

УДК 551.48+627.133; 519.876; 504.064.2

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛОЙ РЕКИ ОТ ИСТОКА ДО УСТЬЯ

**Мазуркин П.М., Воронцова З.В.**

*Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола, Россия*

Для устойчивого развития территориального хозяйства необходимо иметь характеристику качества речной воды. И такую оценку, например, в динамике проведения санитарно-эпидемиологических испытаний речной воды, предлагается проводить по приведенным в статье примерам выявления статистических закономерностей.

По данным гидрометрических, гидрологических и санитарно-эпидемиологических измерений можно выявлять закономерности многолетних, годовых, сезонных, месячных, недельных и суточных переменных циклов и волновых колебательных возмущений.

**Ключевые слова:** малая река, загрязнение от истока до устья, закономерности динамики

Для устойчивого развития территориального хозяйства необходимо иметь характеристику качества речной воды. И такую оценку, например, в динамике проведения санитарно-эпидемиологических испытаний речной воды, предлагается проводить по приведенным в статье примерам выявления статистических закономерностей.

По данным гидрометрических, гидрологических и санитарно-эпидемиологических измерений можно выявлять закономерности многолетних, годовых, сезонных, месячных, недельных и суточных переменных

закономерности концентрации различных загрязняющих веществ в зависимости от расстояний от истока до точек наблюдения и вплоть до устья малой реки.

Населенные пункты меняют скачками концентрацию загрязняющих веществ в речной воде и появляется возможность оценивать моделями очищающей способности самой реки.

Водородный показатель  $pH$  вдоль реки Б. Ошла от истока до устья впадения в М. Кокшагу (около г. Йошкар-Ола) изменяется по формуле (рис. 1) по расстояниям  $L$  (км)

$$pH = 7,80804 \exp(-0,00057114L^{1,00046}) + 6,12102 \cdot 10^{-7} L^{5,24056} \exp(-0,14081L^{0,99993}). \quad (1)$$

циклов и волновых колебательных возмущений [2–12].

При этом закономерности загрязнения в основном зависят от весеннего половодья.

**Загрязнение притока М. Кокшаги населенными пунктами.** Протяженность исследуемых участков реки Б. Ошла, впадающей в М. Кокшагу перед Йошкар-олинским водозабором, составляет 44 км, при этом имеются шесть пунктов наблюдения [8]. Для 2004 г. были получены статистические

Моделирование показало, что пробы речной воды должны быть взяты и у истока реки. По формуле (1) получается, что расчетное значение  $pH_0=7,8$  у истока речки Б. Ошла. Первая составляющая (1) показывает естественную способность реки к самоочищению, а вторая составляющая характеризует влияние поселений и других мест загрязнения реки на водородный показатель.

Нефтепродукты в среднем (рис. 1) по реке Б. Ошла изменяются по формуле

$$\text{нефтепродукты} = 4,7517 \cdot 10^{-7} L^{5,52622} \exp(-0,34937L^{0,83164}). \quad (2)$$

