

Пивнева О.С.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОРОГОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЛИЯНИЯ ПЕСТИЦИДОВ НА САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЁМОВ

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи Московской области

**Введение.** Стремительный рост производства и применение пестицидов представляет реальную опасность возможного загрязнения водных объектов, что определяет актуальность совершенствования методов гигиенического нормирования пестицидных препаратов в водных объектах, а также поиск скрининговых методов установления пороговых концентраций. Рассмотрены вопросы необходимости совершенствования методических подходов гигиенического нормирования пестицидных препаратов в воде водных объектов, показана необходимость дальнейшего научного изучения данного вопроса.

**Материал и методы.** Представлены результаты собственных лабораторных исследований по влиянию гербицидов класса сульфонилмочевин на процессы самоочищения водоёмов по показателю БПК. В работе использованы вещества класса производных сульфонилмочевин с разнонаправленным механизмом действия, оказывающие как стимулирующее, так и ингибирующее влияние на течение процессов биохимического потребления кислорода. С помощью формулы (Готовцев А.В., 2016 г.) произведён расчёт полного биохимического потребления кислорода для производных сульфонилмочевин по двум экспериментально измеренным величинам БПК.

**Результаты.** Представлены данные биохимического потребления кислорода для двух веществ, полученные в результате экспериментальных исследований. Выбранные вещества оказывают разнонаправленное действие на течение биохимических процессов: стимуляция – отклонение БПК от контроля (%); ингибирование – отклонение БПК от контроля (%). Проведена оценка возможного использования формулы для расчёта полного биохимического потребления кислорода, полученной при решении модифицированной системы уравнений Стритера–Фелпса, применительно к пестицидам класса сульфонилмочевин. Формула применялась в качестве математической модели для прогнозной оценки установления пороговых концентраций пестицидов по влиянию на санитарный режим водоёмов (по показателю БПК).

**Обсуждение.** В работе были сопоставлены экспериментальные и расчётные значения биохимического потребления кислорода, что показывает возможность использования данного математического метода для прогнозной оценки влияния пестицидных препаратов этого класса на процессы самоочищения водоёмов.

**Заключение.** Показана возможность использования методов математического моделирования, в частности модифицированной системы уравнений Стритера–Фелпса в практике санитарно-гигиенических исследований.

Ключевые слова: биохимическое потребление кислорода; самоочищение водоёмов; производные сульфонилмочевин.

**Для цитирования:** Пивнева О.С. Использование математической модели для прогнозирования пороговых концентраций влияния пестицидов на санитарное состояние водоёмов. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(6): 520-524. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-520-524>

**Для корреспонденции:** Пивнева Ольга Сергеевна, мл. науч. сотр. отд. гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов, ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора. E-mail: [pivneva-o@mail.ru](mailto:pivneva-o@mail.ru)

Pivneva O.S.

### THE APPLICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE THRESHOLD CONCENTRATIONS OF THE INFLUENCE OF PESTICIDES ON THE SANITARY STATUS OF WATERS

F.F. Erisman of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytishchi, Russian Federation

**Introduction.** The rapid growth in the production and use of pesticides poses a real risk of the possible contamination of water bodies, which determines the urgency of the improving the methods of hygienic rating of pesticide preparations in water bodies, as well as the search for screening methods for establishing threshold concentrations. The issues of the need to improve the methodological approaches to the hygienic regulation of pesticide products in water of water bodies are considered, the need for further scientific study of this issue is shown.

**Material and methods.** There are presented results of ourselves laboratory studies on the effect of herbicides of the sulfonylurea class on the processes of self-purification of reservoirs according to the Biological Oxygen Demand (BOD) index. In the work there were used substances of the sulfonylureas derivatives with a multi-directional mechanism of action that exerts both a stimulating and inhibitory effect on the course of processes of the biochemical oxygen consumption. With the use of the formula (Gotovtsev A.V., 2016), the total biochemical oxygen consumption for sulfonylurea derivatives was calculated from the two experimentally measured BOD values.

