УДК 504.064:631.6 *ISSN 1609-0683*
DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/2/93-101

Методический подход к оценке геоэкологических рисков загрязнения реки Казанка

Л. В. Кирейчева[1], Н. П. Карпенко[1]✉, В. М. Яшин[1], М. В. Болгов[2]

[1]Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Российская Федерация (127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2)
[2]Институт водных проблем Российской академии наук, Российская Федерация (119333, г. Москва, ул. Губкина, 3)

Аннотация. *Цель* – разработка методического подхода к оценке геоэкологического риска диффузного загрязнения речных вод малой реки и составление карты геоэкологического риска выноса биогенных веществ с водосборной площади на примере р. Казанка.

Материалы и методы. В качестве исходных материалов были использованы мониторинговые исследования гидрохимических показателей речной воды в период с 2014 по 2024 гг. С использованием показателей загрязнённости поверхностных вод было оценено качество поверхностных вод р. Казанки в верховье реки, среднем и нижнем течении.

Результаты и обсуждение. Предложен методический подход к оценке геоэкологического риска загрязнения поверхностных вод реки, включая диффузное поступление биогенных загрязнителей с сельскохозяйственных и мелиорируемых территорий. Показано, что доминирующими загрязнителями являются биогенные вещества: соединения азотной группы и фосфора. Установлены уровни геоэкологического риска (безопасный, допустимый, предельно допустимый и критический) по диапазонам значений показателя комбинаторного индекса загрязнённости (по азоту и фосфору) по всем подбассейнам р. Казанки. Создана ГИС-карта геоэкологического риска выноса биогенных загрязняющих веществ в реку.

Выводы. Предложенный методический подход к оценке геоэкологических рисков загрязнения поверхностных вод и созданная ГИС-карта риска диффузного загрязнения с сельскохозяйственных и мелиорируемых земель водосбора в водные объекты позволят обосновать комплекс первоочередных и превентивных водоохранных мероприятий.

Ключевые слова: речной бассейн, водные объекты, геоэкологический риск, комбинаторный индекс загрязнённости воды, сельскохозяйственные и мелиорируемые земли, диффузные стоки, биогенные загрязнители.

Для цитирования: Кирейчева Л. В., Карпенко Н. П., Яшин В. М., Болгов М. В. Методический подход к оценке геоэкологических рисков загрязнения реки Казанка // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2026, № 2, с. 93-101. DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/2/93-101

ВВЕДЕНИЕ

Одной из глобальных проблем современного экологического состояния России является нарушение устойчивости функционирования природных систем, в частности, речных бассейнов, ухудшение, обмеления и загрязнения водных объектов и т.д. [5, 17]. Несмотря на принимаемые меры по внедрению наилучших доступных технологий для очистки стоков, сбрасываемых в речную сеть от промышленных предприятий, а также проводимые мероприятия по снижению деградационных процессов, геоэкологическая ситуация остается напряженной, а загрязнение водных объектов высоким, что связано с формирующимися в бассейнах рек источниками диффузного поступления загрязнений с сельскохозяйственных и мелиоративных объектов [7, 10].

В настоящее время экологическая безопасность водных объектов России относится к приоритетным направлениям, что подтверждается действующими в стране Федеральным законом «Об охране окружающей среды» и Водным кодексом Российской Федерации[1, 2].

На решение этой проблемы был направлен проект «Оздоровление Волги», который стартовал в 2017 г. [3]. При всей масштабности проекта к настоящему времени не все задачи решены, так как диффузное загрязнение тесно связано с широким кругом задач, среди которых значительная роль отводится сельскохозяйственному производству, в частности, земледелию. Традиционно в стране распахивались наиболее благоприятные для сельскохозяйственного производства почвы в пределах водосборных площадей и на поймах рек, где,

© Кирейчева Л. В., Карпенко Н. П., Яшин В. М., Болгов М. В., 2026
✉ Карпенко Нина Петровна, e-mail: npkarpenko@yandex.ru

[1] *Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002*. Москва: Правительство РФ, 2002. 33 с.

[2] *Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025).* Москва: Правительство РФ. 51 с.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

как правило, используются интенсивные технологии возделывания овощных культур (Окская, Яхромская, Москворецкая и др.), с которых диффузный сток рассредоточенным образом без подготовки направляется в речную сеть.

Серьезную проблему создают и животноводческие фермы, не имеющие очистных сооружений, что вынуждает их сбрасывать стоки в водные объекты [16].

Все это требует дальнейшего развития методических подходов к оценке опасностей загрязнения окружающей среды и возможным мерам снижения геоэкологического риска выноса биогенных веществ в водные объекты [5, 6, 13, 17]. Поэтому создание карт геоэкологического риска по уровням опасности выноса биогенных веществ является одним из положений методического подхода по улучшению экологической обстановки в бассейнах малых рек [4, 9, 10].

Целью исследований является разработка методического подхода к оценке геоэкологического риска диффузного загрязнения речных вод малой реки и составление карты геоэкологического риска выноса биогенных веществ с водосборной площади на примере р. Казанка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования был выбран речной бассейн реки Казанка площадью 2002 км^2. Выбор объекта обусловлен неудовлетворительным качеством речной воды и пристальным вниманием общественности к экологическому состоянию реки. Длина р. Казанка составляет 126 км. Поверхностный сток формируется за счет талых вод весеннего половодья, летних ливневых дождевых паводковых вод, сбросов антропогенного происхождения и питания подземными водами. Для оценки биогенного загрязнения речных вод были использованы данные анализов мониторинга качества речных вод в бассейне р. Казанка, осуществляемого Министерством экологии и природных ресурсов Республики Татарстан (МЭИП РТ) в период с 2014 по 2024 гг. по 5-ти створам. Бассейн р. Казанка имеет высокую антропогенную нагруженность территории, площадь сельхозугодий составляет 143552 га или более 70 % площади водосбора. На территории бассейна насчитывается 85 сельскохозяйственных предприятий по производству крупного рогатого скота. Животноводческие комплексы в большинстве не имеют сооружений для очистки и организованного сброса животноводческих стоков.