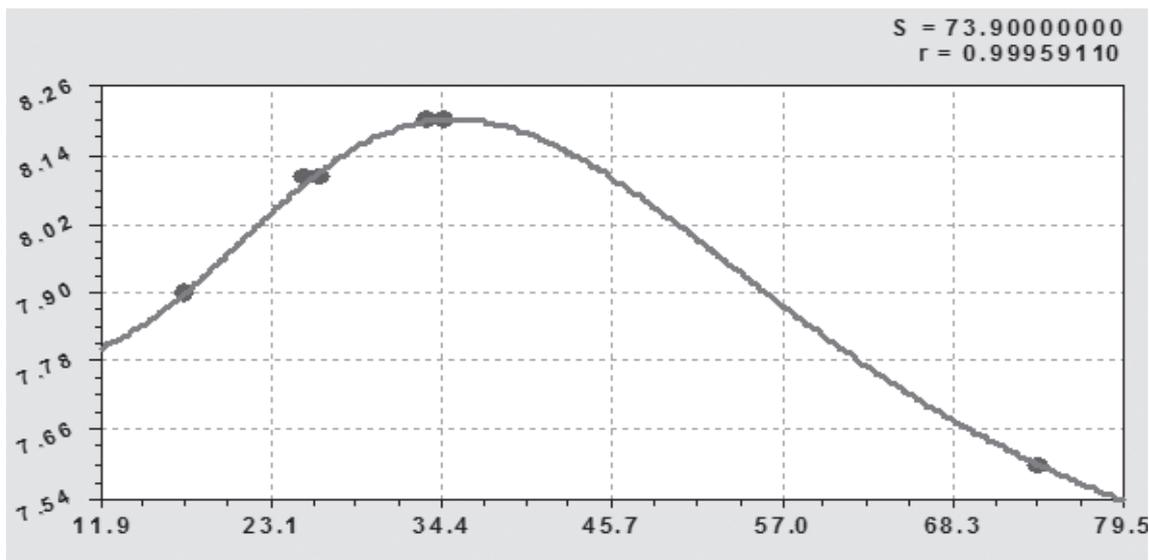


Рис. 1. Изменение по течению Б. Ошлы водородного показателя

Из распределения роя точек на рисунке 2 видно, что возможны две версии от-

Лучше выглядит график на рис. 3 изменения марганца вдоль реки по формуле

$$Mn = 7,32544 \cdot 10^{-9} L^{14,00647} \exp(-6,50298L^{0,44669}). \quad (3)$$

клонений от тренда: 1) замеры проведены неточно; 2) между Туршой и Люлпанами происходит самоочищение реки. В Головино было проведено только одно измерение, что явно недостаточно.

Спад по второй компоненте формулы (3) статистической закономерности происходит из-за самоочищения реки от марганца.