**Results.** The data of biochemical oxygen consumption for two substances, obtained as a result of experimental studies, are presented. Selected substances have a multi-directional effect on the course of biochemical processes: stimulation - deviation of BOD from the control (%); inhibition - deviation of BOD from the control (%). There was made an estimation of the possible use of the formula for calculating the total biochemical oxygen consumption obtained in the solution of the modified Streeter–Phelps equation system for pesticides of the sulfonylurea class. The formula was applied as a mathematical model for the predictive assessment of the establishment of threshold concentrations of pesticides on the effect on the sanitary regime of water bodies (accordingly to BOD index).

**Discussion.** In the paper, experimental and calculated values of biochemical oxygen consumption were compared,

which shows the possibility of using this mathematical method for predicting the effect of pesticidal preparations of this class on the processes of self-purification of water reservoirs.

**Conclusion.** There was shown the possibility of using mathematical modeling methods, in particular, the modified Streeter-Phelps system of equations in the practice of sanitary and hygienic investigations.

**Key words:** biochemical oxygen consumption; self-purification of water reservoirs; sulfonyleurea derivatives.

**For citation:** Pivneva O.S. The application of the mathematical model for predicting the threshold concentrations of the influence of pesticides on the sanitary status of waters. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(6): 520-524. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-520-524>

**For correspondence:** Olga S. Pivneva, MD, Researcher of the Department of Hygiene of Drinking Water Supply and Protection of Water Facilities the F.F. Erisman of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytitschi, Russian Federation. E-mail: [pivneva-o@mail.ru](mailto:pivneva-o@mail.ru)

**Information about authors:** Pivneva O.S., <https://orcid.org/0000-0002-4310-6724>.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

Received: 15 March 2018

Accepted: 24 April 2018

## Введение

В условиях воздействия химических веществ самоочищение водоёмов является сложным процессом и зависит от совокупной деятельности организмов (бактерий, водорослей и др.), поэтому одной из важнейших задач санитарной охраны является сохранение этой способности [1–3, 6].

Существует условно 3 группы факторов, оказывающих влияние на процессы самоочищения водоёмов:

- физические (разбавление, оседание, ультрафиолетовое излучение);
- химические (окисление органических и неорганических веществ, *pH*);
- биологические (взаимодействие гидробионтов) [1, 2, 5, 12, 13].

В настоящее время стремительными темпами растёт производство пестицидных препаратов во всём мире, в т. ч. и в России. Из доклада, представленного на конференции «Пестициды–2016», организованной компанией CREON Energy «...за последние 6 лет средний годовой прирост рынка пестицидов на мировом уровне составил 4,6% <...>. Российский рынок за последние 5 лет показал ежегодный рост в 978%...» [4, 8, 11].

Вместе с тем с каждым годом происходит ухудшение санитарного состояния водных объектов под воздействием химических веществ, которые вызывают нарушение жизнедеятельности гидробионтов и изменение водных экосистем, что, в свою очередь, создаёт реальную угрозу здоровью населения [4, 5, 7, 10].

В складывающихся условиях вопросы гигиенического нормирования, обоснования пороговых концентраций приобретают особую актуальность. Чрезвычайно важным представляется также разработка скрининговых методов установления пороговых концентраций, в том числе с использованием математических моделей [5, 7, 16, 19].

При установлении предельно допустимой концентрации (ПДК) учитывается несколько показателей вредности: органолептический, общесанитарный и токсикологический. Минимальная концентрация из этих показателей рекомендуется как ПДК с указанием лимитирующего показателя вредности<sup>1</sup>. Около 70% действующих веществ (д. в.) нормируются по органолептическому и общесанитарному показателю [14, 17]<sup>2</sup>.

Одним из основных критериев оценки уровня загрязнения водных объектов органическими веществами, в т.ч. пестицидами, является биохимическое потребление кислорода (БПК). Принято полагать, что в течение пяти суток эксперимента происходит окисление около 70% легкоокисляемого органического вещества, но на практике это значение может варьироваться от 10 до 90% в зависимости от природы загрязняющих веществ. Как правило, полная биодеградация «загрязнителя» достигается к 20-м суткам эксперимента (БПК<sub>20</sub>), что на практике является достаточно длительным и трудоёмким для изучения процессом [1, 14, 15, 18].

<sup>1</sup> МУ 2.1.5.720–98 Обоснование гигиенических нормативов химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М., 1999. 55 с.

