

УДК 504.4.062.2

DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-2-221-230

Оценка содержания генотоксических соединений в поверхностных водах Донского бассейна на территории Воронежской области

Баскакова А.Г., Иванова Е.Ю., Куролап С.А.

Воронежский государственный университет,
Россия, 394068, г. Воронеж, ул. Хользунова, 40
Email: geoecolog@mail.ru

Аннотация. Оценка генотоксических соединений – обязательный элемент токсикологической характеристики химических веществ при их гигиеническом регламентировании в природных водах. Целью исследования является оценка качества поверхностных вод бассейна реки Дон и его притоков на территории Подворонежья методами биотестирования. С помощью теста Эймса на штаммах *Salmonella typhimurium* TA 98 и TA 100 изучена мутагенная активность в поверхностных водах реки Дон на территории Воронежской области. Результаты исследования показывают, что в 70 % случаев обнаружены мутагены, свидетельствующие о вероятных синергических эффектах при действии нескольких химических соединений в концентрациях ниже ПДК.

Ключевые слова: бассейн реки Дон, загрязнение воды, качество воды, генотоксические и мутагенные эффекты, тест Эймса.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Воронежской области (проект № 19-45-360003 p_a)

Для цитирования: Баскакова А.Г., Иванова Е.Ю., Куролап С.А. 2020. Оценка содержания генотоксических соединений в поверхностных водах Донского бассейна на территории Воронежской области. Региональные геосистемы, 44(2): 221–230. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-2-221-230

Assessment of the content of genotoxic compounds in natural waters on the example of the Don basin in the Voronezh region

Anna G. Baskakova, Ekaterina Yu. Ivanova, Semen A. Kurolap

Voronezh State University,
40 Holzunova St, Voronezh, 394068, Russia
Email: geoecolog@mail.ru

Abstracts. Among many toxic substances that can be present in surface waters, mutagens have been one of the core issues with relevant to water quality. Among many toxic substances that can be present in surface waters, mutagens have been one of the main concerns with regard to water quality. Genotoxins are mutagens that can cause genotoxicity leading to the damage of DNA or chromosomal material thus causing mutation. Research is an assessment of the impact of anthropogenic activities on water quality in the Don basin. In this study, the Ames test was conducted to investigate the potential genotoxicity and mutagenicity surface water. The set of mutagenicity / genotoxicity tests adopted in this study clearly showed that genotoxic xenobiotics are present in the water of the studied water body. In our study, TA 98 was the most sensitive strain; a weak mutagenic effect was detected in more than 63 % of the studied samples. On the TA 100 strain, a mutagenic effect in only 13 % of samples. Therefore, this study of the strain was less informative. Thus, these results reinforce the importance of conducting genotoxicity tests for developing management plans to improve water quality.

Keywords: Don river basin, water pollution, water quality, genotoxic and mutagenic effects, Ames test.

Acknowledgements: The research was carried out with the financial support of the RFBR (project no. 19-45-360003 p_a)

For citation: Baskakova A.G., Ivanova E.Yu., Kurolap S.A. 2020. Assessment of the content of genotoxic compounds in natural waters on the example of the Don basin in the Voronezh region. *Regional Geosystems*, 44(2): 221–230. (In Russian). DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-2-221-230

Введение

Одной из основных экологических проблем территорий интенсивного агропромышленного освоения является растущее загрязнение пресноводных экосистем в результате попадания в водоемы биогенов и недостаточно очищенных сточных вод, содержащих вредные химические примеси в форме микро-загрязнителей. Водоснабжение и водопользование часто осложняется процессами эвтрофикации, цветением водорослей, снижающих пропускную способность русел рек, ухудшающих качество воды, санитарное состояние водоемов, создающих помехи в навигации и функционировании гидротехнических сооружений. Из-за нарушения экологического равновесия в водоемах создается серьезная угроза значительного ухудшения экологической обстановки в целом.

Водные экосистемы крупных агропромышленных регионов подвержены загрязнению промышленными и муниципальными отходами. Попадание загрязняющих веществ и отходов в водные экосистемы часто происходит через неточечные источники, поверхностные стоки или прямые сбросы промышленных предприятий [Никольская, Черных, 2000; Клепиков, 2017]. Токсичными соединениями, связанными с этими отходами, являются тяжелые металлы, органические и неорганические соединения, пестициды, которые могут оказывать негативное воздействие на водные организмы и функции водных экосистем. Поэтому важно внедрять системы мониторинга, обладающие возможностью и чувствительностью для получения раннего предупреждения о вреде окружающей среде.