В бассейне р. Казанка имеется крупное предприятие рыбохозяйственного направления (ООО «Арский рыбхоз»), которое в значительных объемах использует водные ресурсы[3].

Методика исследований включала анализ гидрохимического режима речных вод Казанки, оценку геоэкологического риска поступления загрязняющих веществ в речную воду, оценку качества воды по длине реки, разработку ГИС-проекта речного бассейна, установление и картирование основных источников загрязнения на территории бассейна и создание карты геоэкологического риска.

Для построения карты геоэкологического риска выноса биогенных веществ были использованы основные положения методики комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Расчёт комбинаторного индекса загрязнённости воды реки проводился в соответствии с Методическими указаниями (Метод комплексной оценки загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям)[4].

ГИС-карта геоэкологического риска представляет собой выделение на изучаемой территории областей и ареалов, отображающих количественные показатели «уровня риска». Поскольку в настоящее время не существуют единых подходов к составлению такого рода карт, то для речного бассейна реки Казанка использовался научный подход, при котором показатели риска имеют количественное выражение, что позволяет создавать карты более удобными для решения многих практических задач.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам гидрохимического опробования воды по створам реки проведена статистическая обработка результатов анализов проб и выделены уровни по степени опасности загрязнения по показателям качества воды за период с 2014 по 2022 гг. За уровни опасности принимались пробы, имеющие концентрации загрязняющих веществ, превышающие ПДК. В процессе исследований выделено четыре уровня опасности: низкий, средний, высокий, критический (табл. 1).

Было установлено, что для всех точек пунктов наблюдения реки характерны низкий и средний уровни опасности, что указывает на равномерное загрязнение по всему профилю. По результатам проведённых обследований за 2023 г. было выявлено повышенное и критическое содержание ионов аммония, нитритов и железа в верхней и средней частях бассейна, фосфат-иона, сульфатов и тяжелых металлов – в нижней части бассейна реки.

Для получения полной информации о степени загрязнённости воды Казанки были использованы два интегральных показателя: класс качества воды в зависимости от степени её загрязнённости и комбинаторный индекс загрязнённости. В частности, нами анализировались такие загрязняющие вещества как взвешенные вещества (ВВ), химическое потребление кислорода (ХПК$_5$), биологическое потребление кис-

[3] *Официальный сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан* – URL: https://agro.tatarstan.ru/file/pub/pub_4589357.pdf (дата обращения: 20.02.2025). – Текст: электронный

[4] *РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям» (утв. и введен в действие Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 3 декабря 2002 г.) (с изменениями и дополнениями).* Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2002, 48 с.

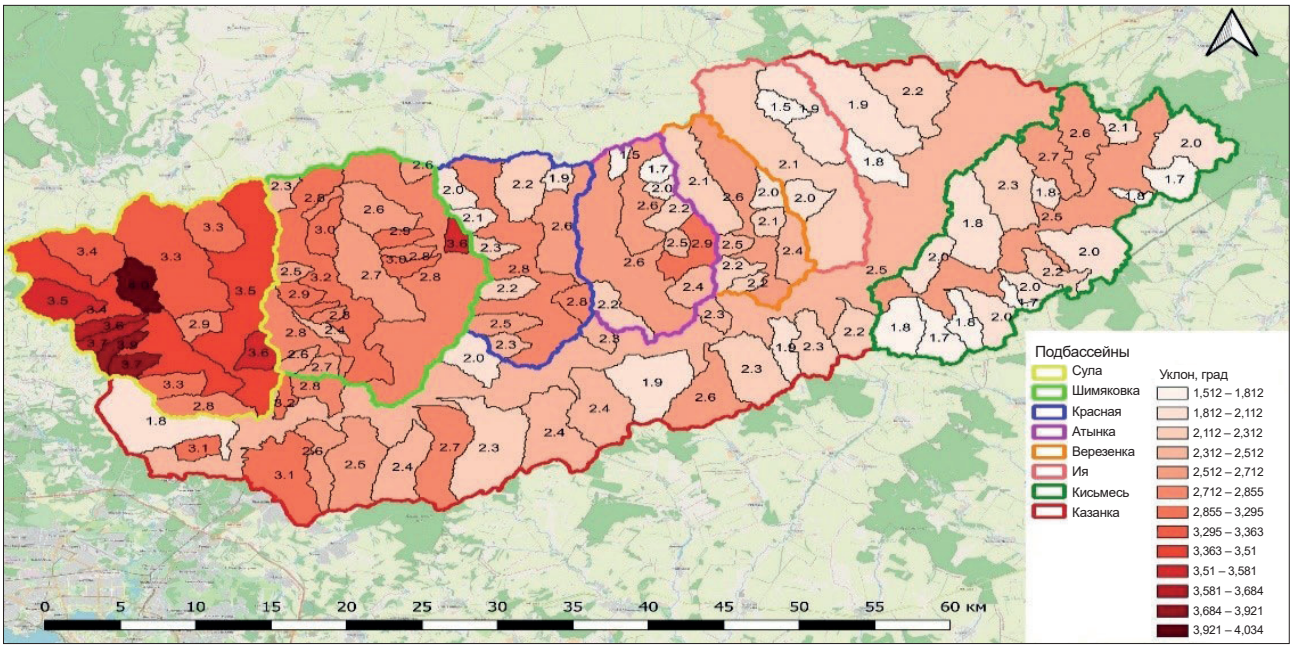
Таблица 1

Уровни опасности загрязнения речных вод Казанки
(процент проанализированных данных с превышениями ПДК) за период наблюдений 2014-2022 гг.
[*Table 1.* Hazard levels of the Kazanka River water pollution
(percentage of analyzed data exceeding MPC) for the observation period 2014-2022 years]