<sup>2</sup> ГН 1.2.3111–13 «Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень)».

С гигиенической точки зрения, наиболее значим процесс, связанный с содержанием в воде органических (нестабильных) веществ, трансформирующихся в воде путём гидролиза, окисления и других процессов, ход которого хорошо контролируется показателем биохимического потребления кислорода [2, 9, 15, 29, 30].

Процесс биохимического потребления кислорода в общем виде протекает в две стадии: первая – окисление нестойких органических соединений, которая протекает быстро и носит экспоненциальный характер, вторая – окисление стойких органических соединений, которая протекает медленно и, как правило, линейно. Величина БПК увеличивается со временем, достигая некоторого максимального значения (БПК<sub>полн</sub>).

Учитывая разнонаправленный характер воздействия токсикантов на водные экосистемы, необходимы различные данные о способности водных объектов к самоочищению и механизме действия. Такая оценка может быть дана как с помощью экспериментальных (лабораторных) исследований, так и с использованием расчётных (математических) методов.

Методы математического моделирования широко используются во многих областях науки, в т. ч. в санитарно-гигиенических исследованиях. Одной из моделей, описывающих содержание растворённого кислорода как интегрального показателя качества воды является модель Стритера–Фелпса. Однако при сильном антропогенном воздействии и многокомпонентном составе загрязняющих веществ использование этих моделей требует дополнительного научного обоснования относительно пороговых концентраций пестицидов [19, 21, 23, 24, 26].

В переработанных методических указаниях представлена формула для расчёта БПК<sub>полн</sub>, предложенная Готовцевым А.В. [27, 28]. Формула основана на решении модифицированной системы уравнений Стритера–Фелпса, которая позволяет рассчитывать БПК по двум измеренным величинам за период Т и 2Т. Использование расчётных методов позволит сократить время на постановку эксперимента, трудовые затраты и расходы химических реактивов, повысит объективность конечного результата [20–22, 25].

Цель работы – изучить возможность применения модифицированной формулы для расчёта БПК в исследованиях по изучению влияния производных сульфонилмочевины на процессы самоочищения водоёмов по показателю БПК.

## Материал и методы

В качестве объекта исследования был выбран химический класс производных сульфонилмочевины. Исследования по влиянию действующих веществ на процессы самоочищения по показателю БПК проводились на веществах данного класса, оказывающих разнонаправленное влияние на течение биохимических процессов.

Наблюдение за интенсивностью и динамикой биохимического потребления кислорода проводилось в соответствии с методикой<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> РД 52.24.420–2006 «Биохимическое потребление кислорода в водах. Методика выполнения измерения скляночным методом». – Ростов-на-Дону, 2006.

## Влияние вещества «А» на биохимическое потребление кислорода в воде модельных водоёмов

Сутки	Действующее вещество «А»			
	Концентрация 5 мг/л		Концентрация 0,1 мг/л	
	БПК мг/л	% (от контроля)	БПК мг/л	% (от контроля)
1	0,64	0	0,32	0
2	0,96	0	0,64	0
3	1,12	0	0,88	0
5	1,28	7	1,12	4
7	1,44	22,2	1,2	0
10	1,68	30,0	1,28	3,2
12	1,68	28,6	1,28	5,0
15	1,76	24,3	1,36	0
17	2,32	25	1,44	3,2
20	2,48	34	1,44	3,2

В качестве контрольной и разбавляющей служила дехлорированная водопроводная вода, в которую добавляли хозяйственно-бытовую сточную жидкость из расчёта 2 мл на 1 л воды. Перманганатная окисляемость разбавляющей воды не превышала 8-9 мгО/л.

Проводилось по 3 серии опытов по изучению влияния каждого вещества на процессы БПК. При выборе концентраций учитывались пороговые концентрации по влиянию на органолептические показатели качества, а также в 5 и 10 раз меньше. В последующих сериях опытов исследовали концентрации, отличающиеся друг от друга в 3-4 раза.

Водные растворы насыщались кислородом воздуха до концентрации 6–8 мгО/л путём интенсивного встряхивания в течение минуты в стеклянной ёмкости с хорошо притёртой пробкой. Подготовленную пробу разливали в кислородные склянки до краев, чтобы внутри склянки не образовывалось пузырьков. В одной склянке сразу же фиксировали и определяли концентрацию растворённого кислорода.