Целью исследования является оценка качества поверхностных вод бассейна реки Дон и его притоков на территории Воронежской области методами биотестирования. Изучаемая территория включает Семилукский, Рамонский, Верхнемамонский, Подгоренский, Павловский районы, а также территорию городского округа город Воронеж.

Под биотестированием понимают приемы исследования, с помощью которых о качестве среды, факторах, действующих самостоятельно или в сочетании с другими, судят о выживаемости, состоянии и поведении специально помещенных в эту среду организмов – тест-объектов [Фонштейн и др., 1985].

Понимание многих факторов, влияющих на состояние водных ресурсов, необходимо для разработки успешных стратегий управления качеством воды. Эти знания могут быть использованы для разработки прогностических моделей, которые помогут в дальнейшей оценке качества речной воды.

Состояние водных объектов коррелирует с деятельностью человека, поскольку в хозяйственной деятельности используются разнообразные химические вещества для достижения социальных и экономических целей, а при отсутствии экологически правильного управления в водные объекты сбрасываются промышленные отходы и стоки от сельскохозяйственной деятельности.

На сегодняшний день качество сточных вод регламентируется по химическим, бактериологическим и паразитологическим показателям, которые невозможно оценить быстро. Кроме того, в большинстве случаев безопасность определяется допустимыми концентрациями, разработанными для отдельных химических веществ. Вместе с тем, в природе на организм действуют не отдельные соединения, а целый комплекс веществ, которые,

влияя друг на друга, могут повышать или понижать эффект воздействия, поэтому оценка качества вод по интегральным показателям представляется наиболее перспективным подходом к выявлению реальной экологической безопасности сточных вод [Молоканова и др., 2014; Калашников, 2018].

Объекты и методы исследования

Биологические методы оценки качества среды используют для оценки токсичности и выявления потенциально опасных соединений в водных экосистемах [Моисеенко, 2009; Муравьев, 2009]. Они являются распространенными альтернативами химическому анализу. Для этой цели используется большое количество биотестов, и многие из них коммерчески доступны на рынке. В основном эти методы биотестирования не ограничиваются определенными группами токсинов или загрязнителей, а чаще реагируют на тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители, органические токсичные вещества, пестициды и другие токсиканты, однако с различной чувствительностью к различным группам химических веществ.

Другими условиями для практического применения биологических методов являются надежность и длительный срок хранения используемых биоматериалов [Chapman et al., 1998; MacDonald et al., 2000; Vatn, 2009; Lique et al., 2016]. Метод должен быть прост в обращении и применяться без длительного обучения персонала, который использует его в рутинных измерениях. Биотесты должны обеспечивать высокую пропускную способность и требовать небольших выборок. И, наконец, они должны быть экономически эффективным как с точки зрения первоначальных инвестиций, так и эксплуатационных расходов при непрерывном использовании.

Для выявления частоты мутаций нами использовался классический полуколичественный тест Эймса с метаболической активацией *in vitro*. [Методы первичного выявления..., 1985]. Данный полуколичественный метод с сальмонеллой (*Salmonella typhimurium*) в качестве тест-объекта позволяет оценить суммарную мутагенную и канцерогенную активность компонентов водных объектов. Принцип теста заключается в анализе возникновения делеционных мутаций у специально сконструированных штаммов сальмонеллы (штамм TA 98 и штамм TA 100) при воздействии на них мутагенных веществ. Этот штамм является мутантом для биосинтеза аминокислоты гистидина. В результате они не могут расти и образовывать колонии в среде без гистидина. Когда эти мутантные бактериальные клетки обрабатывают химическими веществами, которые являются мутагенными, это приводит к изменению мутации в бактериальных клетках, что позволяет бактериям расти на среде, не содержащей гистидин.

О мутагенном эффекте свидетельствует повышение мутагенного индекса, определяемого как отношение колоний GIS-ревертантов в опыте к их числу в контроле более 2. Величина мутагенного индекса от 2 до 10 интерпретируется как слабый мутагенный эффект, более 10 – как средний мутагенный эффект.

Всего обработано 22 пробы на гидрохимические и микробиологические показатели. Точки отбора проб приведены в табл. 1, а их местоположение показано на рис. 1 и 2.

