

УДК 556.3: 519.876

## СРАВНЕНИЕ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ОПИСАТЕЛЬНОЙ СТАТИСТИКИ БОЛЬШОГО И МАЛОГО ВОДОТОКОВ РОДНИКА «ХРУСТАЛЬНАЯ ЕЛЬ»

Мазуркин П.М., Тарасова Е.И.

*Поволжский государственный технологический университет,  
Йошкар-Ола, e-mail: kaf\_po@mail.ru*

Родники становятся индикаторами загрязнения подземных вод в связи с их исключительной чувствительностью к воздействию техногенных факторов. В статье приведено распределение изученных и облагороженных родников по сельсоветам Куженерского района Республики Марий Эл. В роднике «Хрустальная ель» имеется много выходов подземных вод, из которых были выбраны два водотока: малый и большой. Водоток любой мощности у одного и того же родника можно измерять по времени наполнения, но при этом для водотоков нужно подбирать разные мерные сосуды. Сравнительные эксперименты показали, что эксперимент на крупном водотоке имеет очень высокую погрешность из-за турбулентности водотока и значительного разброса значений расхода родниковой воды. Измерения необходимо проводить на малом водотоке.

**Ключевые слова:** родники, распределение, водотоки родника, расход воды, сравнение, описательная статистика, закономерности

## COMPARISON ON INDICATORS OF DESCRIPTIVE STATISTICS BIG AND SMALL WATERCOURSE OF THE SPRING «THE CRYSTAL SPRUCE»

Mazurkin P.M., Tarasova E.I.

*Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola, e-mail: kaf\_po@mail.ru*

Springs become indicators of pollution of underground waters because they have an exclusive sensitivity to influence of technogenic factors. In this paper we consider distribution of the studied and improved springs on the Village Councils of the Kuzhenersky area of the Republic of Mari El. In a spring «The crystal fir-tree» is many exits of underground waters, we chose two waterways: small and big. The waterway of any power at a spring can be measured on filling time, but thus for water currents it is necessary to select different measured vessels. Comparative experiments showed that experiment on a large waterway has very high error because of turbulence of a waterway and a wide spacing of values of a consumption of spring water. Measurements need to be carried out on a small waterway.

**Keywords:** springs, distribution, spring waterways, consumption of water, comparison, descriptive statistics, regularities

Из-за ускоренного нарастания антропогенной нагрузки на природную среду наукой все большее внимание уделяется загрязнению природных вод, яркими представителями которых являются родники. Они становятся индикаторами загрязнения подземных вод в связи с их исключительной чувствительностью к воздействию техногенных факторов. При экологическом мониторинге родников оцениваются не только санитарно-техническое состояние площади водосбора, но и токсикологические и физико-химические показатели родниковой воды [1].

Питание большинства родников ныне происходит за счет вод, наиболее загрязненных из-за урбанизации территорий, что сказывается на их экологическом состоянии. В частности, по физико-химическим характеристикам воды родников можно судить о загрязнении питающих их грунтовых вод, а также о степени антропогенной нагрузки на территорию [2].

В табл. 1 приведено распределение изученных и облагороженных родников по сельсоветам [5]. Доля облагороженных род-

ников составляет  $100 \cdot 58 / 106 = 54,72\%$ . По остальным муниципальным образованиям РМЭ показатель намного ниже. В целом, как показало сравнение с другими регионами России, уход за родниками в Куженерском районе выше.

Задачи, вытекающие из этих экологических проблем:

- привлечение внимания персонала организаций, учебных заведений и всего населения к проблемам сбора и утилизации отходов, а также приведение мест захоронения отходов к состоянию, отвечающему самым строгим санитарным и экологическим требованиям;

- участие населения, учащихся учебных заведений в разъяснительной работе по сохранению благоприятной окружающей среды;

- практическое участие населения в работе по санитарной очистке и озеленению территорий, очистке зеленых и водоохраных зон и сборов отходов и т.д.

Для получения высококачественной воды и предупреждения ее загрязнения, родники должны обстраиваться каптажа-

ми, то есть сооружениями для сбора воды. Место восходящего ключа расчищается до более твердого подстилающего слоя грунта

в форме окружности, полукруга, квадрата в зависимости от твердости и сыпучести породы (СанПин 2.1.4.1175-02).