С высокой активностью изменяется концентрация хлоридов по формуле био-

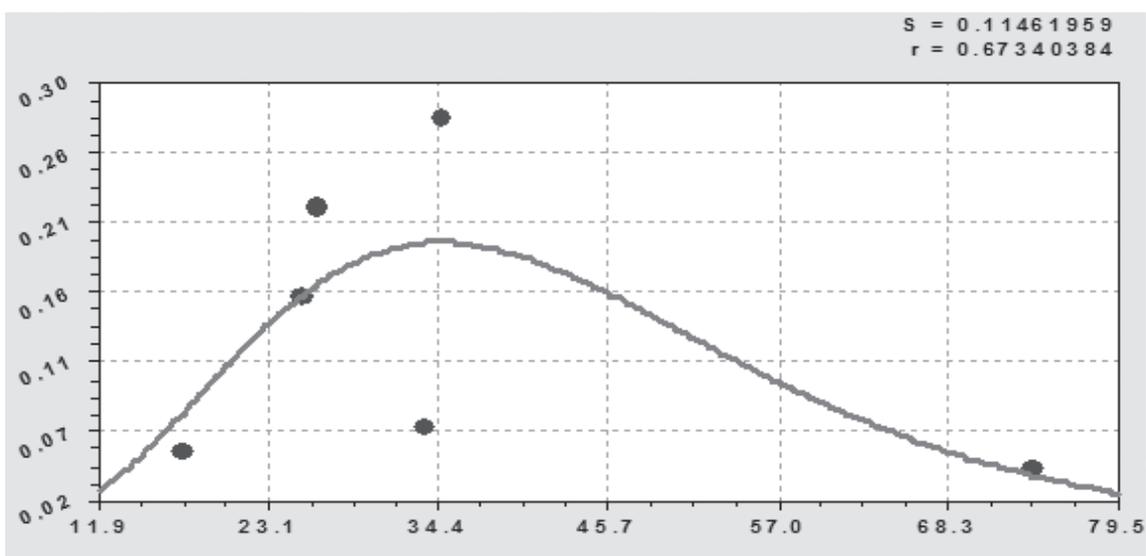


Рис. 2. Изменение по течению Б. Ошлы нефтепродуктов

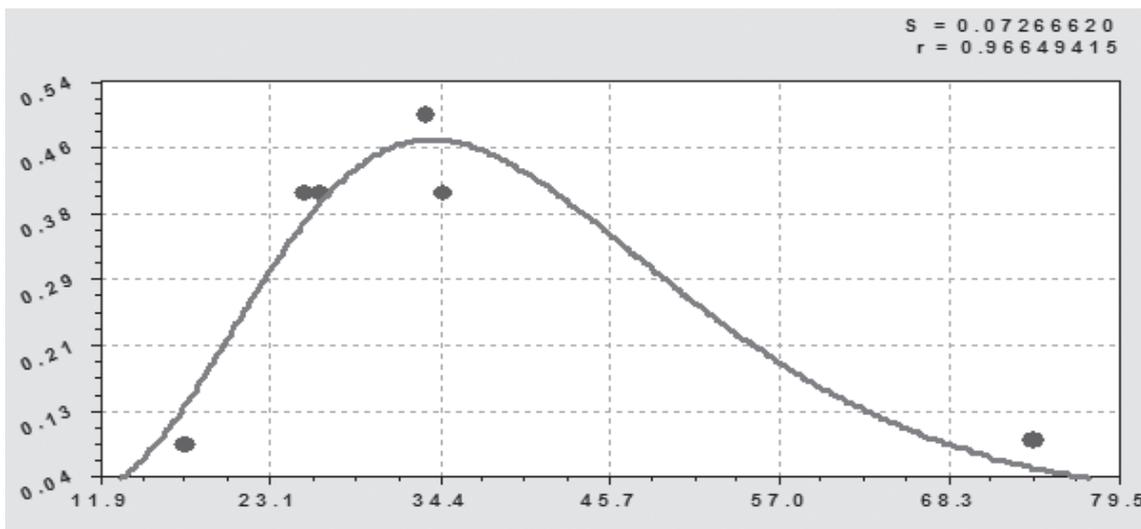


Рис. 3. Изменение по течению Б. Ошлы содержания марганца

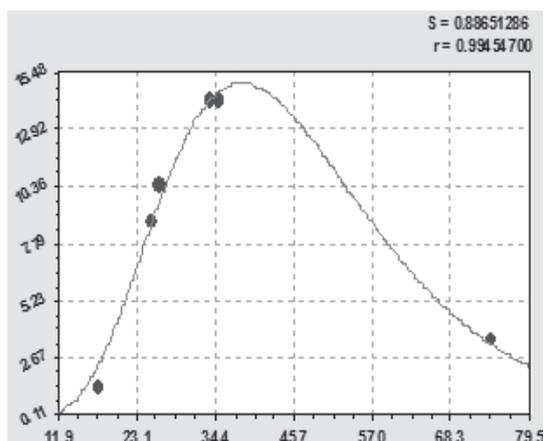
технического закона проф. П.М. Мазуркина [2–12] (рис. 4а) вида

$$Cl = 1,60923 \cdot 10^{+8} L^{27,8459} \exp(-49,63818L^{0,23683}). \quad (4)$$

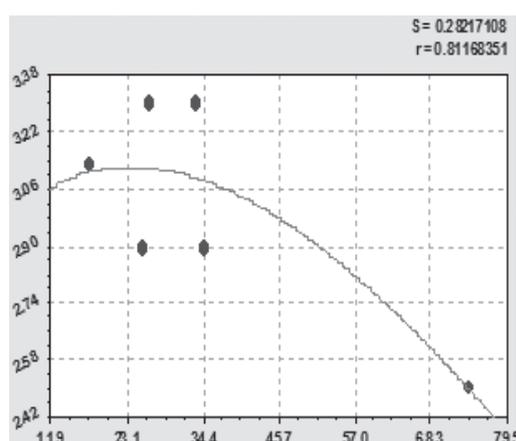
Нитраты изменяются вдоль реки Б. Ошла по закономерности (рис. 4б)

Изменение сульфатов идет с медленным спадом первой части (рис. 5а), что указывает на опасность Йошкар-олинскому водозабору (рис. 5) по выражению (6).

$$NH_3 = 2,64957L^{0,061399} \exp(-3,78835 \cdot 10^{-5} L^{2,10370}). \quad (5)$$



а)



б)

Рис. 4. Изменение по течению Б. Ошлы содержания хлоридов (а) и нитратов (б)

$$\text{сульфаты} = 30,1650 \exp(-0,000614667t) - 1,6505 \cdot 10^{+9} L^{65,8883} \exp(-95,65252L^{0,27295}). \quad (6)$$

Аналогично ведут себя взвешенные вещества (рис. 5б) по закономерности

$$\text{взв. вещества} = 39,3548 \exp(-0,0031697t) - 6,4899 \cdot 10^{-58} L^{56,2359} \exp(-1,71746L^{1,02512}). \quad (7)$$

