионно-осыпной тип берега с фестончатым расчленением встречается ограничено, лишь в некоторых местах левобережья, на участке между пос. Маслова Пристань и базой отдыха «Дантист». Нейтральный тип берегов наблюдается на низменных отлогих побережьях правого и левого берегов в верхней части водохранилища и в заливах, образованных устьевыми частями впадающих в него рек Топлинка и Разумная. В пределах этих участков побережья водохранилища волновые процессы не развиты, абразия не наблюдается из-за широкой полосы вдоль берега камышево-тростниковых зарослей, которые полностью гасят силу ветровых волн [Ильяхи, Силкин, 2012; Петрова, 2012].

Густота эрозионной сети водоохранной зоны зависит от комплекса природных факторов: строение и литологический состав слагающих её толщ, характер и интенсивность современных тектонических движений, принадлежность к определённым морфоструктурам рельефа, типы почв, состояние растительного покрова и др. Немаловажную роль играют

особенности хозяйственного использования территории: строительство противоэрозионных гидротехнических сооружений, искусственное изменение рельефа в связи с дорожными и другими видами строительных работ, которые не зависят от территориально-административного деления и других факторов.

Водоохранная зона Белгородского водохранилища проходит по территории трёх муниципальных образований Белгородской области: Шебекинского и Белгородского районов, а также г. Белгород. В границах Шебекинского района она была отснята полностью, однако на территории двух других муниципальных образований имеются участки, не обследованные с помощью БПЛА из-за покрытия густой древесной растительностью. Ввиду отсутствия данных аэросъёмки, дешифрирование тальвегов на этих территориях выполнено по слою WorldImagery базовой карты ArcGis Online.

Среднее значение густоты эрозионной сети в целом для водоохранной зоны Белгородского водохранилища составляет 2,88 км/км² (табл. 1). Анализ проявления эрозионных форм в водоохранной зоне Белгородского водохранилища показал (рис. 2), что основную часть эрозионных форм (94 %) составляют овраги и балки. Более мелкие эрозионные формы, такие, как борозды и рытвины, для исследуемой территории не характерны, в городском округе Белгород они вообще отсутствуют или не зафиксированы на рассмотренных картографических материалах в силу своих небольших размеров. Распределение линейных эрозионных форм по их протяжённости свидетельствует о том, что в большинстве своём они выходят за пределы водоохранной зоны. Лишь в Шебекинском районе наблюдается преобладание форм эрозионной расчленённости, полностью располагающихся в её пределах (рис. 3). На этот же район, при наименьшей площади водоохранной зоны, приходится наибольшая длина расположенных в её границах тальвегов, что и определило максимальное значение величины густоты эрозионной сети (табл. 1). Относительно высокой эрозионной расчленённостью рельефа можно объяснить низкое по сравнению с другими муниципальными образованиями хозяйственное освоение земель района.

Водоохранная зона Белгородского водохранилища в целом отличается тем, что большое количество территории отведено под селитебную зону – это 8,36 км², что составляет 43 %. Особенно высока её доля в границах городского округа Белгорода. Именно для водоохранной зоны этого муниципального образования отмечено минимальное значение густоты эрозионной сети – 2,15 км/км².

Табл. 1. Основные характеристики густоты эрозионной расчленённости рельефа территории водоохранной зоны Белгородского водохранилища

Table 1. The main characteristics of the density of the erosion dissection of the relief of the territory of the water protection zone of the Belgorod reservoir

Район	Площадь ВЗ (S), км ²	Длины тальвегов						ГЭС (I), км/км ²
		Реки, ручьи (L1), км	Борозды, рытвины (L2), км	Овраги, балки (L3), км	В пределах ВЗ (L4), км	Выходит за границу ВЗ (L5), км	Сумма тальвегов (L), км	
Шебекинский	4,32	1,16	0,55	20,37	13,66	8,41	22,07	5,11
Белгородский	8,76	1,43	0,18	18,51	8,41	11,68	20,13	2,30
ГО Белгород	6,20	0,36	0,00	12,93	3,34	9,64	13,30	2,15
Всего по водоохранной зоне (ВЗ)	19,28	2,95	0,73	51,81	25,41	29,73	55,5	2,88