Таблица 1

Исходные данные по родникам Куженерского района

Наименование сельского совета	Численность родников, шт.				Доля ухода $k$ , %
	Ранг $r$	Всего $N_{\phi}$	Ранг $r$	Облагорожено $N_{\text{уф}}$	
Тумьюмучашский	0	38	0	10	26,32
Большеляждурский	2	15	0	10	66,67
Иштымбалский	5	7	2	7	<b>100,00</b>
Русскошойский	1	20	2	7	35,00
Салтакьяльский	8	4	5	1	25,00
Токтайбелякский	3	9	1	8	88,89
Шорсолинский	6	6	3	6	<b>100,00</b>
Шойшудумарский	4	8	4	3	37,50
Юледурский	8	4	4	3	75,00
пос. Куженер	7	5	4	3	60,00
Всего:	–	116	–	58	50,00

На месте расчистки дно и откосы покрываются гравием, щебнем, бутовым камнем. Чтобы не допускать смешивания к родниковой воде поверхностных вод, следует применять водонепроницаемые материалы, устраивать замощения из глины.

Для отвода воды от каптажа оборудовать замощенные лотки, трубы. Расчистку родников производить вручную. Не допускать изменения русла родника, не нарушать его выход.

Данные табл. 1 показывают, что полностью ухожены все родники на территориях Иштымбалского и Шорсолинского сельсоветов, а наименее ухоженными (всего 25 %) являются родники на территории Салтакьяльского сельсовета. По всему Куже-

нерскому району облагоустроено всего 50% родников. Но это значение доли ухода за родниками немалый даже на уровне регионов России.

Статистические данные, полученные в результате сплошного перечёта родников, для выявления биотехнических закономерностей рангового распределения были обработаны в программной среде CurveExpert Version 1.38 и CurveExpert Version 1.40.

Ранговое распределение количества родников по административным образованиям, причем в данной брошюре без учета площади их территории и особенностей рельефа местности, определяет уравнение закона гибели (рис. 1, 2)

$$N = 37,998342 \exp(-0,94751616r^{0,39085421}), \quad (1)$$

где  $r$  – ранг убывания количества родников по вектору экологического предприя-

ка предпочтительности «лучше → хуже»,  $r = 0, 1, 2, \dots$

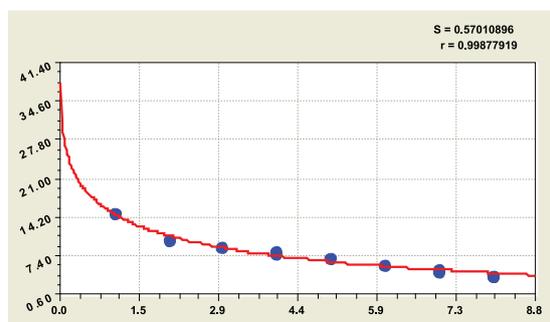


Рис. 1. Изменение численности родников

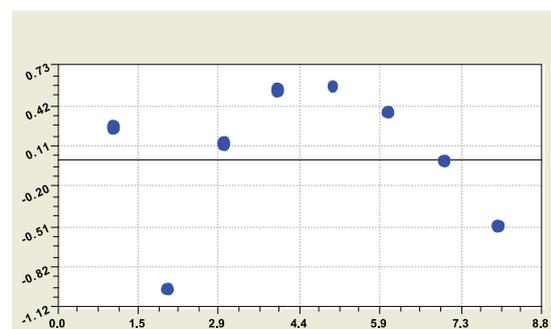


Рис. 2 Остатки после модели (1)

Убывание численности показывает отрицательное экологическое ухудшение территории по наличию природных родников. С коэффициентом корреляции 0,9988 (в правом верхнем углу графика) уравнение устойчивого закона определяет пространственное распределение родников. Остатки дают возможность получения волновой составляющей к модели (1).