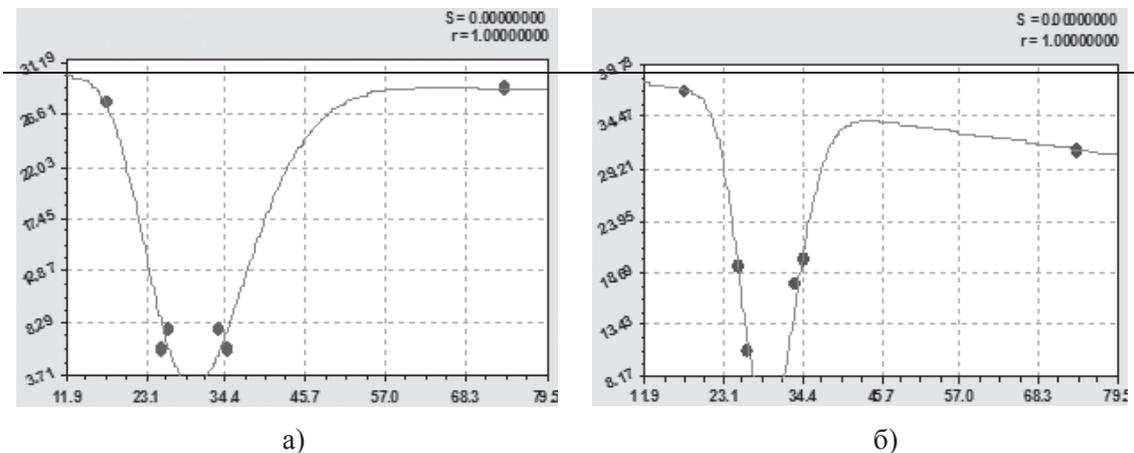


Рис. 5. Изменение по течению Б. Ошлы сульфатов (а) и взвешенных веществ (б)

Фосфаты (рис. 6а) и БПК<sub>5</sub> (рис. 6б) изменяются по формулам:

$$\text{фосфаты} = 2,81289 \cdot 10^{-5} L^{3,24723} \exp(-0,093495L^{1,00360}); \quad (8)$$

$$\text{БПК}_5 = 0,034294L^{1,64225} \exp(-0,043249L). \quad (9)$$

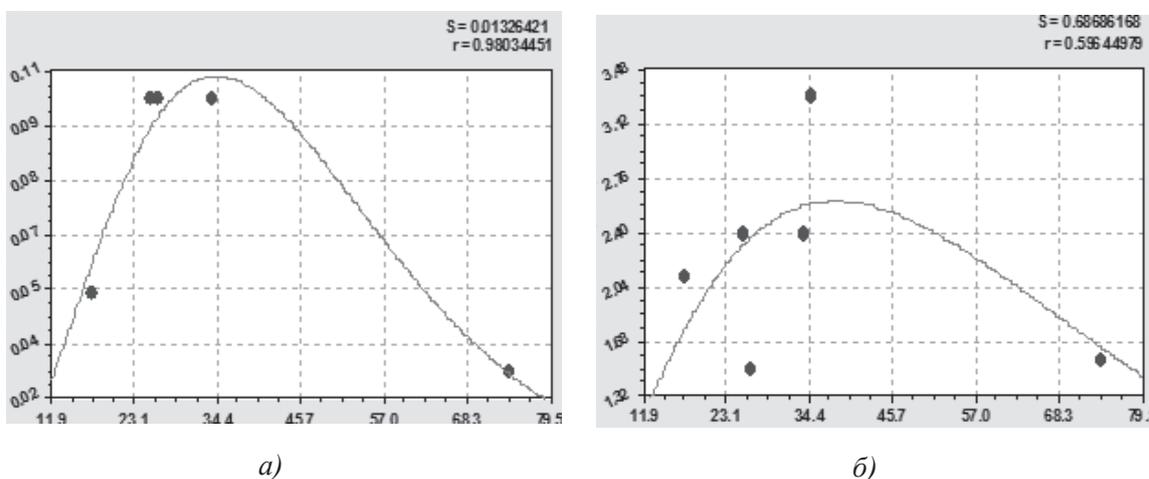


Рис. 6. Изменение по течению Б. Ошлы фосфатов (а) и концентрации БПК<sub>5</sub> (б)

Сухой остаток (рис. 7а) и обобщенный показатель ИЗВ (рис. 7б) имеют формулы:

$$\text{сух. остаток} = 637859,2L^{2,11967} \exp(9,57405L^{0,13121}); \quad (10)$$