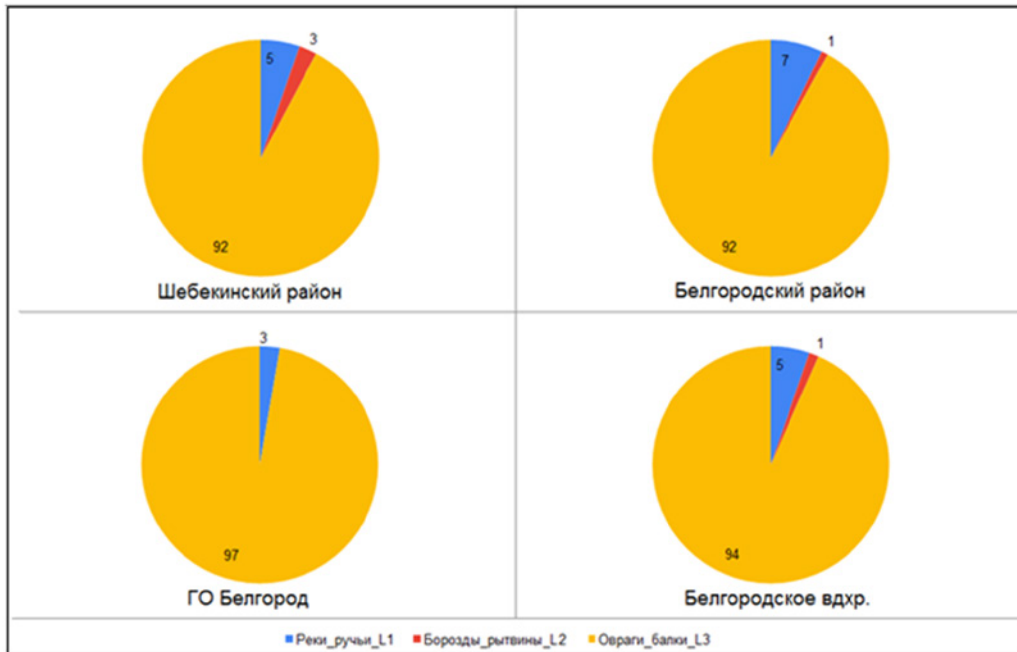


Рис. 2. Процентное соотношение типов линейных эрозионных форм рельефа по исследуемым районам Белгородского водохранилища
 Fig. 2. Percentage ratio of types of linear erosional landforms for the studied areas of the Belgorod reservoir

