

GosstroyaSSSR№ 230от16.12.1985.docs.cntd.ru\document\901701435/(data obrashcheniya 12.06.2019).

The material was received at the editorial office
20.06.2019 g.

Information about the authors

Zhezmer Valentin Borisovich, cand. of agricultural Sciences, senior researcher,

head of the laboratory of hydraulic structures safety of the irrigation and drainage complex FGBNU «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov»; e-mail: v1532133@yandex.ru

Shcherbakov Alexey Olegovich, candidate of technical sciences, senior researcher, head of the Department of hydraulic engineering and hydraulics FGBNU «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov»; e-mail: asher5@mail.ru

УДК 502/504: 627.5

DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-102-108

Н.П. КАРПЕНКО, И.В. ГЛАЗУНОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

УПРАВЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬНЫМИ И ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

В работе приведена оценка влияния различных методов управления водными и земельными ресурсами на изменение годового стока воды для лет разной водообеспеченности в реке Шешма республики Татарстан. Для решения поставленной цели в статье проведен обзор источников и причин загрязнения земельных и водных ресурсов, а также современных методов снижения их загрязнения. По результатам обзора составлена классификация основных направлений в целях снижения загрязнения тяжелыми металлами и пестицидами земельных и водных ресурсов. Выполнен обзор и анализ причин и методов загрязнения земельных объектов, а также методов предупреждения загрязнения водных объектов тяжелыми металлами и пестицидами. На основании проведенных исследований составлен ряд классификаций: классификации оценки опасности формирования диффузионных загрязнений для сельскохозяйственных земель, классификация мероприятий по снижению загрязнения водных ресурсов диффузионными стоками с сельскохозяйственных территорий и классификация методов предупреждения загрязнения водных ресурсов стоками с мелиорируемых земель и сельских территорий.

Антропогенная деятельность, водные и земельные ресурсы, загрязнение, дренажный сток, детоксикация.

Введение. Реки являются продуктом водосбора с территории речного бассейна, так как именно на эту территорию приходится основной объем поверхностного стока и на этой площади формируется его качественный состав. Антропогенная деятельность, связанная с сельскохозяйственным производством, мелиоративной, водохозяйственной и лесохозяйственной деятельностью, с распашкой и вырубкой территории и т.д., приводит к существенному изменению условий формирования речного стока. Особенно остро проблемы загрязнения стоят на водосборных

территориях средних и малых рек, которые в силу своей природной уязвимости в первую очередь реагируют на антропогенную деятельность. Малые реки обладают самой низкой способностью к самоочищению и быстрее всего подвергаются загрязнению. Следует отметить, что в условиях усиления антропогенных нагрузок именно водосборы рек подвергаются значительной трансформации и существенному изменению гидрологического и гидрохимического режимов. При значительных объемах сброса промышленных и бытовых сточных вод в реках прекращаются нормальные

процессы жизнедеятельности организмов, расходуется большая часть растворенного в воде кислорода, водотоки превращаются в канализационный коллектор. Изменяются соотношения между объемами поверхностного и подземного стоков с территории водосбора, меняются объемы стока и их качественный состав как во внутригодовом разрезе, так и в целом за год. Поэтому исследования по управлению водными и земельными ресурсами и разработка современных и эффективных методов восстановления ресурсов на водосборах рек является актуальными [1].

Материал и методы исследований.

Для решения данной проблемы с целью снижения загрязнения рек был предложен когнитивный метод экспертного оценивания с использованием градации эффективности природоохранных мероприятий по управлению земельными и водными ресурсами для снижения загрязнения малых рек [2].

Для выявления эффективности методов восстановления (детоксикации) земель от тяжелых металлов и пестицидов, а также диапазона их применимости были разработаны формы опросных таблиц для экспертов и проведен опрос 23 экспертов из 8 организаций. Это Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова [3], Казанский федеральный университет; ГПБУ «Мосприрода»; Дирекция департамента озеленения г. Москвы; ГУП Мосводосток, Мосводоканал, Московско-Окское водное бассейновое управление. Опрос экспертов был проведен весной 2018 года. Период опроса составил 2 месяца. Пример динамики активности экспертов приведен на рисунке 1.