Для оценки качества воды нами выбраны типичные места рекреации участков реки Дон и Воронежского водохранилища и некоторые характерные точки вблизи источников техногенного воздействия (полигон ТБО, свинокомплекс, мостовые переходы, водослив у плотины гидроузла, участки ливневых стоков с урбанизированных территорий и потенциального смыва почвы с сельскохозяйственных угодий), являющихся индикаторами техногенного прессинга на поверхностные водные ресурсы Донского бассейна [Шенцева и др., 2015].



Таблица 1
Table 1

Точки отбора проб воды
Sampling points

№ пробы (точка на карте рис. 1,2)	Район исследования	Место отбора
1. (1)	Семилукский район, р. Дон	Мост. Точка 1
2. (2)	Семилукский район, р. Дон	Мост. Точка 2
3.	Рамонский район, р. Дон	с. Новоживотинное
4.	Верхнемамонский район, р. Дон	с. Гороховка
5.	Рамонский район, р. Воронеж	с. Пекшево
6. (3)	Семилукский район, р. Ведуга.	Место впадения в р. Дон
7. (4)	Рамонский район, р. Дон	Место перед впадением в р. Ведугу
8. (5)	Семилукский район, р. Дон	пос. Лесково
9. (6)	Семилукский район, р. Девица	пос. Лесково. ГСМ 2 Место сброса
10. (7)	Семилукский район, р. Дон	Чернышева Гора. После впадения в р. Ведугу
11. (8)	Семилукский район, р. Дон	25-летия октября. Администрация
12. (9)	Семилукский район, р. Девица	Место около ЖД моста
13. (10)	Семилукский район, р. Голубой Дунай	Место впадения в р. Дон
14. (11)	Семилукский район, р. Дон	Родник. Воронежский полигон ТБО
15. (12)	Семилукский район, р. Девица	Свинокомплекс
16.	Подгоренский район, р. Дон	с. Колодежное. Водяная мельница
17. (13)	Рамонский район, р. Дон	СНТ САЛЮТ
18.	Павловский район, р. Дон	Центральный пляж
19. (14)	городской округ город Воронеж	Воронежское водохранилище, 5,5 км выше города у автодорожного моста
20. (15)	городской округ город Воронеж	Воронежское водохранилище, г. Воронеж 2,5 км ниже города, 1,5 км ниже п. Песчанка
21. (16)	городской округ город Воронеж	Воронежское водохранилище, 7 км ниже города, в створе плотины гидроузла (водослив)
22. (17)	городской округ город Воронеж	Воронежское водохранилище, 7 км ниже города, в створе плотины гидроузла (ШЛЮЗ)