$$\text{ИЗВ} = 13851144,0L^{18,29818} \exp(-35,02234L^{0,22900}). \quad (11)$$

По показателю ИЗВ возбудителем волнового возмущения в концентрации мно-

жества видов загрязнения является на реке Б. Ошла третий населенный пункт — БОС

Люльпаны. Выше него, в точке забора проб речной воды, максимальная относительная

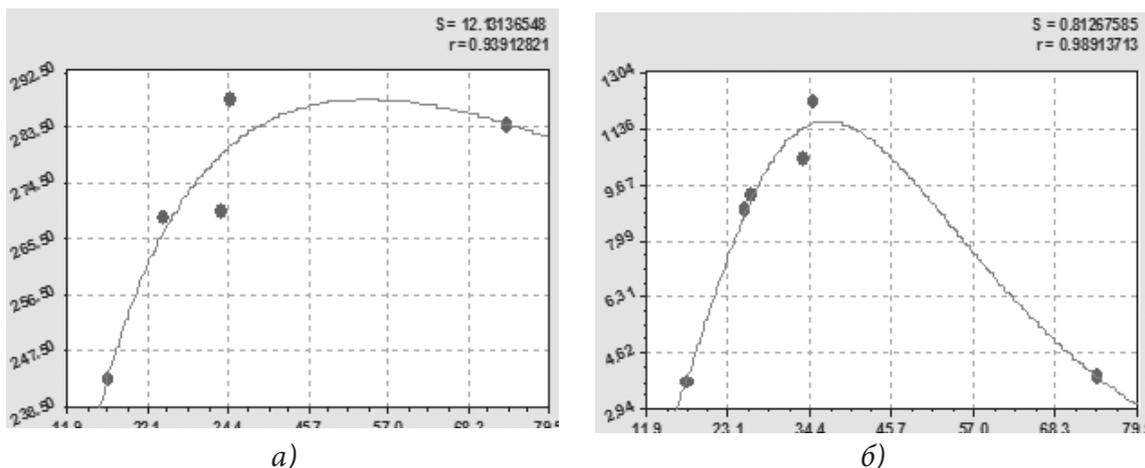


Рис. 7. Изменение по течению Б. Ошлы сухих остатков (а) и показателя ИЗВ (б)

погрешность отклонения измеренного ИЗВ от расчетного составляет 8,40 %. С увеличением количества точек взятия проб речной воды, причем непосредственно и у истока реки, появится возможность оценки вклада каждого из учтенных поселений на качество водопользования.

**Годичная динамика загрязнения до городского водозабора.** По данным 2002 г. рассмотрим модель динамики на примере

водородного показателя рН (остальные виды загрязнения моделируются по методу [3] аналогично) в постоянной точке взятия проб службой «Водоканал» г. Йошкар-Олы перед городским водозабором. От него речной водой снабжается более трети от общей потребности города. Начало отсчета  $t = 0$  для даты 01.01.2002.

Первые два члена (рис. 8) статистической модели имеют вид

$$pH = \sum_{i=1}^m pH_i, \tag{12}$$

$$pH_1 = 7,58279 \exp(-8,88999 \cdot 10^{-6} t^{1,70524}), \quad pH_2 = A_1 \cos(\pi t/p_1 + 0,17581),$$

$$A_1 = -0,12952 \exp(0,00075797 t^{1,48018}), \quad p_2 = 1,46723 + 0,061221 t^{1,02376}.$$

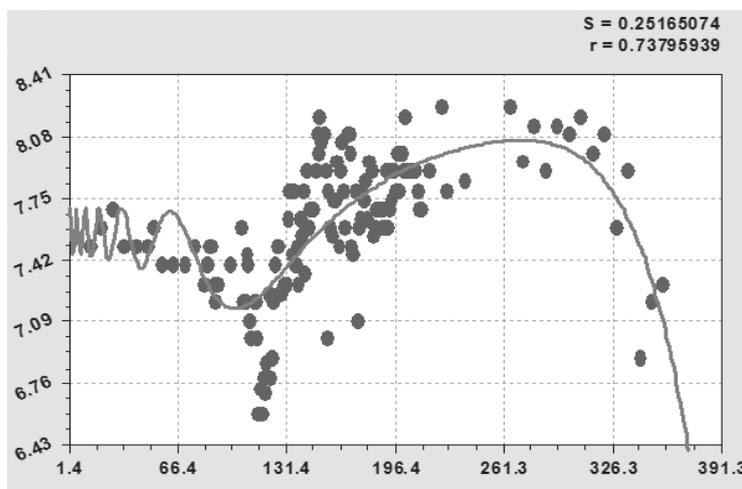


Рис. 8. График по первым двум составляющим статистической модели динамики водородного показателя перед городским водозабором г. Йошкар-Олы

По 147 измеренным в одном году значениям  $pH$  рой точек расположился так, как показано на рис. 8. График показывает, что с приближением весны загрязнение ведет себя как сжатая пружина.

Любая составляющая в формуле (12), если количество  $i$  составляющих больше двух, может быть записана в виде асимметричной вейвлет-функции [5–9] уединенного сигнала

$$pH_i = A_i \cos(\pi t / p_i - a_8), A_i = a_1 t^{a_2} \exp(-a_3 t^{a_4}), p_i = a_5 + a_6 t^{a_7}, \quad (13)$$

где  $t$  — время с момента начал измерений, в данном примере с 01.01.2002, сутки,  $a_1 \dots a_8$  — параметры череды гидрометеорологических и иных сигналов по модели (13).

В табл. 1 приведены параметры модели типа  $pH_i = f(t)$  по значимым составляющим. Поиск составляющих завершается с приближением остатков к точности измерений.

Таблица 1

Параметры сигнала (21) динамики водородного показателя в 2002 г.