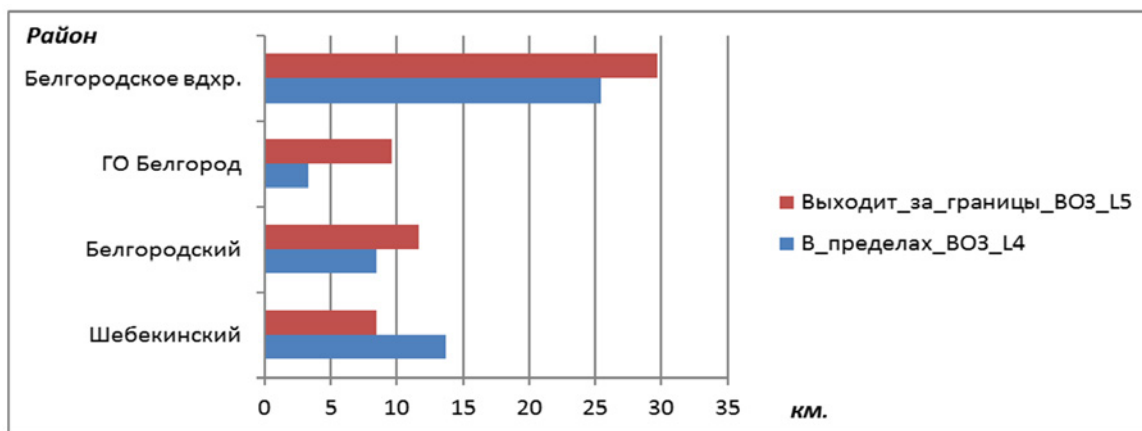


Рис. 3. Сравнение протяжённости тальвегов, выходящих за границу водоохранной зоны (ВЗ) и находящихся в пределах ВЗ, по исследуемым районам
 Fig. 3. Comparison of the length of the talwegs that go beyond the border of the VZ and are located within the VZ, by the studied areas

Для анализа закономерностей изменения густоты эрозионной сети водоохранная зона Белгородского водохранилища, в соответствии с методикой, изложенной выше и описанной в работе авторов [Скрипка и др., 2020], была разбита на сегменты длиной по установленным для проведения анализа направлениям в 1 км. Всего было выделено 84 сегмента. Диапазон значений густоты эрозионной сети разделили на 11 классов с шагом в 2 км/км², в отдельный класс выделили значение 0 (рис. 4). Для отображения классов цветом на рисунках 4, 5 и 6 использовали общую палитру.