Створы наблюдений р. Казанка / Observation posts of the Kazanka River	Уровни опасности загрязнения речных вод / River water pollution hazard levels			
	низкий (менее 25 % проб) / low (less than 25 % of samples)	средний (26-50 % проб) / average (26-50 % of samples)	высокий (51-95 % проб) / high (51-95 % of samples)	критический (более 96 %) / critical (over 96 %)
1. Кутук, верховье реки	БПК$_5$, N-NH$_4$, P-PO$_4$, SO$_4^-$, нефтепродукты	N-NO$_2$, ХПК	Fe	–
2. Казанбаш, верховье реки	N-NH$_4$, SO$_4^-$	N-NO$_2$, P-PO$_4$, БПК$_5$, ХПК	Fe	–
3.Чепчуги, среднее течение	N-NH$_4$, Fe	БПК$_5$, ХПК	N-NO$_2$, SO$_4^{--}$	сульфаты
4. Усады, нижнее течение	N-NH$_4$, P-PO$_4$, Fe	N-NO$_2$, ХПК, БПК$_5$	SO$_4^-$	–
5. Щербаково, низовье реки	Нефтепродукты, P-PO$_4$	Fe, ХПК, N-NH$_4$	БПК$_5$, SO$_4^-$, N-NO$_2$	–

лорода (БПК$_5$), азот аммонийный, азот нитритный, фосфат-ион, сульфаты и хлориды. Оценка степени загрязнения р. Казанка выполнялась по трём створам р. Казанки: верховье Казанки (створ Казанбаш), среднее течение (створ Чепчуги) и нижняя часть бассейна (створ Усада). Результаты анализа показали, что в верховье речная вода оценивается как слабо загрязнённая, в среднем течении – очень загрязненная, а для створа Усада (нижнее течение р. Казанки) вода в реке соответствует градации – грязная.

Дальнейшие исследования были направлены на выделение на водосборе зон риска выноса биогенных загрязнителей путем построения ГИС-карты геоэкологического риска. Для этого в ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» был разработан ГИС-проект бассейна р. Казанка, который включал аналитические цифровые карты. Бассейн реки был разделен на 8 подбассейнов: Сула, Шимяковка, Красная, Атынка, Верезенка, Ия, Кисьмесь, Казанка, которые включали 125 субподбассейнов (рис. 1).



Условные обозначения: цифры в границах субподбассейнов показывают средние значения уклонов поверхности

Рис. 1. Схема подбассейнов р. Казанка и уклонов поверхности
[*Fig. 1.* Diagram of the Kazanka River sub-basins and surface slopes]

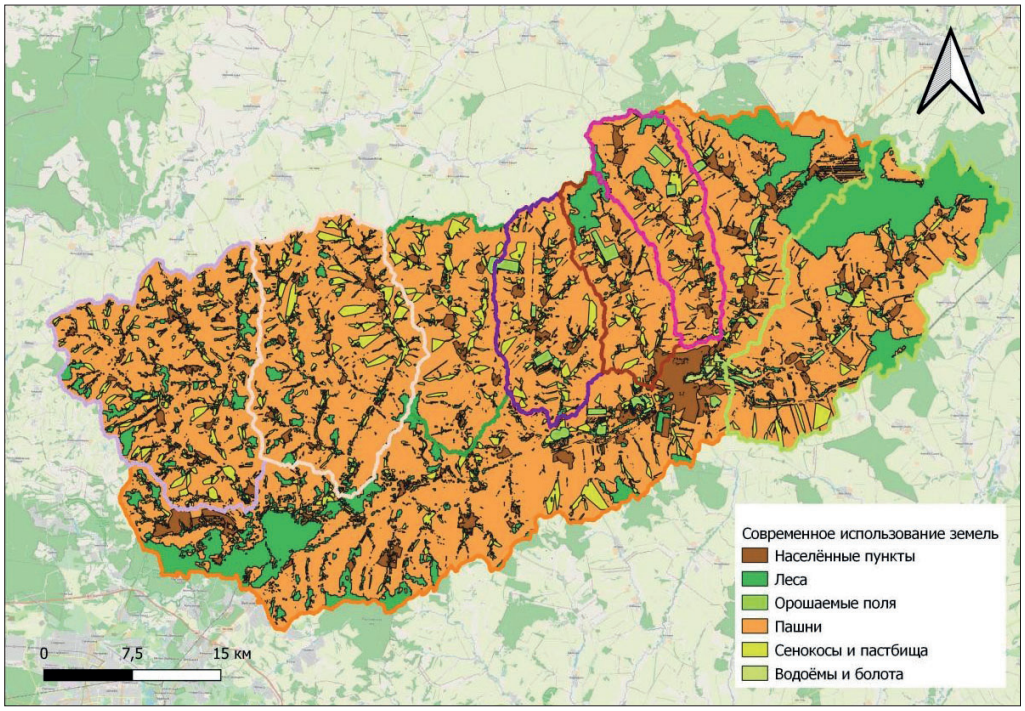
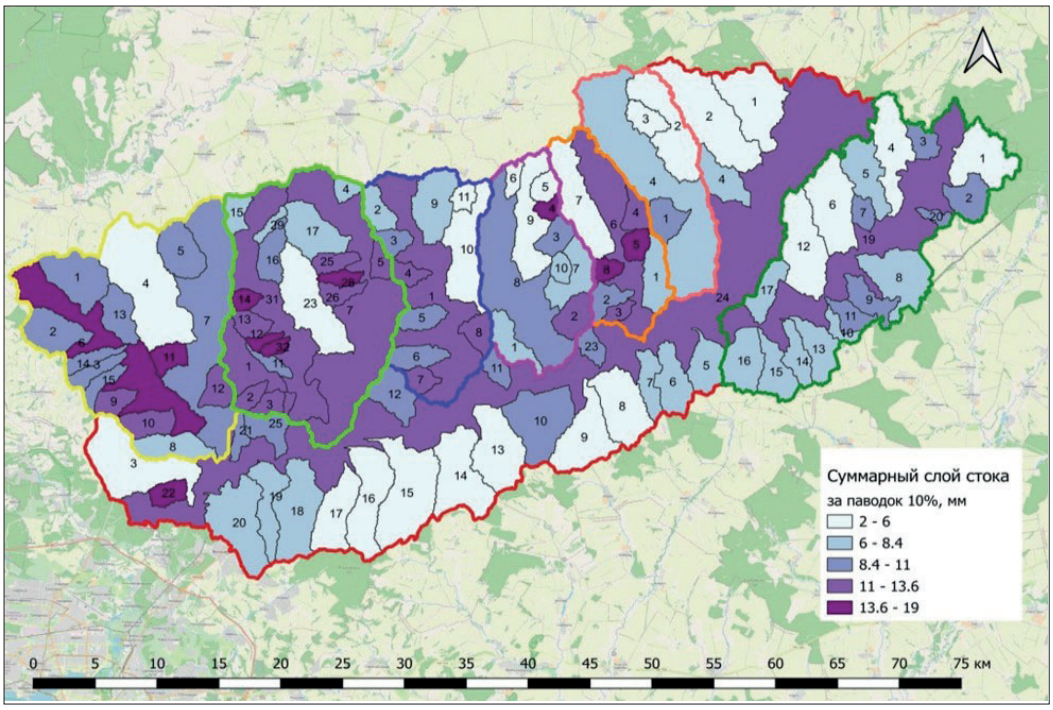