№ $i$	Значения параметров статистической модели из асимметричных вейвлет-функций							
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
1	7.58279	0	8.88999e-6	1.70524	0	0	0	0
2	-0.12592	0	0.00075797	1.48018	1.46723	0.061221	1.02376	-0.17581
3	-2.7230e-25	14.79865	0.17946	0.93053	14.3024	0.00043597	1.85606	-3.68825
4	-8.15626e-8	3.51281	0.29143	0.79991	1.45561	0.022370	1.19064	5.42908
5	-2.1458e-25	14.99252	0.18290	0.94192	14.86714	-0.00019737	1.83443	2.00279
6	9.0721e-71	39.88342	0.35418	0.94598	4.14735	0.0018262	1.27544	-3.68641
7	-5.7993e-88	44.78259	0.19321	0.99983	54.7116	-0.14008	0.99995	-4.47964
8	-3.3084e-102	50.44087	0.18008	1.00691	5.12094	0.023203	0.99756	1.43738
9	-1.1532e-51	27.99035	0.10925	1.09361	12.8979	0.0068739	1.14933	4.57318
10	2.86279e-65	33.72585	0.15331	0.99987	298.752	0.85891	1.00044	-0.24634
11	0.014863	0.86425	0.39659	0.40436	2.84994	0.0055964	1.05753	2.08456
12	6.0359e-43	25.81854	0.16123	1.08484	2.87202	-0.00018127	1.16910	1.29391
13	2.3651e-21	11.63230	0.085858	1.00481	2.02362	0	0	-0.88415

После третьей составляющей оказалось, что внизу резко выделяются три точки (из-за залповых сбросов загрязнений в реку). Эти точки были в дальнейшем исключены.

Из графиков на рисунке 9 видно, что седьмая и восьмая составляющие «разорвали» летнюю межень. Поэтому с девятой составляющей модель показывает динамику  $pH$  от зимней межени до летней межени.

Максимальное значение остатков дости-

гает после всех выявленных 13 составляющих  $pH=0,3$ . Поэтому возможны и последующие волновые составляющие, но они уже будут показывать возмущения в конце весеннего половодья.

Известные методы гидрологических и санитарно-эпидемиологических расчетов требуют максимальных значений параметров загрязнения.