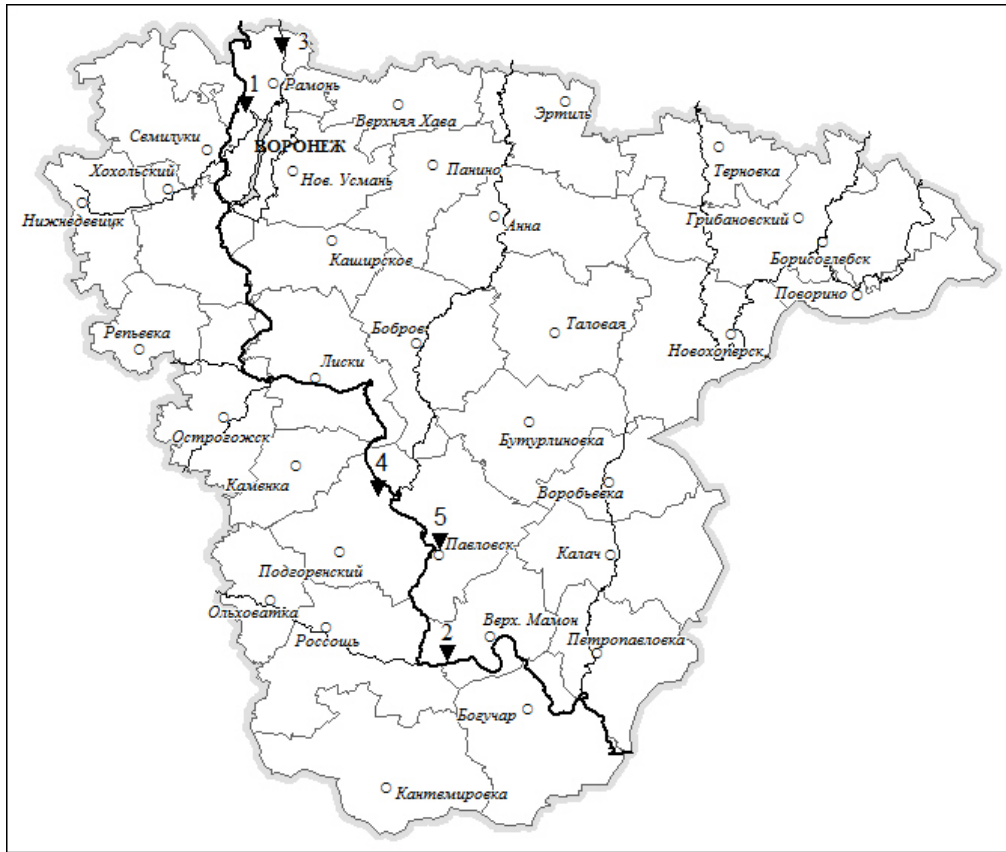


Рис. 1. Точки отбора проб воды на территории Воронежской области в бассейне реки Дон:
(наименование точек указано в табл. 1.)

Fig. 1. Water sampling points in the Voronezh region in the Don river basin: (points are indicated in Table 1.)

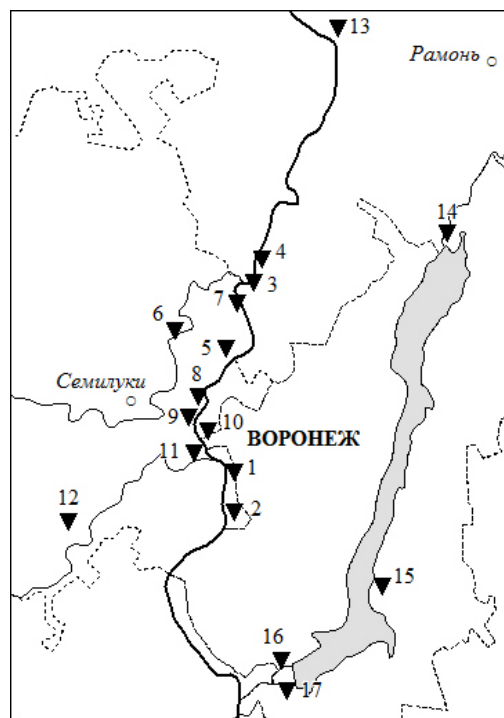


Рис. 2. Карта отбора проб воды на территории Ближнего Подворонежья
(наименование точек указано в табл. 1.)

Fig. 2. Map of water sampling in the territory of the Middle Podorozhnie
(points are indicated in Table 1.)

Результаты и их обсуждение

Отбор проб производили летом 2019 года согласно ГОСТ [2013]. Далее производили экстракцию ксенобиотиков смесью гексан-ацетон. Из полученного экстракта выпаривали растворитель, а осадок растворяли в ДМСО и использовали в тесте. Результаты биотестирования приведены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Результаты теста Эймса сальмонелла / микросомы на обоих штаммах сальмонеллы
 Ames Salmonella / microsome test results for both Salmonella strains

№ пробы	Величина мутагенного индекса	
	Штамм ТА 98	Штамм ТА 100
1.	2,30	0,90
2.	1,60	0,40
3.	5,40	0,75
4.	5,60	2,20
5.	1,90	0,65
6.	3,25	0,40
7.	0,80	0,40
8.	3,60	1,30
9.	0,50	0,60
10.	1,30	2,70
11.	2,00	0,70
12.	6,40	0,15
13.	2,00	1,80
14.	0,40	1,20
15.	1,00	0,60
16.	2,50	0,80
17.	1,30	1,10
18.	7,80	2,50
19.	3,34	1,15
20.	7,20	1,30
21.	6,10	0,74
22.	2,90	0,46

По данным региональных природоохранных ведомств [Доклад о состоянии ..., 2019; Обзор состояния ..., 2020] качество воды водных объектов 2-й категории, используемых для рекреационных целей, несколько снизилось. Вода открытых водоемов в местах рекреационного использования не соответствовала гигиеническим нормативам по санитарно-хи-

мическим показателям на территории 11 муниципальных образований (Грибановский, Новохоперский, Калачеевский, Кантемировский, Каширский, Лискинский, Ольховатский, Павловский, Подгоренский, Россошанский районы и городской округ город Воронеж); по микробиологическим показателям – на территории 8 муниципальных образований (Калачеевский, Панинский, Рамонский, Россошанский, Подгоренский, Ольховатский районы, городские округа город Воронеж и город Борисоглебск).