Исследования биохимического потребления проводили в динамике в день постановки эксперимента (концентрация растворённого кислорода в 0 день) и на 1, 2, 3, 5, 10, 15 и 20-е сутки. Расчёт БПК осуществляли по разности содержания растворённого кислорода до и после инкубации при стандартных условиях (при 20 °С в аэробных условиях, без доступа воздуха и света). Температурное постоянство обеспечивалось с помощью охлаждаемых инкубаторов BINDER KB-115.

Оценка результатов осуществлялась для каждой серии в отдельности в силу вариабельности процесса, усреднение по сериям опытов не допускалось. Учитывалось, что при проведении экспериментальных исследований по оценке влияния пестицидов на БПК в разных сериях опытов может регистрироваться разнонаправленный характер их действия на процесс. Данное явление, вероятно, обусловлено соотношением метаболитов действующих веществ, появляющихся в водной среде в результате их деструкции. Количество продуктов разложения действующих веществ пестицидов в разные сроки наблюдения может колебаться от 1 до 10.

Правильность постановки опыта проверялась по показателю величины БПК в контроле за первые сутки эксперимента, которая должна быть в пределах 0,5–1,2 мг/л.

В качестве математической модели использовалась система модифицированных уравнений Стритера–Фелпса, при решении которой получена формула для расчёта полного биохимического потребления кислорода по двум измеренным величинам БПК<sup>4</sup>:

где  $T$  – период инкубации, сутки;  $BPK_t$  и  $BPK_{2t}$  – величины БПК за периоды инкубации  $T$  и  $2T$ ;  $C_0$  – начальная концентрация растворённого кислорода, мг/л.

## Влияние вещества «В» на биохимическое потребление кислорода в воде модельных водоёмов

Сутки	Действующее вещество «В»			
	Концентрация 5 мг/л		Концентрация 1 мг/л	
	БПК мг/л	% (от контроля)	БПК мг/л	% (от контроля)
1	0,32	0	0,48	0
2	0,48	0	0,64	0
3	0,64	0	0,8	0
5	0,8	-4,3	0,88	-2,5
7	0,96	-12,8	0,96	6,3
10	1,04	-18,7	1,04	0
12	1,2	-20	1,12	0
15	1,28	-28,0	1,12	-7,0
17	1,36	-15,6	1,2	0
20	1,44	-10,9	1,28	0

С помощью инструментов программы Microsoft Excel и формулы для расчёта  $BPK_{полн}$  производился расчёт по двум измеренным значениям БПК ( $T$ ;  $2T$ ). Расчётное значение биохимического потребления кислорода сравнивалось с БПК экспериментальным, которое достигалось к 20-м суткам эксперимента.

## Результаты

В первой серии опытов по влиянию гербицидов на процессы биохимического потребления кислорода были определены концентрации действующих веществ, оказывающих стимулирующее, ингибирующее действие и не влияющие на течение биохимических процессов. Значение отклонений принималось согласно методическим указаниям при стимуляции процесса биохимического потребления кислорода (+20%) от контроля, при ингибировании (–15%).

Исследования показали, что в концентрациях 5 мг/л действующее вещество «А» оказывает стимулирующее влияние на течение биохимических процессов. В указанной концентрации величины БПК воды модельных водоёмов были выше контрольных на +22,2...+34%. Динамика процесса биохимического потребления кислорода в присутствии вещества «А» на уровне 0,1 мг/л практически не отличается от контроля, процент отклонения составляет 0...+5%. В качестве пороговой принята концентрация 0,1 мг/л, не оказывающая влияние на БПК. Экспериментальные результаты влияния гербицидного препарата на течение процессов биохимического потребления кислорода для действующего вещества «А» представлены в табл. 1.

В исследованиях по влиянию вещества «В» на процессы биохимического потребления кислорода установлено, что вещество оказывает ингибирующее действие в концентрации 5 мг/л, о чём свидетельствуют отклонения от контроля на -15,6...-28%. В качестве порога принята концентрация 1 мг/л, не влияющая на процесс БПК. Экспериментальные результаты влияния вещества «В» на течение процессов биохимического потребления кислорода представлены в табл. 2.