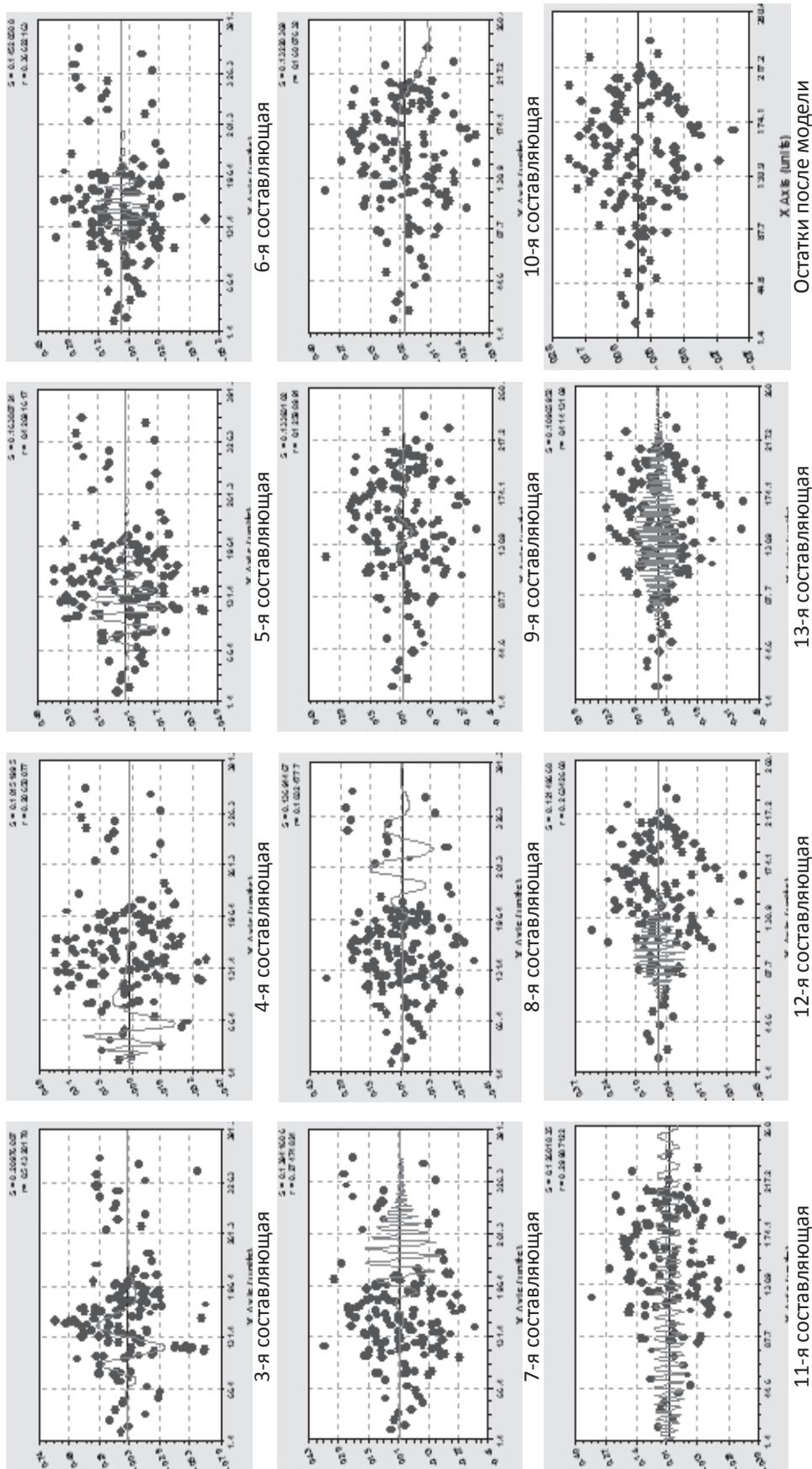


Рис. 9. Графики ветилет-сигналов суточной динамики водородного показателя

По максимуму значений водородного показателя (рис. 10) была получена формула и др. Под ред. Н.Н. Лебедева. — М.: Недра, 1977. — 384 с.

$$pH_{\max} = 7,65408 \exp(-6,05556 \cdot 10^{-5} t^{1,53810}) + 4,68627 \cdot 10^{-8} t^{3,77261} \exp(-0,012820 t^{0,98619}). \quad (14)$$

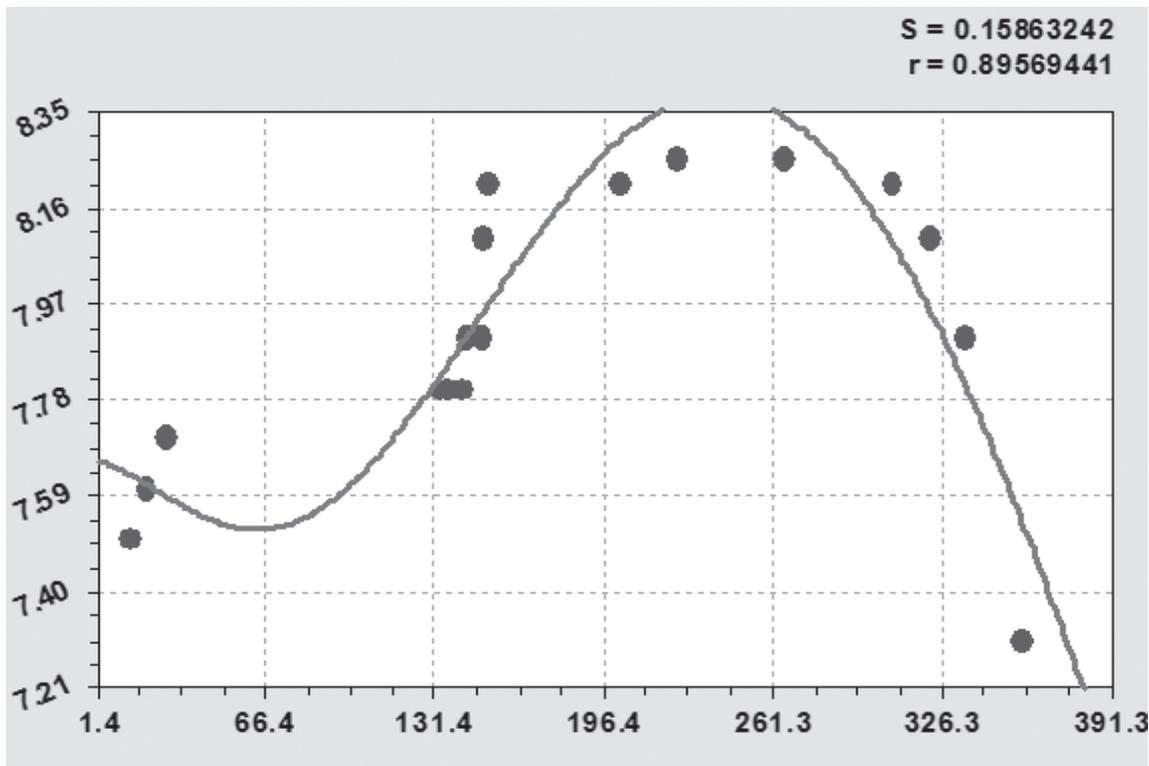


Рис. 10. График модели по максимальным значениям годичной динамики pH перед городским водозабором

**Выводы.** Сравнение с динамикой уровня реки показывает различный лаг запаздывания у видов загрязнения. Тогда грубыми расчетами от измеренных в данном году уровней можно дать прогноз на следующий год по максимумам загрязнения при условии, что до следующего паводка не будут приняты меры по снижению сбросов.