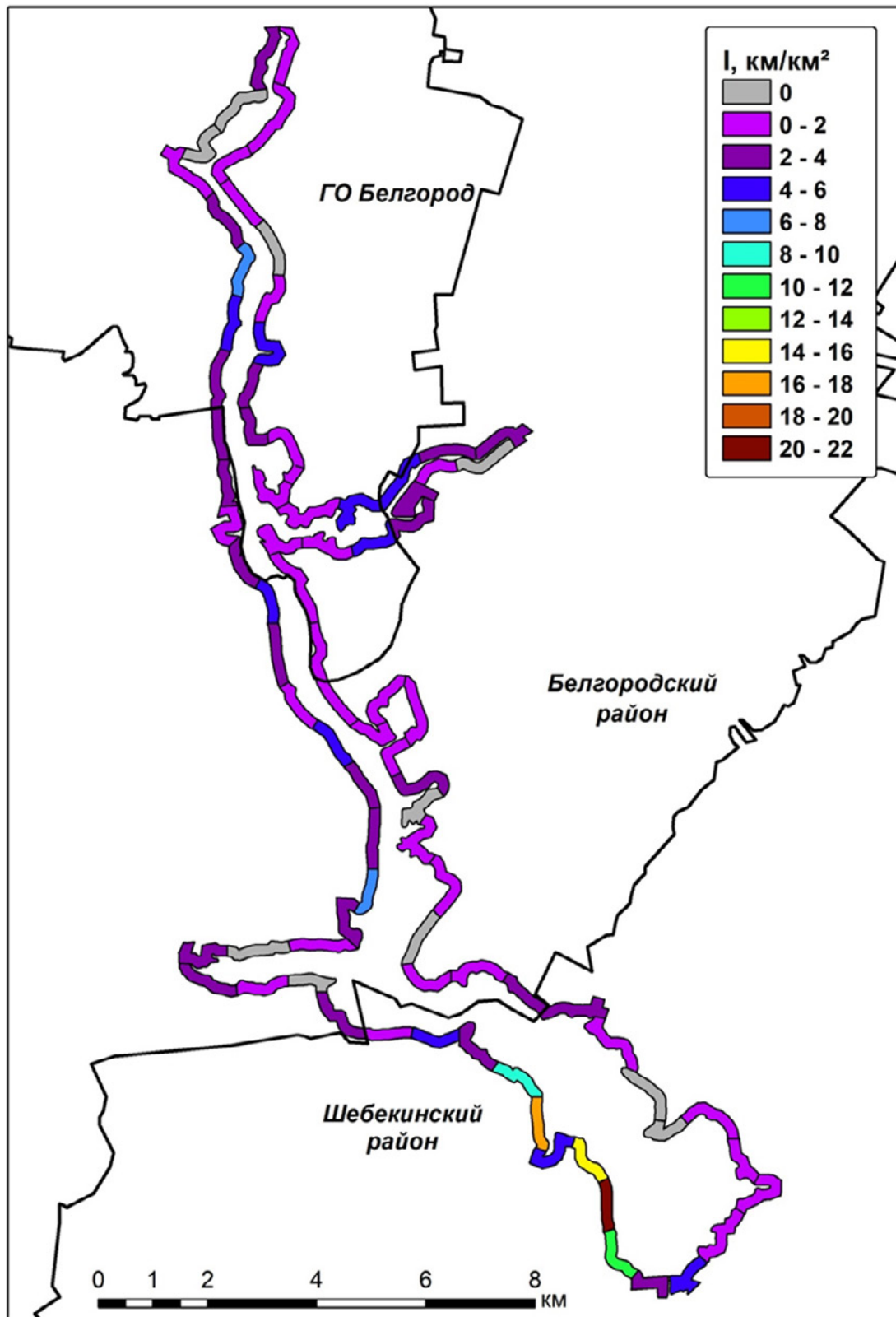


Рис. 4. Районирование территории водоохранной зоны Белгородского водохранилища по густоте эрозионной сети

Fig. 4. Zoning of the territory of the water protection zone of the Belgorod reservoir by the density of the erosion network

Густота эрозионной сети водоохранной зоны Белгородского водохранилища изменяется от 0 до 20,6 км/км². В целом, на большей части площади водоохранной зоны Белгородского водохранилища (более 80 %) значение густоты эрозионной сети не превышает 4 км/км², а в пределах некоторых сегментов не удаётся выявить даже борозды и рытвины. Участки с максимальным значением густоты эрозионной сети (более 20 км/км²) занимают не более 1 % территории водоохранной зоны Белгородского водохранилища (рис. 4, 5).

Наиболее высокие значения густоты эрозионной сети (5,11 км/км²) отмечаются в Шебекинском районе (рис. 4, 6). На площадь сегментов с величиной данного параметра от 14 км/км² до 22 км/км² приходится 14 %, около 10 % занимает зона побережья со значениями от 8 км/км² до 14 км/км². Участки с такими значениями *I* расположены на правом берегу водохранилища. На левобережье водохранилища в границах Шебекинского района густота эрозионной сети не превышает 6 км/км².

Водоохранная зона Белгородского водохранилища в Белгородском районе и городе Белгород, в сравнении с Шебекинским районом, отличается крайне низкими значениями эрозионного расчленения рельефа. От до 82 до 91 % побережья имеет значения *I* не более 4 км/км². Площадь сегментов с густотой эрозионной сети от 4 до 6 км/км² составляют до 7–15 %, а 6–8 км/км² не более 3 % площади водоохранной зоны на территории этих районов (рис. 6).

Берег в границах данных муниципальных образований по большей части пологий, на отдельных территориях выходят к урезу посадки леса, в акватории фиксируется обширная зона мелководья и здесь практически отсутствуют абразия и активные эрозионные процессы.