С помощью формулы  $BPK_{полн}$ , полученной при решении модифицированной системы уравнений Стритера–Фелпса (Готовцев А.В., 2016 г.) был проведён расчёт  $BPK_{полн}$  с использованием полученных экспериментальных значений биохимического потребления кислорода на 5-е и 10-е сутки, на 10-е и 20-е сутки исследований.

В табл. 3 представлены расчётные значения полного биохимического потребления кислорода, полученные с использованием формулы и результатов лабораторных исследований.

При расчёте  $BPK_{полн}$  были использованы экспериментальные значения БПК, полученные на 5-е и 10-е сутки эксперимента для двух веществ в разных концентрациях. Аналогично производился расчёт  $BPK_{полн2}$  при значениях БПК на 10-е и 20-е сутки эксперимента.

## Сопоставление экспериментальных и расчётных значений БПК

Вещество / РК (С <sub>0</sub> ), мг/л	БПК <sub>5экс</sub> , мг/л	БПК <sub>10экс</sub> , мг/л	БПК <sub>полн1</sub> , мг/л	БПК <sub>10экс</sub> , мг/л	БПК <sub>20экс</sub> , мг/л	БПК <sub>полн2</sub> , мг/л
<i>Концентрация 5 мг/л</i>						
Вещество «А» / 8,16	1,28	1,68	1,92	1,68	2,48	3,68
<i>Концентрация 0,1 мг/л</i>						
Вещество «А» / 8,16	1,12	1,28	1,31	1,28	1,44	1,47
<i>Концентрация 5 мг/л</i>						
Вещество «В» / 8,48	0,8	1,04	1,16	1,04	1,44	1,75
<i>Концентрация 1 мг/л</i>						
Вещество «В» / 8,0	0,88	1,04	1,08	1,04	1,28	1,37

Растворённый кислород фиксировали сразу после насыщения пробы, определяли концентрацию (С<sub>0</sub>) методом йодометрического титрования (метод Винклера), который широко применяется в санитарно-гигиеническом контроле.

## Обсуждение

Анализируя полученные результаты, хотелось бы отметить, что на первом этапе нам было важно оценить возможность применения формулы для расчёта БПК<sub>полн</sub> именно для пестицидных препаратов. Для оценки результатов мы решили взять интервал (БПК<sub>полн1</sub> < БПК<sub>20</sub> < БПК<sub>полн2</sub>) и посмотреть, будут ли попадать в него полученные нами экспериментальные значения биохимического потребления кислорода на 20 сутки исследования. Из данных, представленных в табл. 3, видно, что экспериментально выявленные нами значения биохимического потребления кислорода на 20 сутки исследования попадают в интервал, где БПК<sub>полн1</sub> и БПК<sub>полн2</sub> получены при использовании формулы. На данном этапе мы предполагаем возможность использования данного математического метода для расчёта полного биохимического потребления кислорода применительно к пестицидным препаратам этого класса. Впервые нами проведена сравнительная оценка расчётного и экспериментального методов определения биохимического потребления кислорода для пестицидов.

## Заключение

Результаты нашего исследования позволяют предположить, что предложенная формула (как скрининговый метод), может быть применена для прогнозной оценки показателя полного биохимического потребления кислорода при изучении влияния пестицидов производных сульфонилмочевины на процессы самоочищения водоёмов. Вариабельность процессов биохимического потребления кислорода в каждой серии эксперимента подтверждает необходимость дальнейшего научного обоснования данного вопроса. При проведении исследований необходимо учитывать также гидролизные процессы действующих веществ в водных объектах, метаболиты которых могут оказывать разнонаправленное влияние на течение биохимических процессов.

Исследования планируется продолжить на других классах пестицидных препаратов.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.  
**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература

1. Пименова Е.В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов: учебное пособие. Е.В. Пименова. Пермь: Изд-во Пермской ГСХА, 2011: 138.
2. Гигиена, санология, экология: учебное пособие. Под ред. Л.В. Воробьевой. СПб.: СпецЛит, 2011: 255.
3. Иванова Е.А. Экологические проблемы применения пестицидов. Е.А. Иванова, Ю.В. Калуженкова. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование*. 2008; 1 (17): 29-33.
4. Степанова Л.П. Экологическая оценка влияния сельскохозяйственного производства на интенсивность загрязнения окружа-

ющей среды. Л.П. Степанова, А.Н. Мышкин, Е.А. Коренкова, М.Н. Моисеева. *Вестник Орловского государственного университета*. 2011; 29 (2): 36-7.