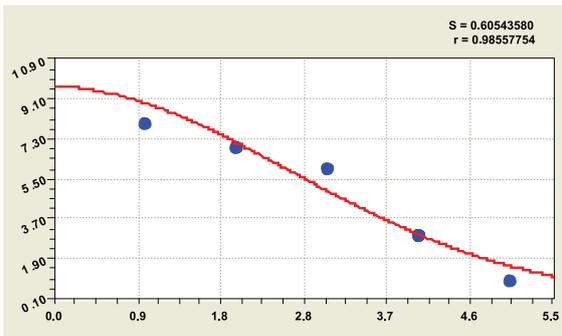


Рис. 3. График распределения облагоороженных родников по формуле (2)

Численность облагоороженных родников показывает антропогенное воздействие, т.е. благоустройства родников, определяется сложным по конструкции уравнением (рис. 3, 4). Первая составляющая (рис. 3) получает формулу

$$N = 9,65211 \exp(-0,077332 r^{1,95308}). \quad (2)$$

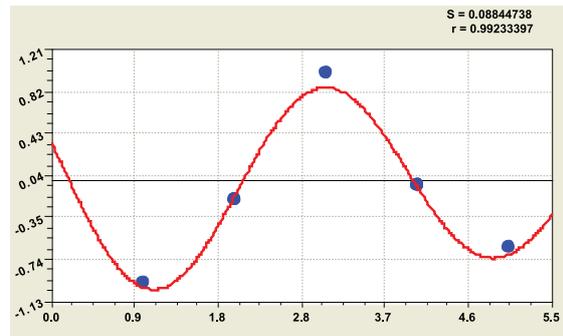


Рис. 4. Колебательное возмущение численности облагоороженных родников Куженерского района

Вторая, причем волновая, составляющая получается по остаткам от формулы (2)

$$N = 1,13014 \exp(-0,0912x) \cos(\pi r / (1,944 - 0,0136r) + 1,25698). \quad (3)$$

Следующим шагом моделирования идентифицируем закономерность рангового рас-

пределения численности облагоороженных родников по модели с двумя составляющими:

$$N = 9,6158 \exp(-0,0759 r^{1,9337}) + 0,9959 \exp(-0,03163r) \cos(\pi r / (1,9504 - 0,03099r) + 1,17482). \quad (4)$$

Конечное уравнение лучше всего записать через амплитудно-частотные характеристики колебания (АЧХ), причем для повышения адекватности параметры модели записываем с пятью значащими цифрами, поэтому получаем формулу (рис. 5):

$$\begin{aligned} N_y &= N_{y1} + N_{y2}; \quad (5) \\ N_{y1} &= 9,61583 \exp(-0,07591 r^{1,93374}); \\ N_{y2} &= A \cos(\pi r / p + 1,17482); \\ A &= 0,99600 \exp(-0,031627r); \\ p &= 1,95037 - 0,030998r, \end{aligned}$$

где  $N_y$  – количество облагоороженных родников, шт.;  $N_{y1}$ ,  $N_{y2}$  – первая и вторая составляющие модели (5), шт.;  $r$  – ранг распределения численности родников по сельским советам,  $r = 0, 1, 2, \dots$ ;  $A$  – амплитуда (половина) колебательного возмущения численности родников по территории сельских советов Куженерского района (в других формулах физический смысл меняется в за-

висимости от размерности зависимого показателя, то есть ординаты), шт.;  $p$  – полупериод волны колебательного возмущения антропогенного влияния экологического поведения жителей сельских советов Куженерского района Республики Марий Эл (в других формулах полупериод получает физический смысл по размерности оси абсцисс, то есть влияющей переменной), ранг.

Остатки после расчетов по модели (2.5) приведены на рис. 5, а результаты сопоставительных расчетов между фактическими и расчетными значениями численности родников приведены в данных табл. 2.

Остатки приближаются к нулю. Доверительная вероятность модели (2.5) по максимальному остатку по данным табл. 2 будет равна  $100 - \Delta_{\max} = 100 - 9,61 \approx 90,4\%$ .

Из данных табл. 2 видно, что остатки  $\varepsilon = N_{yф} - N_y$  – очень малые, а относительная погрешность  $\Delta = 100\varepsilon / N_{yф}$  составляет менее 0,05%. Модель (2.5) распределения родников имеет хорошую доверительную вероят-

ность 99,95%, что указывает на наличие четкой естественной (по первой составляющей модели) и антропогенной (вторая и после-

дующие не волновые и/или волновые члены модели) составляющей закономерности (2.5) в строении родника и родниковой сети.