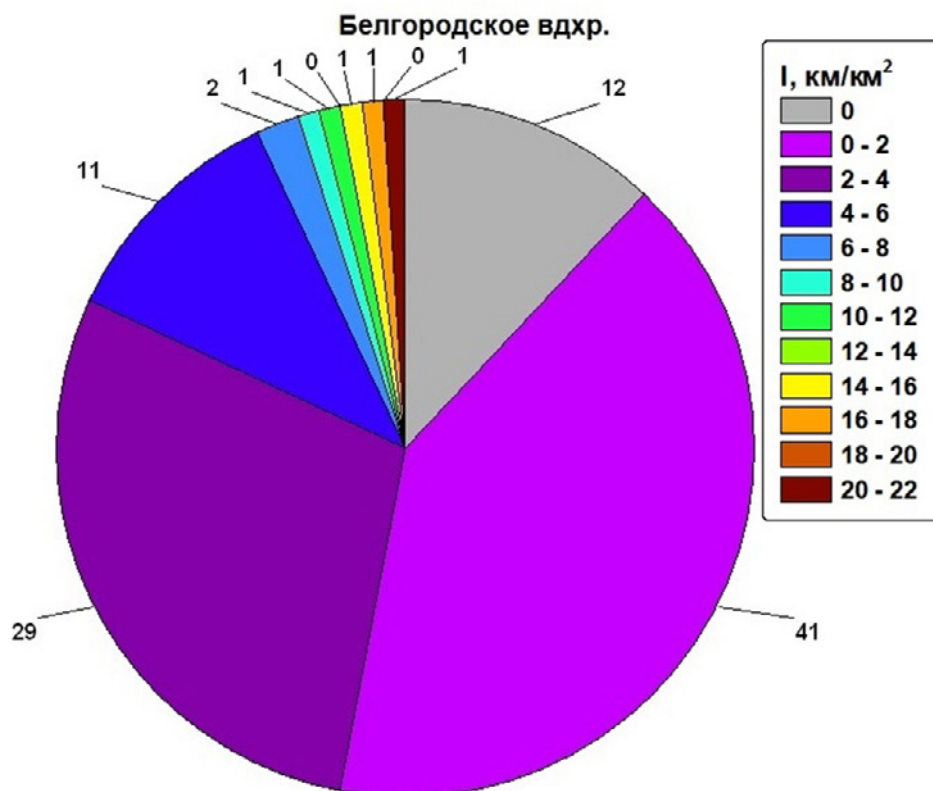


Рис. 5. Процентное отношение территорий ячеек разного ранга к общей площади водоохранной зоны Белгородского водохранилища

Fig. 5. Percentage ratio of the territories of cells of different ranks to the total area of the water protection zone of the Belgorod reservoir