Рис. 2. Интегрированная карта современного использования территорий бассейна р. Казанки
[*Fig. 2.* Integrated map of the modern use of the territories of the catchment area of the Kazanka River]

На основе проведённой оцифровки спутниковых снимков структуры землепользования хозяйств была получена интегрированная карта современного использования территорий бассейна (рис. 2).

Интерпретация и дешифрирование космических снимков проводились с использованием графического и цифрового описания картографической территории изучаемого объекта (использованы спутниковые снимки Landsat). Сама структура землепользования была выполнена в полуавтоматическом формате путем анализа растрового изображения и классификацией его по заданному цвету (использовался плагин Semi-Automat-



Условные обозначения: цифры на карте показывают средние значения суммарного слоя стока для каждого выделенного подбассейна р. Казанки

Рис. 3. Карта суммарного слоя стока в бассейне р. Казанка для года 10 % обеспеченности по осадкам
[*Fig. 3.* Map of the total runoff layer in the Kazanka River basin for the year of 10 % precipitation availability]

ic Classification Plugin для QGIS). В результате такого дешифрирования была получена геометрия объектов местности: лесные массивы, населенные пункты, сенокосы, водоёмы, пастбища и пашни.

По данным материалов Министерства сельского хозяйства Татарстана о структуре использования сельскохозяйственных земель, основных видах выращиваемых культур, видов и норм внесения минеральных удобрений были выявлены и проанализированы основные источники диффузного загрязнения, а также источники рассредоточенного сброса загрязняющих веществ от предприятий, которые не имели очистных сооружений (прежде всего, это животноводческие фермы и комплексы). В качестве доминирующих загрязнителей определены биогенные вещества: соединения азотной группы (нитритный и аммонийный азот), фосфат-ион, растворенные органические вещества, а также сульфаты и хлориды. В качестве основы для составления карты экологического риска была использована разработанная карта суммарного слоя стока в бассейне р. Казанка, составленная для года 10 % обеспеченности по осадкам (рис. 3).

Кроме того, использовались карта сельскохозяйственного состояния территории, сведения о размещении сельскохозяйственных и рыборазводных предприятий. Данные выноса азота и фосфора в водные объекты при ведении сельскохозяйственной деятельности принимались по данным открытых публикаций с учётом их осреднения [2, 11, 12, 14]. Построение карты геоэкологического риска выноса биогенных веществ выполнялось следующим образом: данные объема выноса азота и фосфора с территории речного бассейна переводились в концентрации в поверхностном стоке и рассчитывались удельные комбинаторные показатели для соединений азота и фосфора и общий комбинаторный индекс для 2-х веществ: азот нитритный и фосфат-ион (по фосфору). Значения ПДК принимались по действующим документам[5, 6, 7] для рыбохозяйственного значения [15].

Расчёты показателей комбинаторного индекса загрязнённости воды обобщены по подбассейнам (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчётов комбинаторного индекса загрязнённости воды (по азоту и фосфору) по всем подбассейнам р. Казанки

[*Table 2.* The results of calculations of the combinatorial index of water pollution (by nitrogen and phosphorus) for all sub-basins of the Kazanka River]

№	Подбассейн / Subbasin	C_i/ПДК азот (ПДК = 2,0 мг/л) / C_i/MPC nitrogen (MPC = 2,0 mg/l)	C_j/ПДК фосфор (ПДК = 0,2 мг/л) / C_j/MPC phosphorus (MPC = 0,2 mg/l)	Сумма азота и фосфора (C_i/ПДК + C_j/ПДК) / The sum of nitrogen and phosphorus (C_i/MPC + C_j/MPC)
1	Атынка	0,92-1,02	0,35-0,49	1,27-1,51
2	Верезенка	1,38-1,44	0,55-0,64	1,93-2,08
3	Ия	1,62-1,94	0,65-0,83	2,27-2,77
4	Казанка	0,90-1,20	0,30-0,45	1,20-1,65
5	Кисьмесь	1,43-1,57	0,51-0,69	1,94-2,26
6	Красная	1,18-1,28	0,31-0,57	1,49-1,85
7	Сула	0,80-0,88	0,28-0,34	1,08-1,22
8	Шимяковка	1,29-1,48	0,41-0,48	1,70-1,96

Анализ проведённых расчётов комбинаторных индексов загрязнённости воды позволил выделить уровни геоэкологического риска выноса биогенных загрязнителей (табл. 3).