В результате биотестирования участков реки Дон на территории Воронежской области были установлены следующие основные закономерности:

1. Прямые мутагены чаще выявлены на штамме ТА 98, который регистрирует мутации типа сдвига рамки считывания. На этом штамме слабый мутагенный эффект выявлен более чем в 63 % исследованных проб.

2. На штамме ТА 100, регистрирующем мутации типа замены оснований, мутагенный эффект отмечен лишь в 13 % проб. Следовательно, в данном исследовании этот штамм оказался менее информативным.

3. Мутагенные индексы, полученные на штамме ТА 98, имеют значения от 2,0 до 7,8, а на штамме ТА 100 – от 2,2 до 2,7.

4. Генотоксические соединения на штамме ТА 98 выявлены в точках отбора проб из Рамонского, Семилукского, Верхнехавского, Подгоренского, Павловского районов и города Воронежа.

5. В точках № 4 (с. Гороховка Верхнехавского района) и № 18 (центральный пляж в Павловском районе) генотоксические соединения зарегистрированы на обоих тестерных штаммах, что, возможно, свидетельствует о присутствии разнородных загрязнителей в данных точках проботбора.

Сравнение данных биотестирования с результатами гидрохимических анализов р. Дон и водных объектов – притоков Дона, проведенных летом 2019 г. [Баскакова и др., 2019] показало, что в поверхностных водах Донского бассейна наблюдаются превышения концентрации нитритов в воде (в 80 % проб в значениях от 1,1 до 4,4 ПДК), гидрокарбонатов (в 33 % проб в значениях от 1,1 до 1,5 ПДК), общего железа (в 53 % проб в значениях от 1,2 до 1,9 ПДК), причем несоответствие качества воды санитарно-гигиеническим нормативам в наибольшей степени регистрировались в 3-х контрольных точках: № 5 (пляж на реке Воронеж села Пекшево Рамонского района), № 14 (участок водоохранной зоны реки Дон недалеко от полигона ТБО, расположенного в Семилукском районе, 3 км ниже по течению), № 16 (участок реки Дон в селе Колодежное Подгоренского района). В этих местах рекреации периодически регистрируются превышения ПДК по нитратам (от 1,5 до 2,5 раз), что составляет 27 % проб, общему железу (до 2 раз) – 45 %, сульфатам (до 1,5 раз) – 18 % исследуемых проб [Шикломанов, 2008; Дмитриева, 2015; Баскакова и др., 2019].

В остальных 19 контрольных точках доля проб воды, не отвечающих гигиеническим нормативам по санитарно-гигиеническим показателям, варьирует от 2,1 до 11 %, в то время как по результатам биотестирования слабый мутагенный эффект выявлен более, чем в 63 % исследованных проб.

Источниками относительно высокого загрязнения воды р. Дон и Воронежского водохранилища в пределах исследуемой территории являются техногенные источники загрязнения, к которым относятся промышленные предприятия Воронежской городской агломерации, Нововоронежская АЭС, сельскохозяйственные угодья (территория Донского бассейна значительно распахана – более 60 % площади), а также из Дона осуществляется коммунально-бытовое водоснабжение потребителей в населенных пунктах и соответственно, река Дон и Воронежское водохранилище – «приемники» значительных объемов недостаточно очищенных сточных вод. Это свидетельствует о довольно напряженной общей гидроэкологической обстановке на территории Донского бассейна, требующей совершенствования мониторинга качества вод и системы водоохраных мероприятий.

Заключение

Применением методов биотестирования поверхностных вод бассейна на реке Дон показало, что мутагенные эффекты регистрировались примерно в 63 % случаев, в то время как превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ по результатам гидрохимических анализов наблюдались лишь в 50 % исследованных проб воды. Это может свидетельствовать о наличии синергических эффектов при действии нескольких химических соединений в концентрациях ниже предельно допустимых концентраций.