По результатам экспертного опроса составлены обобщенные таблицы экспертных оценок эффективности методов детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами, пестицидами и рекомендуемых условий применения этих методов по земельным ресурсам, и экспертных оценок эффективности методов предупреждения загрязнения водных ресурсов стоками с мелиорируемых земель и сельских территорий. Выполнена статистическая обработка результатов экспертных оценок в соответствии с имеющимися методиками. Было

рассмотрено пять методов детоксикации земельных ресурсов и шесть методов детоксикации водных ресурсов, загрязненных тяжелыми металлами и пестицидами. Если рассматривать оценки экспертов как некоторую случайную величину, то к ним можно применять методы математической статистики. Среднее значение оценки для *i*-го критерия, соответственно, по земельным и водным ресурсам оценивалось по зависимости:

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_1^L r_{i\mu}}{L} = \frac{1}{L} \cdot \sum_1^L r_{i\mu} = \frac{r_i}{L} = 5,44 \text{ и } 4,9 \quad (1)$$

Среднее значение \bar{r}_i выражает суммарные оценки экспертов. Степень согласованности оценок экспертов характеризуется величиной:

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L (r_{ji} - \bar{r}_i)^2, \quad (2)$$

называемой дисперсией оценок. Ясно, что чем меньше значение дисперсии, тем с большей уверенностью можно опираться на найденные значения r_i ; оценки степени важности частного критерия $F_i(X)$.

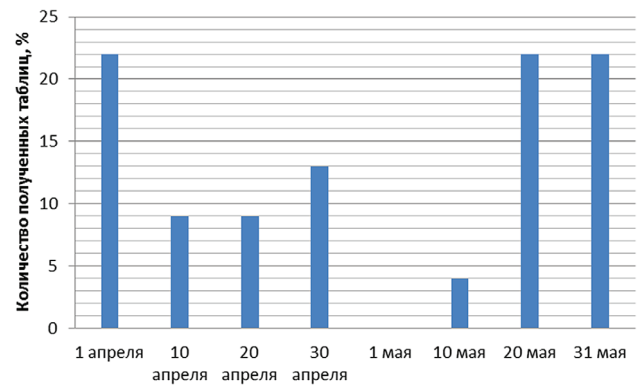


Рис. 1. Динамики активности экспертов

В качестве меры надёжности приведённой оценки принимают $\beta = \frac{\sigma_i}{r_i}$ и называют вариацией. По среднему значению оценки \bar{r}_i определяются весовые коэффициенты:

$$\lambda_i = \frac{\bar{r}_i}{\sum_{i=1}^m \bar{r}_i}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Результаты статистической обработки оценок методов и мероприятий с учетом их эффективности приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Результаты статистической обработки экспертных оценок мероприятий по снижению загрязнения земельных ресурсов водосбора реки

Наименование природоохранного мероприятия	Дисперсия оценок σ_1^2	Вариация β_1	Весовые коэффициенты λ_1
Использование сорбционных материалов для иммобилизации ТМ	3,74	3,35	0,205
Фитомелиорация. Использование толерантных растений	3,75	3,98	173
Установление общей фитотоксичности почвы, обусловленной действием различных ТМ	5,56	5,19	0,18
Агрохимические приемы иммобилизации ТМ почвы	5,5	5,13	0,22
Использование высокобарьерных растений для получения экологически чистой продукции	3,59	3,81	0196
Σ	–	–	1

Таблица 2

Результаты статистической обработки экспертных оценок мероприятий по снижению загрязнения водных ресурсов

Наименование мероприятия	Дисперсия оценок σ_1^2	Вариация β_1	Весовые коэффициенты λ_1
Устройство локальных сооружений по очистке дренажного стока	3,64	0,74	0,222
Применение биоинженерных сооружений (БИС) для очистки и доочистки дренажно-сбросных вод оросительных систем, животноводческих и коммунально-бытовых стоков	3,64	0,74	0,19
Методы и технологии по обессоливанию и деминерализации дренажно-сбросных вод на базе ионно-обменных смол сорбции	2,86	0,58	0,23
Дополнительная очистка поверхностного стока	2,17	0,44	0,09
Специальные емкости для накопления дренажного стока и дождевой воды	3,59	0,73	0,15
Методы, способствующие повышению самоочищающейся способности реки	2,84	0,579	0,118
Σ	–	–	1

Как видно из таблицы 2, наибольшие весовые коэффициенты при экспертной оценке мероприятий по снижению загрязнения водных ресурсов реки имеют следующие виды природоохранных мероприятий:

- методы и технологии по обессоливанию и деминерализации дренажно-сбросных вод на базе ионно-обменных смол сорбции;
- устройство локальных сооружений по очистке дренажного стока;
- применение биоинженерных сооружений (БИС) для очистки и доочистки дренажно-сбросных вод оросительных систем, животноводческих и коммунально-бытовых стоков.