Выявление закономерностей загрязнения от истока до устья малых притоков позволит в последующем создать электронные карты и ГИС для управления речной сетью.

#### Список литературы:

1. Практикум по курсу прикладной геодезии [Текст] / Н.Н. Лебедев, В.Е. Новак, Г.П. Левчук — М.: Недра, 1977. — 384 с.
2. Мазуркин, П.М. Статистическая гидрология [Текст] / П.М. Мазуркин, В.И. Зверев, А.И. Толстухин. — Учебное пособие. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. — 274 с.
3. Мазуркин, П.М. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: Учебное пособие [Текст] / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. — 292 с.
4. Мазуркин, П.М. Закономерности загрязнения природы [Текст] / П.М. Мазуркин, Е.А. Щербакова: Научное издание. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. — 62 с.
5. Мазуркин, П.М. Статистическая экология: Учебное пособие [Текст] / П.М. Мазуркин. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. — 308 с.
6. Мазуркин, П.М. Геоэкология: Закономерности современного естествознания: Научное

изд. [Текст] / П.М. Мазуркин. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. — 336 с.

7. Мазуркин, П.М. Многолетнее ежесуточное загрязнение реки Волга / П.М. Мазуркин, Л.Г. Гусарева [Текст] // Тезисы докладов участников 2-ой секции Конгресса 10-го юбилейного Международного научно-промышленного форума «Великие реки — 2008». — Н. Новгород: ВВБВУ, 2008. — С. 72–74.

8. Мазуркин, П.М. Концентрация загрязнения от истока до устья реки / П.М. Мазуркин, З.В. Макарова [Текст] // Тезисы докладов участников 2-ой секции Конгресса 10-го юбилейного Международного научно-промышленного форума «Великие реки — 2008». — Н. Новгород: ВВБВУ, 2008. — С. 74–76.

9. Мазуркин, П.М. Определение экологического состояния речной воды по обобщенному показателю загрязненности [Текст] / П.М. Мазуркин, А.М. Сибгатуллина // Водное хозяйство России. — 2008. — № 1. — С. 37–46.

10. Пат. 2269775 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/18 (2006.01) G 01 N 21/64 (2006.01).

Способ измерения загрязнения реки сточными водами [Текст] / Мазуркин П.М., Андреева Л.Г., Иванова Т.А., Сибгатуллина А.М., Абрамова Е.В., Гончарова Ж.А., Моисеева Т.А. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. тех. ун-т. — №2004105902/12; заявл. 27.02.04; опубл. 10.02.06, Бюл. № 4.

11. Пат. 2293290 Российская Федерация, МПК G 01 C 13/00 (2006.01). Способ измерения площади водосбора реки по длине и падению притоков [Текст] / Мазуркин П.М., Иванов А.А., Михайлова С.И., Волкова Л.О. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. тех. ун-т. — №2005101055/28; заявл. 18.01.2005; опубл. 10.02.2007, Бюл. № 4.

12. Солдатова, В.А. Динамика твердых отходов: Научное издание [Текст] / В.А. Солдатова, П.М. Мазуркин. Под ред. проф. П.М. Мазуркина. — Чебоксары: МАДИ (ГТУ), Волжский филиал, 2006. — 257 с.

Статья подготовлена и опубликована при поддержке гранта 3.2.3/4603 МОН РФ.

---

## POLLUTION LAWS SMALL RIVER FROM SOURCE TO MOUTH

P.M. Mazurkin, Z.V. Voroncova

*Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, Russia*

**For the sustainable development of the territorial economy should have the characteristics of river water quality. And such an assessment, for example, in the dynamics of sanitary and epidemiological tests of river water, it is proposed to hold for the examples given in the article to identify statistical regularities.**

**According to the hydrometric, hydrological and epidemiological measurements can reveal patterns of perennial, annual, seasonal, monthly, weekly and daily cycles of variables and wave vibrational disturbances.**

**Keywords: low river pollution from its source to its mouth, the laws of dynamics**