Источниками повышенного загрязнения воды р. Дон и Воронежского водохранилища в пределах исследуемой территории являются техногенные источники загрязнения (промышленные предприятия Воронежской городской агломерации, Нововоронежская атомная электростанция, сельскохозяйственные угодья, коммунально-бытовое водоснабжение, городские ливневые стоки), что свидетельствует о достаточно напряженной общей гидроэкологической обстановке на территории Донского речного бассейна. Таким образом, сочетание результатов химического и физико-химического анализа для тестов на цитотоксичность, генотоксичность и мутагенность облегчает мониторинг качества воды.

Методы биотестирования (с помощью теста Эймса) имеют высокую эффективность для выявления ранних синергических эффектов и могут дать необходимую дополнительную информацию об ухудшении состояния водных экосистем в ситуации, когда гидрохимические методы недостаточно информативны.

Список источников

1. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200097520> (дата обращения: 18 февраля 2020).
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2017 год. Официальный сайт Росгидромета. Электронный ресурс: URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90> (дата обращения: 26 января 2020).
3. Доклад о состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2018 году. Электронный ресурс: URL: <https://www.govvrn.ru/novost/-/~id/4034068> (дата обращения: 26 января 2020).

Список литературы

1. Баскакова А.Г., Синегубова В.В., Куролап С.А. 2019. Анализ качества поверхностных вод Верхнего Дона на территории Воронежской области. Научно-практические исследования, 7.4 (22): 16–19.
2. Дмитриева В.А. 2015 Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющихся климата и хозяйственной деятельности: монография. Воронеж, Издательский дом ВГУ, 192 с.
3. Калашников Ю.С. 2018. Гигиенические аспекты водопользования населения бассейна Верхнего Дона. Здоровье населения и среда обитания, 7 (304): 31–35.
4. Клепиков О.В. 2017. Оценка экологического состояния Воронежского водохранилища по санитарно-гигиеническим и микробиологическим показателям. Вестник Воронежского гос. университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 1: 87–91.
5. Моисеенко Т.И. 2009. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М., Наука, 400 с.
6. Молоканова Л.В., Хицова Л.Н., Дорошева Ю.В. 2014. Мониторинг качества поверхностных вод, находящихся в зоне воздействия предприятий, добывающих и перерабатывающих огнеупорные глины и песок (на примере малой реки Девицы бассейна Верхнего Дона). Научный вестник Воронежского гос. архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения, 1 (8): 157–161.
7. Муравьев А.Г. 2009. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. Санкт-Петербург, Крисмас+, 218 с.
8. Никольская А.Н., Черных О.А. 2000. Проблемы охраны и использования водных ресурсов р. Дон в границах города Воронеж. Вестник Воронежского гос. университета. Серия: География. Геоэкология, 1: 162–163.

9. Фонштейн Л.М., Абилов С.К., Бобринев Е.В. 1985. Методы первичного выявления генетической активности загрязнителей среды с помощью бактериальных тест-систем. М., 34 с.
10. Шенцева Л.Н., Выборнов В.И., Землянко А.В. 2015. Характерные черты территориально-хозяйственного комплекса Воронежской области на современном этапе развития. Молодой ученый, 7.3 (87.3): 87–89.
11. Шикломанов И.А. 2008. Водные ресурсы России и их использование. СПб., ГГИ, 600 с.
12. Chapman P., Wang F., Janssen C., Persoone G., Allen H.E. 1998. Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment, and remediation. Canadian J. Fish. and Aquat. Sci., 55 (10): 2221–2243.
13. Liqueste C., Udias A., Conte G., Grizzetti B., Masi F. 2016. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. Ecosyst. Serv., 22B: 392–401.
14. MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.O. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 39: 10–31.
15. Vatn A. 2009. An institutional analysis of methods for environmental appraisal. Ecol. Econ., 68 (8–9): 2207–2215.