Таблица 3

Уровни геоэкологического риска выноса биогенных загрязнителей с сельскохозяйственных и мелиорируемых земель для бассейна реки Казанка

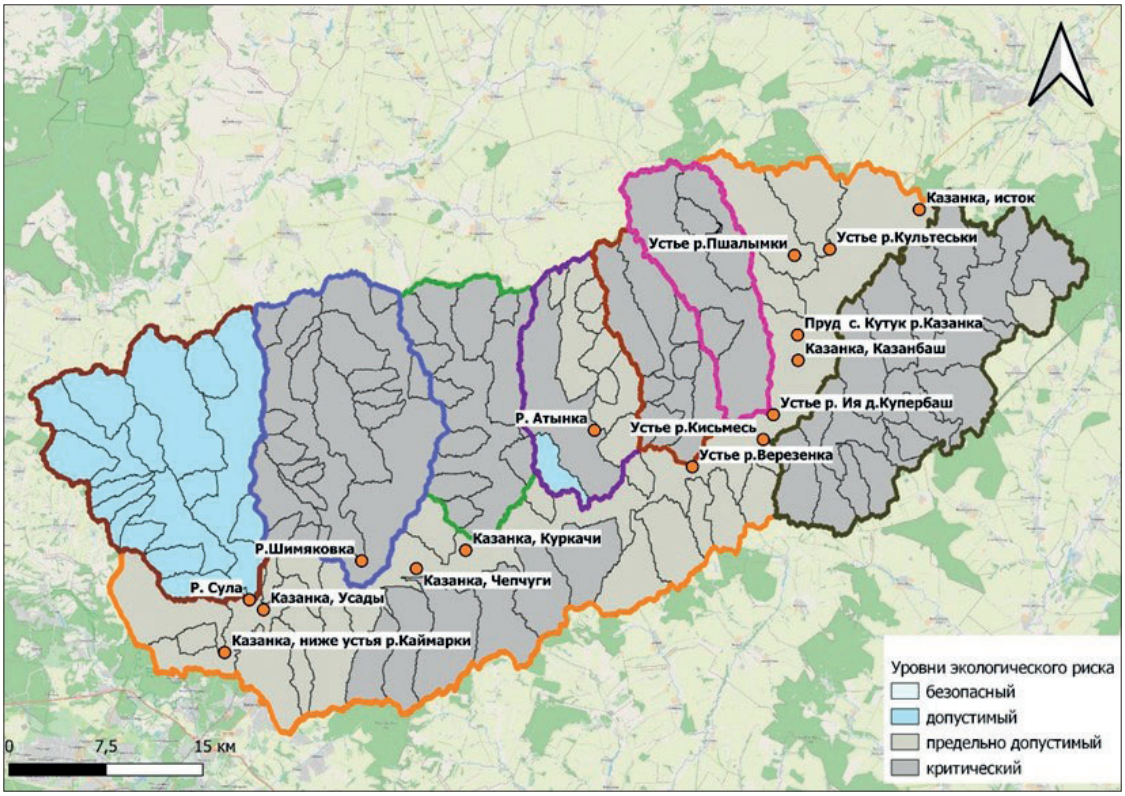
[*Table 3.* Levels of geoecological risk of removal of biogenic pollutants from agricultural and reclaimed lands for the Kazanka River basin]

Значение показателей комбинаторного индекса загрязнённости воды / The value of the indicators of the combinatorial index of water pollution	Превышение ПДК / Exceeding the maximum permissible concentration	Уровни геоэкологического риска / Levels of geoecological risk
< 1,0	< 1,0	Безопасный
1,1-1,25	1,1-1,25	Допустимый
1,26-1,50	1,26-1,50	Предельно допустимый
> 1,51	> 1,51	Критический

[5] Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А. *ПДК химических веществ в окружающей среде. Справочник.* Химия: Ленинград, 1985. 528 с.

[6] *Приказ Росрыболовства № 20 от 18.01.2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».*

[7] *Приказ Минсельхоза России № 552 от 13.12.2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».*



Условные обозначения: на карте оранжевые круги показывают места отбора проб воды на реке Казанка

Рис. 4. Карта геоэкологического риска выноса биогенных загрязняющих веществ с бассейна реки Казанки
[*Fig. 4.* A map of the geoecological risk of removal of biogenic pollutants from the catchment area of the Kazanka River]

По выделенным уровням построена ГИС-карта геоэкологического риска выноса биогенных загрязняющих веществ с диффузным стоком в реку Казанка (рис. 4).

Адекватность карты подтверждается результатами химического опробования воды в реке по створам (табл. 4).