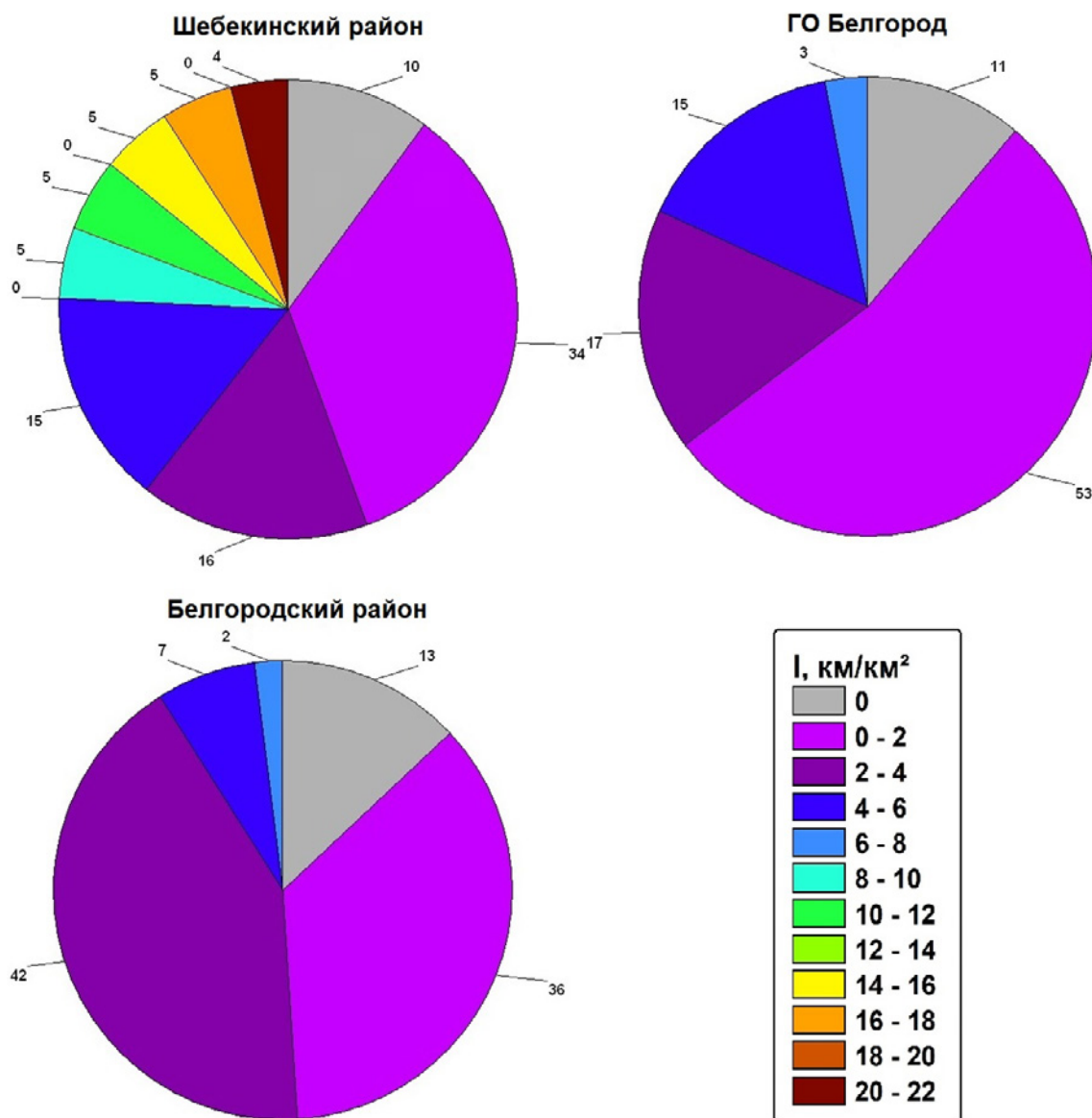


Рис. 6. Процентное соотношение территорий разного ранга эрозионной сети водоохранной зоны Белгородского водохранилища в пределах Шебекинского района, Белгородского района и городского округа (ГО) Белгород

Fig. 6. Percentage ratio of territories of different ranks of the erosion network of the water protection zone of the Belgorod reservoir within the Shebekinsky district, the Belgorod District and the Belgorod city District (GO)

ВЫВОДЫ

Наблюдение за проявлением экзогенных геологических процессов на берегах водохранилищ является одной из важнейших задач мониторинга. Одним из перспективных методов мониторинга водоохранной зоны водных объектов в настоящее время служит использование беспилотных летательных аппаратов. Эти наблюдения особенно актуальны на берегах, где отсутствует регулярная наблюдательная реперная сеть и территория имеет низкую транспортную доступность.

Рельеф водоохранной зоны Белгородского водохранилища в целом характеризуется низкой степенью горизонтального расчленения. Для 93 % её площади густота эрозионной сети составляет менее 6 км/км². Самые высокие значения густоты эрозионной сети (от 8 до 22 км/км²)