По результатам оценок экспертов все рассмотренные методы были разделены на пять групп по их эффективности

и диапазону применения. К первой группе были отнесены методы повышения эффективности очистки и доочистки дренажного стока и сточных вод сельских населенных пунктов и животноводческих ферм с эффективностью до 90%. Ко второй группе по вышеуказанным критериям были отнесены инженерные методы повышения очистки диффузных стоков с сельскохозяйственных земель с применением локальных сооружений с эффективностью 80%. К третьей группе относятся методы агротехнической и агрохимической направленности при эффективности 70%. К четвертой группе отнесены методы, способствующие повышению самоочищающейся способности реки при эффективности 60%. К пятой группе относятся методы фитомелиоративной направленности с эффективностью 50%.

Результаты исследований и их об- суждение. С использованием когнитивного подхода экспертного оценивания с использованием градации эффективности природоохранных мероприятий по управлению земельными и водными ресурсами для снижения загрязнения малых рек была выполнена оценка эффективности методов детоксикации водных и земельных ресурсов на примере реки Шешма в Республике Татарстан. С этой целью были составлены прогнозы развития хозяйства, рассчитаны параметры водопользования и составлены водохозяйственные балансы.

Река Шешма протекает по территории Татарстана и Самарской области и является левым притоком Камы. Своё название река берёт от татарского слова «Чишмә», означающее родник. Река берёт начало на Бугульминско-Белебеевской возвышенности и впадает в Камский залив Куйбышевского водохранилища. Долина реки асимметричная, извилистая, в истоках V-образная, шириной 0,9...1,2 км, на остальном протяжении трапецеидальная, шириною до 3...4 км. Протекает река по волнистой равнине, расчленённой густой сетью речных долин, балок и оврагов. Ширина колеблется от 100...300 м в верховьях, до 2 км в устье. В реку впадает 69 притоков, главные из которых: Лесная Шешма, Кувак, Талкиш, Секинесь, Кичуй, Толкишка. Река средней водности, питание преимущественно снеговое (63%), а также подземное и дождевое, средняя мутность 230 г/см³, скорость течения составляет 0,1...0,8 м/с.

Гидрологические характеристики реки Шешма: протяженность реки составляет 259 км, коэффициент вариации $C_v = 0,35$; коэффициент асимметрии $C_s = 2$; $C_v = 0,7$; норма стока в заключительном створе равна 724 млн м³; средний уклон реки – 0,8‰. Характеристики водосборного бассейна реки Шешма: площадь водосбора 6040 км²; отметка на водосборе у устья 53,1 м; залесенность территории 20,3%; заозеренность территории 6,4%; коэффициент густоты гидрографической сети составляет 0,14 км/км². Гидрографические характеристики реки Шешма: коэффициент извилистости 1,56; коэффициент разветвленности 0,2; коэффициент неравномерности развития речной сети 0,7. Характеристики водопользования (объемы водопотребления и возвратных вод) были рассчитаны по известным формулам для сельского

и городского коммунально-бытового хозяйства, промышленных предприятий, животноводческих комплексов, орошаемого земледелия [4, 5]. Обобщенные характеристики водопользования на территории речного бассейна реки Шешмы приведены на рисунке 2.