Сопоставление значений уровней геоэкологического риска, выделенных на карте, с уровнями опасности загрязнения по фактическим данным химических анализов речной воды показало, что на водосборе реки не обнаружено зон с безопасным уровнем геоэкологического риска (ПДК < 1). Выделяются подбассейны с допустимым уровнем экологического риска (р. Сула и один субподбассейн р. Атынки), где уровень опасности загрязнения низкий, фиксируются зоны со значениями комбинаторного индекса загрязнённости воды (по сумме азота и фосфора) с ПДК = 1,1-1,25. Области с предельно-допустимыми значениями геоэкологического риска отмечаются в подбассейне р. Атынка и на большей части подбассейнов р. Казанка, для которых значения комбинаторного индекса загрязнённости поверхностного стока с ПДК = 1,26-1,50. Здесь уровень опасности загрязнения воды высокий. Наиболее сложная экологическая ситуация складывается в подбассейнах рек Шимяковка, Красная, Кисьмесь, Ия, Верезенка и левых притоках р. Казанки, на водосборных территориях которых выявлены зоны с критическим уровней геоэкологического риска и превышением комбинаторного индекса загрязнённости воды с ПДК более 1,51. Здесь требуются экстренные мероприятия по снижению диффузного загрязнения реки путем разработки и внедрения комплекса природоохранных мер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан методический подход к оценке геоэкологических рисков загрязнения речных вод диффузным стоком и построению ГИС-карты, где в качестве оценки зон риска использован комбинаторный индекс загрязнённости воды. С использованием этого показателя была проведена оценка качества поверхностных вод р. Казанки в различных гидрометрических створах (верховье реки, среднее и нижнее течение). Оценка геоэкологического риска выноса биогенных веществ и составленная на их основе ГИС-карта бассейна р. Казанка могут быть использованы в качестве прогнозного и предпроектного материала для стратегического планирования и принятия управленческих решений по проведению комплекса превентивных и проектных водоохранных мероприятий, позволяющих сократить диффузное поступление в водные объекты с сельскохозяйственных и мелиорируемых территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахирева Л.В. Геологический и геохимический риск как критерий геоэкологического нормирования территорий // *История взаимодействия общества и природы: факты и концепции: тезисы докладов.* Москва, 1990, ч.1, с. 98-102.

2. Вынос биогенных элементов с водосбора малых рек республики Татарстан / О.Н. Урбанова, Д.А. Семанов,

Таблица 4

Уровни опасности загрязнения (процент анализированных данных с превышениями ПДК) воды р. Казанки по данным наблюдений за 2023 г.

[*Table 4.* Pollution hazard levels (percentage of analyzed data exceeding the maximum permissible concentration) of the Kazanka River water according to observations for 2023]

Створ мониторинга / Monitoring gate	Уровень опасности / Danger level			
	Низкий (0-25,0 %) / Low (0-25,0 %)	Средний (25,1-50,0 %) / Average (25,1-50,0 %)	Высокий (50,1-95,0 %) / High (50,1-95,0 %)	Критический (более 95 %) / Critical (over 95 %)
Казанка, исток	Фенолы, никель, марганец	–	Аммоний, железо	–
Казанка ниже устья р. Культеська	Железо, марганец	–	Аммоний, никель	Нитриты
Казанка ниже р. Пшалымка	Фенолы, марганец	–	Железо	Нитриты
Казанка, Казанбаш	Сульфаты, фенолы, марганец	–	Аммоний, нитриты, железо	–
Казанка ниже р. Кисьмесь	–	–	–	Аммоний, нитриты, железо
Казанка ниже устья р Верезинка	Нитраты	–	–	Аммоний, нитриты, сульфаты, железо
Устье р. Ия	Фенолы	–	Аммоний, фосфаты, фенолы	Нитриты, сульфаты
Казанка, Куркачи	Нефтепродукты, медь	Аммоний, железо, никель, цинк	Нитриты, фосфаты, фенолы, марганец	Сульфаты,
Казанка, Чепчуги	Сульфаты, аммоний, нефтепродукты, железо	Никель, цинк	Нитриты, фосфаты, марганец	Сульфаты
р. Шимяковка	Сульфаты, фосфаты, нефтепродукты, железо, медь, марганец	Никель	–	–
Казанка ниже р. Сула	Сульфаты, фосфаты, нефтепродукты, марганец	Никель, железо, медь	–	–
Казанка, Усады	Аммоний, фенолы, нефтепродукты	Медь, цинк, марганец	Нитриты, сульфаты, фосфаты, железо, никель	–
Казанка, ниже устья Каймарки	Аммоний, фосфаты, железо	Цинк, марганец	Сульфаты, нитриты, фенолы, нефтепродукты, никель	–

А. Т. Горшкова, А. И. Каримова, Н. В. Бортникова // *Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле,* 2015, т. 25, вып. 4, с. 45-52.

3. *Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения* / Коллективная монография под руководством В. И. Данилова-Данильяна. Москва: РАН, 2020. 512 с.

4. Дмитриев В. Г. Оценка экологического риска. Аналитический обзор // *Арктика и север,* 2014, № 2, с. 126-146.

5. Карпенко Н. П. Оценка риска поступления диффузного стока с сельскохозяйственных земель // *Мелиорация и водное хозяйство,* 2024, № 4, с. 15-19.

6. Кирейчева Л. В., Яшин В. М. Роль мелиорированных земель в диффузном загрязнении речных вод биогенными веществами // *Международный технико-экономический журнал,* 2020, № 10, с. 28-32.

7. Кирейчева Л. В., Яшин В. М., Тимошкин А. Д. Оценка выноса биогенных веществ с водосбора малой реки и меры по его снижению // *Экология и промышленность России,* 2022, т. 26, № 6, с. 53-59.

8. Кочуров Б. И. Подходы к определению и классификации экологического риска // *География и природные ресурсы,* 1993, № 4, с. 22-27.

9. Красов В. Д., Сысоев Л. О. Экологические проблемы водопользования // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология,* 2018, № 2, с. 84-87.

10. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты / С. А. Кондратьев, М. В. Казмина, М. В. Шмакова, Е. Г. Маркова // *Региональная экология,* 2011, № 3-4, с. 50-59.

11. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты / А. Ю. Брюханов, С. А. Кондратьев, Н. С. Обломкова, А. С. Огуздин, И. А. Субботин // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства,* 2016, № 89, с. 175-183.

12. Моделирование и прогнозирование выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий в зависимости от агрофизических свойств почвы / Н. И. Джабборов,

А. П. Савельев, А. В. Добринов, А. М. Захаров, И. И. Жуйков // *Engineering Technologies and systems,* 2024, vol. 34, no. 1.

13. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне Верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы / Л. В. Кирейчева, Е. А. Лентяева, А. Д. Тимошкин, В. М. Яшин // *Водные ресурсы,* 2020, т. 47, № 5, с. 523-535.

14. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования) / Ш. Р. Поздняков, А. Ю. Брюханов, С. А. Кондратьев, Н. В. Игнатьева, М. В. Шмакова, Е. А. Минакова, А. М. Расулова, Н. С. Обломкова, Э. В. Васильев, А. В. Терехов // *Водные Ресурсы,* 2020, т. 47, № 5, с. 588-602.

15. Соколов О. А., Семенов В.М., Агеев В.А. *Нитраты в окружающей среде: монография*. Москва: Академия. 1990, 316 с.

16. Тусунбеков Ж. А., Ряполова Н. Л. Оценка экологической устойчивости поверхностных вод Западной Сибири // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология,* 2019, № 3, с. 55-60.

17. Шмаль А. Г. *Факторы экологической опасности и экологические риски.* Издательство: МП «ИКЦ БНТВ», Бронницы, 2010. 192 с.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 16.09.2025
Принята к публикации: 20.05.2026

UDC 504.064:631.6 ***ISSN 1609-0683***
DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/2/93-101

Methodological Approach to Assessing Geoecological Risks of Pollution of the Kazanka River

L. V. Kireycheva[1], N. P. Karpenko[1] ✉, V. M. Yashin[1], M. V. Bolgov[2]

[1]Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Russian Federation (Building 2, str., 44, Bolshaya Akademicheskaya Str., Moscow, 127434)
[2]Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation (3, Gubkin Str., Moscow, 119333)

Abstract. *The purpose* is to develop a methodological approach to assessing the geoecological risk of diffuse pollution of the river waters of a small river and to compile a map of the geoecological risk of removal of nutrients from the catchment area using the example of the Kazanka River.

Materials and methods. Monitoring studies of hydrochemical parameters of river water in the period from 2014 to 2024 were used as initial materials. The quality of surface waters of the Kazanka River in the upper, middle and lower reaches was assessed using indicators of surface water pollution.

Results and discussion. A methodological approach to assessing the geoecological risk of contamination of the river's surface waters, including the diffuse influx of biogenic pollutants from agricultural and reclaimed territories, is proposed. It is shown that the dominant pollutants are biogenic substances: compounds of the nitrogen group and phosphorus. The levels of geoecological risk (safe, acceptable, maximum permissible and critical) have been established for the ranges of values of the combinatorial pollution index (for nitrogen and phosphorus) for all sub-basins of the Kazanka River. A GIS map of the geoecological risk of the removal of biogenic pollutants into the river has been created.

Conclusions. The proposed methodological approach to assessing the geoecological risks of surface water pollution and the created GIS map of the risk of diffuse pollution from agricultural and reclaimed lands of the catchment area into water bodies will make it possible to justify a set of priority and preventive water protection measures.

Key words: river basin, water bodies, geoecological risk, combinatorial index of water pollution, agricultural and reclaimed lands, diffuse runoff, biogenic pollutants.

For citation: Kireycheva L.V., Karpenko N.P., Yashin V.M., Bolgov M.V. Methodological Approach to Assessing Geoecological Risks of Pollution of the Kazanka River. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2026, no. 2, p. 93-101. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/2/93-101

REFERENCES

1. Baxireva L. V. Geologicheskij i geokhimicheskij risk kak kriterij geoekologicheskogo normirovaniya territorij [Geological and geochemical risk as a criterion for geoecological rationing of territories]. *Istoriya vzaimodejstviya obshhestva i prirody: fakty i koncepcii: tezizy dokladov*. Moscow, 1990, ch. 1, pp. 98-102. (In Russ.)

2. Vynos biogennykh elementov s vodosbora malykh rek respubliki Tatarstan [Removal of biogenic elements from the catchment area of small rivers of the Republic of Tatarstan] / O. N. Urbanova, D. A. Semanov, A. T. Gorshkova, A. I. Karimova, N. V. Bortnikova. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o zemle*, 2015, v. 25, vol. 4, pp. 45-52. (In Russ.)

© Kireycheva L.V., Karpenko N.P., Yashin V.M., Bolgov M.V., 2026
✉ Nina P. Karpenko, e-mail: npkarpenko@yandex.ru
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

3. *Diffuznoe zagryaznenie vodnykh obektov: problemy i resheniya* [Diffuse pollution of water bodies: problems and solutions] / Kollektivnaya monografiya pod rukovodstvom V.I. Danilova-Danilyana. Moscow: RAN, 2020. 512 p. (In Russ.)

4. Dmitriev V.G. Ocenka ekologicheskogo riska. Analiticheskij obzor [Environmental risk assessment. Analytical review]. *Arktika i sever*, 2014, no. 2, pp. 126-146. (In Russ.)

5. Karpenko N.P. Ocenka riska postupleniya diffuznogo stoka s selskokhozyajstvennykh zemel [Assessment of the risk of diffuse runoff from agricultural land]. *Melioraciya i vodnoe khozyajstvo*, 2024, no. 4, pp. 15-19. (In Russ.)