5. Мельников Н.Н. Пестициды: химия, технология и применение. Н.Н. Мельников. М.: Химия; 1987: 712.
6. Ракитский, В.Н. Итоги и перспективы развития гигиены и токсикологии пестицидов. В.Н. Ракитский. Гигиена: Прошлое, настоящее, будущее. М.; 2001: 79-81.
7. Горбатов В.С. Водная экотоксикология пестицидов и современные тенденции регулирования их обращения. В.С. Горбатов О.Ф. Филенко М.В. Медянкина Т.В. Кононова Е.В. Оганесова. *Вода MAGAZINE*. 2013; 69 (5): 10-4.
8. Захаренко В.А. Рынок пестицидов в России и перспективы его развития. В.А. Захаренко. *Защита и карантин растений*. 2014: 11: 3-6.
9. Новиков Ю.В. Методы исследования качества воды водоемов. Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. Под ред. А.П. Шицковой. М.: Изд-во «Медицина», 1981: 376.
10. Степанова, Л.П. Экологическая оценка влияния сельскохозяйственного производства на интенсивность загрязнения окружающей среды. Л.П. Степанова А.Н. Мышкин Е.А. Коренкова М.Н. Моисеева. *Вестник Орловского государственного университета*. 2011; 29 (2): 36-7.
11. Иванова Е.А. Экологические проблемы применения пестицидов. Е.А. Иванова, Ю.В. Калуженкова. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование*. 2008; 1(17): 29-33.
12. Леонов А.В. Моделирование природных процессов в водной среде. А.В. Леонов, В.М. Пищальник. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ; 2012: 227.
13. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: учебно-методическое пособие. О.В. Гагарина. Ижевск: Изд-во Удмуртский университет; 2012: 199.
14. Ракитский В.Н. Совершенствование методических подходов гигиенического нормирования пестицидов в водных объектах. В.Н. Ракитский, А.В. Тулакин, Т.А. Синицкая, Г.В. Цыплакова, Е.Ф. Горшкова, Г.П. Амплеева, Л.Ф. Морозова, О.Н. Козырева, О.С. Пивнева. *Гигиена и Санитария*. 2016; 7: 675-8.
15. Новиков Ю.В. Методы исследования качества воды водоемов. Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. Под ред. А. П. Шицковой. М.: Изд-во «Медицина», 1981: 376.
16. Белоёдова Н.С. Гигиеническая регламентация производного сульфонилмочевины. Н.С. Белоёдова. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2012; 6: 45-7.
17. Тулакин А.В. Методические особенности гигиенического нормирования пестицидов в воде. А.В. Тулакин, В.Н. Ракитский, Е.Ф. Горшкова, Л.Ф. Морозова, М.М. Сайфутдинов, Г.М. Трухина. *Гигиена и Санитария*. 2004; 1: 56-8.
18. Данилов-Данилян В.И. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. В.И. Данилов-Данилян, И.Л. Хранович. М.: Научный мир; 2010: 232.
19. Лойт А.О. Расчетные методы гигиенического нормирования вредных веществ в различных средах. А.О. Лойт, М.Б. Архипова. Учебное пособие. СПб.: МАПО., 1997: 40.
20. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. В. А. Вавилин. М.: Наука; 1981: 160.