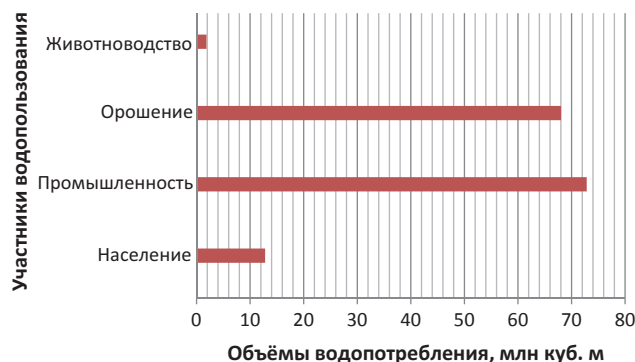


Рис. 2. Объемы водопотребления на территории речного бассейна реки Шешмы

Структура загрязняющей нагрузки на реку Шешму приведена в виде диаграммы на рисунке 3.

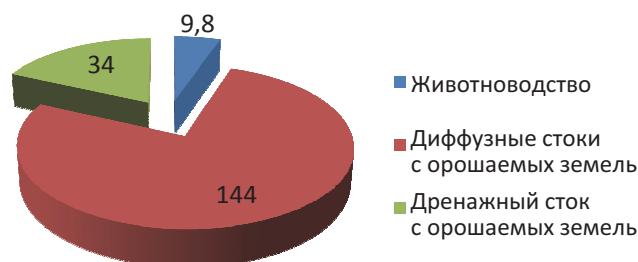


Рис. 3. Структура загрязняющей нагрузки на реку Шешму

При составлении диаграммы учитывалось, что очистные сооружения населённых пунктов имеют достаточную эффективность, очищают сточные воды до достижения ПДК загрязняющих веществ в контрольном створе, а промышленные предприятия имеют технологический цикл с полной оборотной системой водоснабжения.

Расчеты водохозяйственных балансов выполнены по типовым формулам для лет 75% – средне-маловодный год и 95% – острозасушливый год по стоку реки [4, 5]. При увязке водохозяйственного баланса (ВХБ) в статьях загрязняющей нагрузки на реку для удобства расчетов и анализов все методы были разделены в соответствии с выполненными выше экспертными

оценками на группы природоохранных мероприятий по предупреждению загрязнения земельных ресурсов на территории водосбора реки Шешмы:

- методы агротехнической и агрохимической направленности;
- методы фитомелиоративной направленности.

Методы по предупреждению загрязнения водных ресурсов в пределах речного бассейна реки Шешмы разделены на группы:

- методы повышения эффективности очистки и доочистка дренажного стока и сточных вод сельских населенных пунктов и животноводческих ферм;
- методы повышения очистки диффузионных стоков с сельскохозяйственных (мелиорируемых) земель [6];
- методы повышения самоочищающейся способности реки.

По оценкам экспертов наиболее эффективными методами, имеющими более широкий диапазон применения, являются методы повышения эффективности очистки и доочистка дренажного стока и сточных вод сельских населенных пунктов и животноводческих ферм, поэтому при увязке ВХБ эффективность этих методов учитывалась в первую очередь и составила 90% по экспертным оценкам.

Следующей группой методов по выбранным критериям являются методы повышения очистки диффузионных стоков с сельскохозяйственных (мелиорируемых) земель с помощью инженерных сооружений, эффективность этих методов составляет 80%. Она учтена во втором пункте увязки ВХБ.

Третьей группой методов по эффективности и диапазону применимости являются методы агротехнической и агрохимической направленности с эффективностью 70%.

Четвертой группой по выбранным критериям являются методы повышения самоочищающейся способности реки с эффективностью 60%.

В пятую группу вошли методы фитомелиоративной направленности с эффективностью 50%.

Уравнение водохозяйственного баланса составлено для лет расчетной обеспеченности по известным формулам. Эффективность методов детоксикации водных и земельных ресурсов оценена расчетами коэффициентов предельной загрязненности,

который является аналогом индекса загрязнения воды для рек по выделенным 5 группам методов детоксикации земельных и водных ресурсов по формуле:

$$K_{пз\ p} = \frac{(\sum W_{пз} + \sum W_{вв})}{ВХБ + W_{поп.}} - 1 \quad (4)$$

где $W_{вв}$ – объем водоотведения; $W_{пз}$ – объем предельной загрязненности сточных вод; ВХБ – невязка водохозяйственного баланса, $W_{поп.}$ – попуски.