References

1. Baskakova A.G., Sinegubova V.V., Kurolap C.A. 2019. Analiz kachestva poverhnostnyh vod Verhnego Dona na territorii Voronezhskoj oblasti [Analysis of the quality of the upper waters of the Upper Don in the Voronezh region]. Nauchno-prakticheskie issledovanija, 7.4 (22): 16–19.
2. Dmitrieva V.A. 2015. Vodnye resursy Voronezhskoj oblasti v uslovijah menjajushhihsja klimata i hozjajstvennoj dejatel'nosti: monografija [Water resources of the Voronezh region in the context of changing climates and economic activity: a monograph]. Voronezh, Izdatel'skij dom VGU, 192 p.
3. Kalashnikov Ju.S. 2018. Gigienicheskie aspekty vodopol'zovanija naselenija bassejna Verhnego Dona [Hygienic aspects of water use of the population of the Upper Don basin]. Zdorov'e naselenija i sreda obitaniya, 7 (304): 31–35.
4. Klepikov O.V. 2017. Ocenka jekologicheskogo sostojanija Voronezhskogo vodohranilishha po sanitarno-gigienicheskim i mikrobiologicheskim pokazateljam [Assessment of the ecological state of the Voronezh reservoir by sanitary-hygienic and microbiological indicators]. Vestnik Voronezhskogo gos. universiteta. Serija: Himija. Biologija. Farmacija, 1: 87–91.
5. Moiseenko T.I. 2009. Vodnaja jekotoksikologija: Teoreticheskie i prikladnye aspekty [Aquatic Ecotoxicology: Theoretical and Applied Aspects]. M., Nauka, 400 p.
6. Molokanova L.V., Hicova L.N., Dorosheva Ju.V. 2014. Monitoring kachestva poverhnostnyh vod, nahodjashhihsja v zone vozdejstvija predpriyatij, dobyvajushhih i pererabatyvajushhih ogneupornye gliny i pesok (na primere maloj reki Devicy bassejna Verhnego Dona) [Monitoring the quality of surface waters located in the zone of influence of enterprises that extract and process refractory clay and sand (using the example of the small Maiden River of the Upper Don Basin)]. Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gos. arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tehnologii stroitel'nogo materialovedenija, 1 (8): 157–161.
7. Murav'ev A.G. 2009. Rukovodstvo po opredeleniju pokazatelej kachestva vody polevymi metodami [Guidelines for determining water quality indicators using field methods]. Sankt-Peterburg, Krismas+, 218 p.
8. Nikol'skaja A.N., Chernyh O.A. 2000. Problemy ohrany i ispol'zovanija vodnyh resursov r. Don v granicah goroda Voronezh [Problems of protection and use of water resources p. Don within the city of Voronezh]. Vestnik Voronezhskogo gos. universiteta. Serija: Geografija. Geojekologija, 1: 162–163.
9. Fonshtejn L.M., Abilev S.K., Bobrinev E.V. 1985. Metody pervichnogo vyjavlenija geneticheskoj aktivnosti zagraznitelej sredy s pomoshh'ju bakterial'nyh test-sistem. [Methods for the primary detection of the genetic activity of environmental pollutants using bacterial test systems]. M., 34 p.
10. Shenceva L.N., Vybornov V.I., Zemljanko A.V. 2015. Harakternye cherty territorial'no-hozjajstvennogo kompleksa Voronezhskoj oblasti na sovremennom jetape razvitija. [Characteristic features of the territorial-economic complex of the Voronezh region at the present stage of development]. Molodoy uchenyj, 7.3 (87.3): 87–89.
11. Shiklomanov I.A. 2008. Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie. [Water resources of Russia and their use.] SPb., GGI, 600 p.

12. Chapman P., Wang F., Janssen C., Persoone G., Allen H.E. 1998. Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment, and remediation. *Canadian J. Fish. and Aquat. Sci.*, 55 (10): 2221–2243.

13. Liqueste C., Udias A., Conte G., Grizzetti B., Masi F. 2016. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. *Ecosyst. Serv.*, 22B: 392–401.

14. MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.O. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39: 10–31.

15. Vatn A. 2009. An institutional analysis of methods for environmental appraisal. *Ecol. Econ.*, 68 (8–9): 2207–2215.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Баскакова Анна Геннадьевна, аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

Иванова Екатерина Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры геоэкологии и геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета Географии, Геоэкологии и Туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

Куrolap Семен Александрович, профессор, д.г.н., декан факультета географии, геоэкологии и туризма, зав.кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna G. Baskakova, postgraduate student of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of Voronezh State University, Voronezh, Russia

Ekaterina Yu. Ivanova, candidate of biological Sciences, associate Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of the faculty of Geography, Geoecology and Tourism of Voronezh State University, Voronezh, Russia

Semen A. Kurolap, professor, doctor of geology, dean of the Department of Geography, Geoecology and Tourism, head of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of Voronezh State University, Voronezh, Russia