6. Kirejcheva L.V., Yashin V.M. Rol melioririovannykh zemel v diffuznom zagryaznenii rechnykh vod biogennymi veshhestvami [The role of reclaimed lands in diffuse pollution of river waters by biogenic substances]. *Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal*, 2020, no. 10, pp. 28-32. (In Russ.)

7. Kirejcheva L.V., Yashin V.M., Timoshkin A.D. Ocenka vynosa biogennykh veshhestv s vodosbora maloj reki i mery` po ego snizheniyu [Assessment of nutrient removal from the Malaya River catchment area and measures to reduce it]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2022, v. 26, no. 6, pp. 53-59. (In Russ.)

8. Kochurov B.I. Podkhody k opredeleniyu i klassifikacii ekologicheskogo riska [Approaches to the definition and classification of environmental risk]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1993, no. 4, pp. 22-27. (In Russ.)

9. Krasov V.D., Sysoev L.O. Ekologicheskie problemy vodopol′zovaniya [Environmental problems of water use]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2018, no. 2, pp. 84-87. (In Russ.)

10. Metod rascheta biogennoj nagruzki na vodnye obekty [Method for calculating the biogenic load on water bodies] / S.A. Kondratev, M.V. Kazmina, M.V. Shmakova, E.G. Markova. *Regionalnaya ekologiya*, 2011, no. 3-4, pp. 50-59. (In Russ.)

11. Metodika opredeleniya biogennoj nagruzki sel`skokhozyajstvennogo proizvodstva na vodny`e obekty [Methodology for determining the biogenic load of agricultural production on water bodies] / A.Yu. Bryuxanov, S.A. Kondratev, N.S. Oblomkova, A.S. Oguzdin, I.A. Subbotin. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva*, 2016, no. 89, pp. 175-183. (In Russ.)

12. Modelirovanie i prognozirovanie vynosa biogennykh elementov s selskokhozyajstvennykh ugodij v zavisimosti ot agrofizicheskikh svojstv pochvy [Modeling and forecasting the removal of biogenic elements from agricultural lands depending on the agrophysical properties of the soil] / N.I. Dzhabborov, A.P. Savelev, A.V. Dobrinov, A.M. Zaxarov, I.I. Zhujkov. *Engineering Technologies and systems*, 2024, vol. 34, no. 1. (In Russ.)

13. Ocenka diffuznogo zagryazneniya ot selskokhozyajstvennykh territorij v bassejne Verkhnej Volgi i razrabotka meropriyatij po ego snizheniyu na primere reki Yakhromy [Assessment of diffuse pollution from agricultural territories in the Upper Volga basin and development of measures to reduce it using the example of the Yakhroma River] / L.V. Kirejcheva, E.A. Lentyaeva, A.D. Timoshkin, V.M. Yashin. *Vodnye resursy*, 2020, v. 47, no. 5, pp. 523-535. (In Russ.)

14. Perspektivy sokrashheniya vynosa biogennykh elementov s rechnykh vodosborov za schet vnedreniya nailuchshikh dostupnykh tekhnologij (NDT) selskokhozyajstvennogo proizvodstva (po rezultatam modelirovaniya) [Prospects for reducing the removal of nutrients from river catchments through the introduction of the best available technologies (BAT) for agricultural production (based on modeling results)]. Sh.R. Pozdnyakov, A.Yu. Bryuxanov, S.A. Kondratev, N.V. Ignateva, M.V. Shmakova, E.A. Minakova, A.M. Rasulova, N.S. Oblomkova, E.V. Vasilev, A.V. Terexov. *Vodnye Resursy*, 2020, v. 47, no. 5, pp. 588-602. (In Russ.)

15. Sokolov O.A., Semenov V.M., Ageev V.A. *Nitraty v okruzhayushchej srede: monografiya* [Nitrates in the environment: a monograph]. Moscow: Akademiya. 1990, 316 p. (In Russ.)

16. Tusunbekov Zh.A., Ryapolova N.L. Otsenka ekologicheskoj ustojchivosti poverkhnostnykh vod Zapadnoj Sibiri [Assessment of environmental sustainability of surface waters of Western Siberia]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2019, no. 3, pp. 55-60. (In Russ.)

17. Shmal A.G. *Faktory ekologicheskoj opasnosti i ekologicheskie riski* [Environmental hazards and environmental risks]. Izdatelstvo: MP «IKCz BNTV», Bronnicy, 2010. 192 p. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 16.09.2025
Accepted: 20.05.2026

Кирейчева Людмила Владимировна
Доктор технических наук, руководитель отдела природоохранных и информационных технологий Федерального научного центра гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-7114-2706; e-mail: kireychevalw@mail.ru

Карпенко Нина Петровна
Доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-0589-3632; e-mail: npkarpenko@yandex.ru

Яшин Валерий Михайлович
Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: vniigimjashin@mail.ru

Болгов Михаил Васильевич
Доктор технических наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3193-6488, e-mail: bolgovmv@mail.ru

Lyudmila V. Kireycheva
Dr. Sci. (Tech.), Head of the Department of Environmental Protection and Information Technologies, Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-7114-2706; e-mail: kireychevalw@mail.ru

Nina P. Karpenko
Dr. Sci. (Tech.), Leading Researcher at the Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-0589-3632; e-mail: npkarpenko@yandex.ru

Valery M. Yashin
Cand. Sci. (Tech.), Leading Researcher at the Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, e-mail: vniigimjashin@mail.ru

Mikhail V. Bolgov
Dr. Sci. (Tech.), Head of the Laboratory, Chief Researcher at the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3193-6488, e-mail: bolgovmv@mail.ru