21. Balwinder Singh. Determination of BOD kinetic parameters and evaluation of alternate methods. A Thesis submitted to in partial fulfillment of the requirements for the award of degree of Master of engineering in environmental engineering by Balwinder Singh Under the supervision of Dr. Anita Rajor Dr. & A. S. Reddy (Deemed University). Patiala 147 004; 2004: 74.
22. Меркулова Н.Н., Михайлов М.Д. Методы приближенных вычислений: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Под ред. А.В. Старченко. Томск: Издательский Дом ТГУ; 2014: 764.
23. Абелешев Д.Г. Математическое моделирование процессов самоочищения реки с использованием модификации моделей Герберта и Стритера-Фелпса. Д.Г. Абелешев, М.Д. Михайлов. Томский государственный университет. Томск, 2013: 51-2.
24. Михайлов М.Д. Об одной модификации модели Стритера – Фелпса и её численной реализации с помощью многопроцессорных вычислительных систем. М.Д. Михайлов. Вестник Томского государственного университета. *Математика и механика*. 2010; 1: 39-46.
25. Rai R.K. Simplified method for Determination of BOD Constants. *Indian J. Environ. Protection*. 2000; 20 (4): 263-7.
26. Тюрина О.В. Новые подходы к проблеме ускоренного нормирования химических веществ. О.В. Тюрина, Т.Р. Зулкарнаев. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2010; 5 (6): 96-9.
27. Берешко И.Н. Математические модели в экологии: учебное пособие, ч.1. И.Н. Берешко, А.В. Бетин. Харьков: Нац. Аэрокосм. Университет «Харьковский авиационный институт», 2006: 68.
28. Готовцев А.В. Новый способ вычисления БПК и скорости биохимического окисления на основе замкнутой системы уравнений Стритера – Фелпса. А.В. Готовцев. *Водные ресурсы*. 2014; 3: 325-9.
29. Готовцев, А.В. Определение БПК и коэффициента скорости биохимического потребления кислорода: мониторинг, прямая и обратная задачи, формулы, расчеты и таблицы. А.В. Готовцев. *Водные ресурсы*. 2016; 43 (6): 633–47.
30. Новиков, Ю.В. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. Ю.В. Новиков. М.: ВИНТИ, 1977; 4: 219.
11. Ivanova, E.A. Ecological problems of pesticide application. E.A. Ivanova, Yu.V. Kaluzhenkova. *News of the Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2008; 17 (1): 29-33.
12. Leonov, A.V. Modeling of natural processes in the aquatic environment. A.V. Leonov, V.M. Pischalnik. Yuzhno-Sakhalinsk: Publishing house SakhGU; 2012: 227.
13. Gagarina, O.V. Assessment and normalization of the quality of natural waters: criteria, methods, existing problems: a teaching aid. O.V. Gagarin. Izhevsk: Publishing house of the Udmurt University, 2012: 199.
14. Rakitsky, V.N. Perfection of methodical approaches of hygienic rationing of pesticides in water objects. V.N. Rakitsky, A.V. Tulakin, T.A. Sinitskaya, G.V. Tsyplakova, E.F. Gorshkova, G.P. Ampleeva, L.F. Morozova, O.N. Kozyreva, O.S. Pivneva. *Hygiene and Sanitation*. 2016; 7: 675-8.
15. Novikov, Yu.V. Methods for studying water quality in reservoirs. Yu. Novikov, K.O. Lastochkina, Z.N. Boldina. Ed. A. P. Shitskova. M.: Publishing house “Medicine”, 1981: 376.
16. Beloyedova, N.S. Hygienic regulation of the sulfonyleurea derivative. N.S. Beloyedova. *Public Health of the Russian Federation*. 2012; 6: 45-7.
17. Tulakin, A.V. Methodical features of hygienic rationing of pesticides in water. A.V. Tulakin, V.N. Rakitsky, E.F. Gorshkova, L.F. Morozova, M.M. Sayfutdinov, G.M. Trukhina. *Hygiene and Sanitation*. 2004; 1: 56-8.
18. Danilov-Danilyan, V.I. Water resources management. Harmonization of water use strategies. IN AND. Danilov-Danilyan, I.L. Khranovich. M.: Scientific world; 2010: 232.
19. Loit, A.O. Calculation methods of hygienic regulation of harmful substances in various environments. A.O. Loyt, M.B. Arkhipova. Tutorial. St. Petersburg: MAPO.; 1997: 40.
20. Vavilin VA Non-linear models of biological purification and self-purification processes in rivers. VA Vavilin. Moscow: Nauka, 1981: 160.
21. Balwinder Singh. Determination of BOD kinetic parameters and evaluation of alternate methods. A Thesis submitted to in partial fulfillment of the requirements for the award of degree of Master of engineering in environmental engineering by Balwinder Singh Under the supervision of Dr. Anita Rajor Dr. & A. S. Reddy (Deemed University). Patiala 147 004; 2004: 74.
22. Merkulova, NN, Mikhailov MD Methods of approximate calculations: a tutorial. 2<sup>nd</sup> ed., Pererab. and additional. Ed. A.V. Starchenko. Tomsk: TSU Publishing House; 2014: 764.
23. Abeleshev, D.G. Mathematical modeling of the processes of the river self-purification using the modification of the Herbert and Streeter-Phelps models. D.G. Abeleshev, M.D. Mikhailov. Tomsk State University. Tomsk, 2013: 51-2.
24. Mikhailov, M.D. On a modification of the Streeter-Fields model and its numerical realization using multiprocessor computer systems. M.D. Mikhailov. Bulletin of Tomsk State University. *Mathematics and mechanics*. 2010; 1: 39-46.
25. Rai R.K. Simplified method for Determination of BOD Constants. *Indian J. Environ. Protection*. 2000; 20 (4): 263-7.
26. Tyurina, O.V. New Approaches to the Problem of Accelerated Normalization of Chemical Substances. O.V. Tyurina, T.R. Zulkarnaev. *Medical bulletin of Bashkortostan*. 2010; 6 (5): 96-9.
27. Bereshko, I.N. Mathematical Models in Ecology: Textbook, Part 1. I.N. Bereshko, A.V. Betin. Kharkov: The national. Aerospace. University «Kharkov Aviation Institute», 2006; 68.
28. Gotovtsev, A.V. A new way to calculate BOD and the rate of biochemical oxidation on the basis of the closed system of Streeter-Phelps equations. A.V. Gotovtsev. *Water Resources*. 2014; 3: 325-9.
29. Gotovtsev, A.V. Determination of BOD and coefficient of biochemical oxygen consumption rate: monitoring, direct and inverse problems, formulas, calculations and tables. A.V. Gotovtsev. *Water Resources*. 2016; 43 (6): 633-47.
30. Novikov, Yu.V. *General ecology. Biocenology. Hydrobiology*. Yu.V. Novikov. M.: VINITI, 1977; 4: 219.