С целью улучшения качества воды в реке Шешме в водохозяйственных расчетах учтена эффективность методов снижения загрязнения водных и земельных ресурсов водосбора реки. При составлении водохозяйственных балансов выявлено, что дефицита воды на рассматриваемом объекте не наблюдается, однако, качество воды в реке без применения методов детоксикации земельных и водных ресурсов классифицируется как «грязная». С учетом эффективности рекомендованных групп методов детоксикации земельных и водных ресурсов качество воды в реке переходит в класс «чистая», что подтверждает достаточную эффективность рекомендуемых мер (рис. 3).

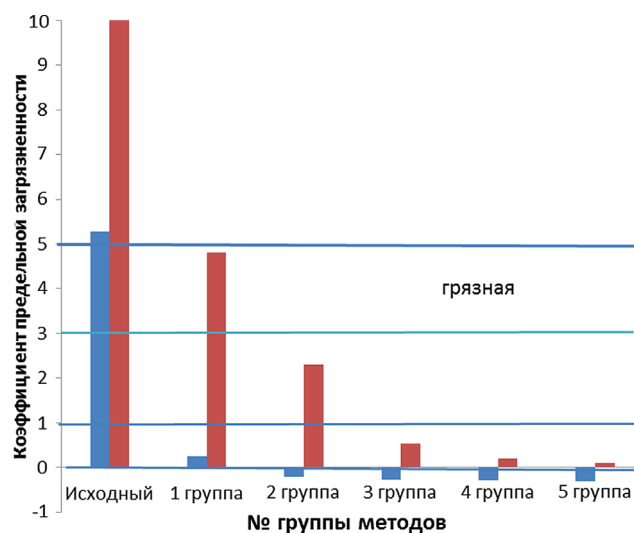


Рис. 3. Диаграмма эффективности методов детоксикации водных и земельных ресурсов по индексу загрязнения воды на основе составления водохозяйственных балансов (синий цвет – острозасушливый год; красный цвет – маловодный год)

Как показывает диаграмма, построенная по результатам расчетов коэффициентов предельной загрязненности для реки

Шешма, и по данным водохозяйственных балансов качество воды в реке без применения методов детоксикации водных и земельных ресурсов относится к классам «грязная» и «очень грязная». При последовательном применении всех 5 групп методов в соответствии с полученными экспертными оценками по весовым значениям методов и их эффективности, оказалось, что обобщение методов в 5 группах и последовательность их применения дает достаточную эффективность по детоксикации земельных и водных ресурсов, поскольку вода в реке стала относиться к классу «чистая» в маловодный год и «умеренно загрязнённая» в острозасушливый год, что допустимо, так как соответствует мезотрофной стадии развития реки.

Выводы

1. Выполнена экспертная оценка и проведена статистическая обработка результатов для оценки эффективности природоохранных и водоохранных мероприятий.

2. Проведена оценка эффективности мероприятий по предупреждению загрязнения водных ресурсов на основе составления водохозяйственных балансов для реки Шешма в Республике Татарстан. По итогам составления водохозяйственных балансов дефицит воды в реке Шешма не установлен. Качество воды без методов детоксикации земельных и водных ресурсов соответствует уровню «грязная».

3. Предложен комплекс наиболее эффективных природоохранных мероприятий, таких как очистка и доочистка дренажного стока и сточных вод сельских населенных пунктов и животноводческих ферм, очистка диффузионных стоков с сельскохозяйственных (мелиорируемых) земель с помощью биоинженерных сооружений, агротехнические и агрохимические приемы, а также методы фитомелиорации, применение которых позволит улучшить качество воды в реке Шешма до уровня «чистая».

Библиографический список

1. Карпенко Н.П. Оценка взаимосвязи поверхностных и подземных вод малых рек Московской области для решения проблем экологической реабилитации водных объектов/ Мат-лы междунар. научного форума «Проблемы управления водными и земельными ресурсами», г. Москва, 30 сентября 2015. Ч. I. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА. – 2015. – С. 3-12.

2. Управление водохозяйственными системами. Учебное пособие. / Галямина И.Г., Иванова Т.И., Маркин В.Н. и др. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 144 с.

3. Классификатор методов и технических решений восстановления плодородия деградированных земель / Кирейчева Л.В., Глазунова И.В., Яшин В.М. и др. // Плодородие. – 2014. – № 6(81). – С. 30-34.

4. Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Глазунова И.В. Особенности методологии комплексного водопользования. Монография. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 116 с.

5. Раткович Л.Д., Маркин В.Е., Глазунова И.В. Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования ВХС. Монография. – М.: МГУП. – 2013-256 с.

6. Факторы влияния диффузного загрязнения на водные объекты / Раткович Л.Д., Маркин В.Н., Глазунова И.В. и др. // Природообустройство. – 2016. – № 3. – С. 64-75.

Материал поступил в редакцию 15.05.2019 г.

Сведения об авторах

Карпенко Нина Петровна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; e-mail: npkarpenko@yandex.ru

Глазунова Ирина Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; e-mail: ivglazunova@mail.ru

N.P. KARPENKO, I.V. GLAZUNOVA

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian State Agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

MANAGEMENT OF LAND AND WATER RESOURCES TO REDUCE RIVER POLLUTION BASED ON EXPERT EFFICIENCY ESTIMATES OF ENVIRONMENTAL PROTECTION ACTIVITIES

The impact of the different measures on water and land resources management on the annual river water flow for the different flow probability of the river Sheshma in the Republic of Tatarstan is estimated in the paper. To achieve the goal, the authors consider the sources of pollution of land and water resources, as well as modern measures on pollution reduction. Basing on the results of the research, a classification of the main measures on pollution reduction of land and water resources contaminated with heavy metals and pesticides has been developed. The review and analysis of the sources of pollution of land, as well as measures on pollution prevention of water bodies with heavy metals and pesticides are carried out too. On the basis of the researches the following classifications are developed: estimation of diffusion pollution danger for the agricultural lands; measures to decrease pollution of water resources with diffusion and drainage water coming from the agricultural territories; measures on water pollution prevention which comes with drainage flow from the reclaimed lands and rural territories.

Human activities, water and land resources, pollution, drainage flow, detoxication.

References

1. **Karpenko N.P.** Otsenka vzaimosvyazi poverhnostnyh i podzemnyh vod malyh rek Moskovskoy oblasti dlya resheniya problem ekologicheskoy reabilitatsii vodnyh objektov. / Mat-ly mezhdunar. nauchnogo foruma «Problemy upravleniya vodnymi i zemelnymi resursami», g. Moskva, 30 sentyabrya 2015. Ch. I. – M.: Izd-vo RGAU-MSHA. – 2015. – S. 3-12.

2. **Galyamin I.G., Ivanova T.I., Markin V.N.** i dr. Upravlenie vodohozyaistvennyimi sistemami. Uchebnoe posobie. – M.: izd-vo RGAU-MSHA, 2016. – 144 s.

3. **Kireicheva L.V., Glazunova I.V., Yashin V.M.** i dr. Klassifikator metodov i tehniceskikh reshenij vosstanovleniya plodorodiya degradirovannyh zemel. / Kireicheva L.V., Glazunova I.V., Yashin V.M. i dr. // Plodorodie. – 2014. – № 6(81). – S. 30-34.

4. **Markin V.N., Ratkovich L., Glazunova I.V.** Osobennosti metodologii kompleksnogo vodopolzovaniya. Monografiya. – M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2016. – 116 s.

5. **Ratkovich L.D., Markin V.E., Glazunova I.V.** Voprosy ratsionalnogo ispolzovaniya vodnyh resursov i proektnogo obosnovaniya VHS. Monografiya. – M.: MGUP. – 2013-256 s.

6. Faktory vliyaniya diffuznogo zagryazneniya na vodnye objekty / Ratkovich L.D., Markin V.N., Glazunova I.V. i dr. // Prirodobustroistvo. – 2016. – № 3. – S. 64-75.

The material was received at the editorial office
15.05.2019 g.

Information about authors

Karpenko Nina Petrovna, Doctor of technical sciences, associate professor, professor of the Department of hydrology, hydrogeology and flow control, Federal State Budgetary Institution of Higher Education – Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev, Russia, 127550, Moscow, Pryanishnikova str., 19; e-mail: npkarpenko@yandex.ru

Glazunova Irina Victorovna, Candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of the integrated use of water resources and hydraulics – Federal State Budgetary Institution – Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev, Russia, 127550, Timiryazevskaya street, 49; e-mail: ivglazunova@mail.ru