отмечаются на правом берегу водохранилища в Шебекинском районе. На левом берегу водохранилища значение густоты эрозионной сети не превышает 6 км/км². Такая же степень горизонтального расчленения рельефа типична для правобережья водохранилища в границах Белгородского района и г. Белгород, увеличиваясь здесь на локальных участках до 8 км/км².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галыгин В.А., Крамчанинов Н.Н., Петин А.Н. Динамика переработки берегов Белгородского и Старооскольского водохранилищ. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2012. № 3 (122). С. 234–237.
2. Ильяш В.В., Силкин К.Ю. Рельеф и его роль в переработке берегов Воронежского водохранилища. Материалы молодежного инновационного проекта «Школа экологических перспектив». Воронеж: ИПФ «Воронеж», 2012. С.82–90.
3. Крамчанинов Н.Н. Переработка берегов Белгородского водохранилища как фактор воздействия на его окружающую среду. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2009. № 11. С. 119–125.
4. Павлова А.И. Морфометрический анализ рельефа с помощью ГИС. ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2013. Т. 3. № 4. С. 166–169.
5. Павлова А.И. Применение методов цифрового моделирования рельефа для картографирования эрозионных земель. В мире научных открытий Красноярск: ООО «Научно-инновационный центр», 2016. № 2 (74). С. 159–169.
6. Петрова М.Ю. Распространение экзогенных геодинамических процессов и явлений в пределах водоохранной зоны Воронежского водохранилища Материалы молодежного инновационного проекта «Школа экологических перспектив». Под ред. И.И. Косиновой. Воронеж: ИПФ «Воронеж», 2012. С. 97–102.
7. Семёнчик А.Г. Геоморфометрический анализ в ГИС. Сборник работ 74-й научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, 15–24 мая 2017. Минск: Белорусский государственный университет, 2017. Ч. 1. С. 326–329.
8. Скрипка Г.И., Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., Сапрыгин В.В. Оценка зависимости величины густоты эрозионной сети водоохраных зон водохранилищ от природных особенностей. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том X (в 2-х частях). Часть 2. М.: ИИЕТ РАН, 2020. Т. 10. Ч. 2. С. 523–529.
9. Kosolapov A.E., Skripka G.I., Ivlieva O.V., Bepalova L.A., Kalimanov T.A. Monitoring of dangerous exogenous geological processes in the water protection zone of Tsimlyansk Reservoir. International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” (ISEES 2018). Advances in Engineering Research. AtlantisPress, 2018. P. 32–37. DOI: 10.2991/isees-18.2018.7.

REFERENCES

1. Galygin V.A., Kramchaninov N.N., Petin A.N. Dynamics of processing of the banks of the Belgorod and Starooskolsky reservoirs. Belgorod State University Scientific Bulletin Series: Natural Sciences, 2012. No. 3 (122). P. 234–237. (in Russian).
2. Ilhas V.V., Silkin K.Y. Topography and its role in the processing of the shores of the reservoir. Materials of the youth innovation project “School of Environmental Perspectives”. Voronezh: IPF “Voronezh”, 2012. P. 82–90. (in Russian).
3. Kosolapov A.E., Skripka G.I., Ivlieva O.V., Bepalova L.A., Kalimanov T.A. Monitoring of dangerous exogenous geological processes in the water protection zone of Tsimlyansk Reservoir.

International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” (ISEES 2018). *Advances in Engineering Research*. AtlantisPress, 2018. P. 32–37. DOI: 10.2991/isees-18.2018.7.

4. *Kramchaninov N.N.* Processing of the shores of the Belgorod reservoir as a factor of impact on its environment. *Belgorod State University Scientific Bulletin Series: Natural Sciences*, 2009. No. 11. P. 119–125. (in Russian).

5. *Pavlova A.I.* Morhometrical analys of relief with the help of GIS, INTEREKSP0 GEO-SIBIR. Novosibirsk: Sibirsky state university of geosystems and technologies, 2013. V. 3. No. 4. P. 166–169.

6. *Pavlova A.I.* Applying methods of relief numerical medelling for erosion lands mapping. In the world of scientific oliscoveries. Krasnoyarsk: OOO “Scientific and innovative centre”, 2016. No. 2 (74). P. 159–169.

7. *Petrova M.Y.* Distribution of exogenous geodynamic processes and phenomena within the water protection zone of the Voronezh reservoir. Materials of the youth innovation project “School of Ecological Perspectives”. Ed. by I.I. Kosinova. Voronezh: IPF “Voronezh”, 2012. P. 97–102. (in Russian).

8. *Semyochnik A.G.* Geomorphometrical analysis in GIS. Proceeding of 74-th scientific conference of students and postgraduates of Belgorodsk state university, may 15–24, 2017. Minsk: Belorussian state university, 2017. V. 1. P. 326–329.

9. *Skripka G.I., Ivlieva O.V., Bepalova L.A., Saprygin V.V.* Assessment of relationship between value of erosion network density in reservoir water protection zones and natural features. Modern problems of geo-ecology of the North Caucasus. V. X (in 2 parts), Part. 2. M.: IIET RAN, 2020. V. 10. Part. 2. P. 523–529.