## References

1. Pimenova, E.V. Chemical methods of analysis in the monitoring of water bodies: textbook E.V. Pimenova. Perm: Publishing house of the Perm State Agricultural Academy; 2011: 138.
2. Hygiene, sanology, ecology: a textbook. ed. L.V. Vorobyovoy. SPb.: SpecLit; 2011: 255.
3. Ivanova E.A. Ecological problems of pesticide application. E.A. Ivanova, Yu.V. Kaluzhenkova. *News of the Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2008; 1 (17): 29-33.
4. Stepanova, L.P. Environmental assessment of the impact of agricultural production on the intensity of environmental pollution. L.P. Stepanova, A.N. Myshkin, E.A. Korenkova, M.N. Moiseeva. Bulletin of the Oryol State University. 2011; 2 (29): 36-7.
5. Melnikov, N.N. Pesticides: chemistry, technology and application. N.N. Melnikov. Moscow: Chemistry; 1987: 712.
6. Rakitsky, V.N. Results and perspectives of development of hygiene and toxicology of pesticides. V.N. Rakitsky. *Hygiene: Past, Present, Future*. M.; 2001: 79-81.
7. Gorbatov, V.S. Water Ecotoxicology of Pesticides and Modern Trends in Regulation of Their Treatment. V.S. Gorbatov, O.F. Filenko, M.V. Medyankin, T.V. Kononova, E.V. Oganosov. *Water MAGAZINE*. 2013; 69 (5): 10-4.
8. Zakharenko, V.A. The market of pesticides in Russia and the prospects of its development. V.A. Zakharenko. *Protection and quarantine of plants*. 2014; 11: 3-6.
9. Novikov, Yu.V. Methods for studying water quality in reservoirs. Yu. Novikov, K.O. Lastochkina, Z.N. Boldina. Ed. A. P. Shitskova. M.: Publishing house “Medicine”; 1981: 376.
10. Stepanova, L.P. Environmental assessment of the impact of agricultural production on the intensity of environmental pollution. L.P. Stepanova, A.N. Myshkin, E.A. Korenkova, M.N. Moiseeva. *Bulletin of the Oryol State University*. 2011; 29 (2): 36-7.