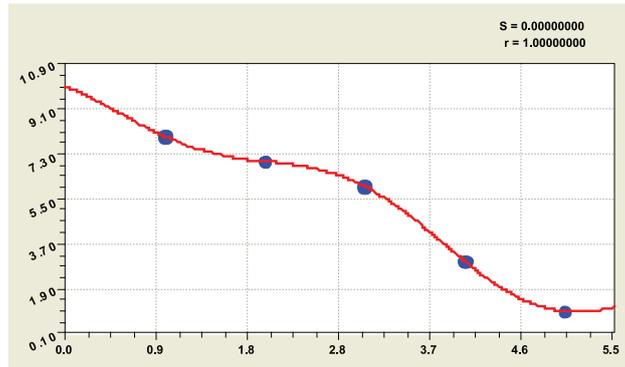


Рис. 5. Общий график распределения облагороженных родников по рангам

Таблица 2

Результаты расчета рангового распределения облагороженных родников Куженерского района Республики Марий Эл

Наименование сельского совета	Ранг численности $r$	Облагор. фактич. $N_{yf}$ , шт.	Расчетные значения по модели (5)					
			$N_y$ , шт.	$\varepsilon$ , шт.	$\Delta$ , %	$N_{y1}$ , шт.	$N_{y2}$ , шт.	Кэфф. динам. $k_d$
Тумьюмучашский	0	10	10,0	-0,0009	-0,01	9,6	0,4	0,0400
Большеляждурский	0	10	10,0	-0,0009	-0,01	9,6	0,4	0,0400
Иштымбальский	2	7	7,0	0,0010	0,01	7,2	-0,2	-0,0271
Русскошойский	2	7	7,0	0,0010	0,01	7,2	-0,2	-0,0271
Салтакьяльский	5	1	1,0	<b>0,0005</b>	0,05	1,7	-0,7	<b>-0,4274</b>
Токтайбелякский	1	8	8,0	-0,0003	0,00	8,9	-0,9	-0,1024
Шорсолинский	3	6	6,0	0,0001	0,00	5,1	0,9	0,1777
Шойшудумарский	4	3	3,0	-0,0008	-0,03	3,2	-0,2	-0,0552
Юледурский	4	3	3,0	-0,0008	-0,03	3,2	-0,2	-0,0552
Пос. Куженер	4	3	3,0	-0,0008	-0,03	3,2	-0,2	-0,0552

В табл. 2 рассчитан коэффициент динамичности поведения популяций родников.

Полнота ухода за родниками из данных табл. 1 показывает долю ухода за всеми родниками на всей территории.

Получено уравнение (рис. 6) тенденции (тренда) вида

$$k = N_y / N = 0,99094 \exp(-0,10302r^{1,34597}). \quad (6)$$

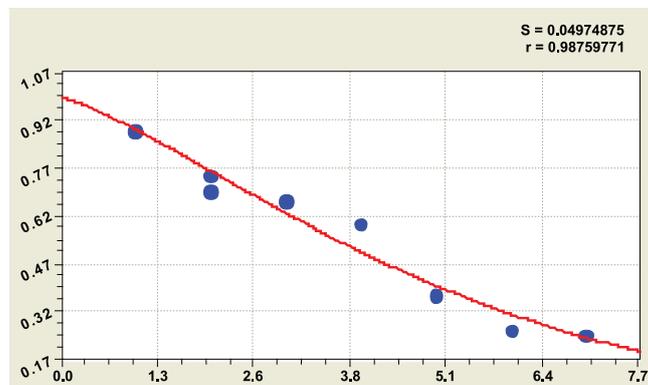


Рис. 6. График распределения доли облагороженных родников по рангам

Как уже указывалось, худшие экологические условия для функционирования родников созданы на территории Салтакьяльского сельсовета (доля благоустроенных родников составляет всего 25% от общего числа всех родников на территории).

Поэтому по данным табл. 1 и показатель стохастичности поведения населения (коэффициент динамичности, определяемый по простой формуле

$$k_d = (N_{yf} - N_{y1}) / N_{y1}, \quad (7)$$

наиболее высокий и равен 0,4274 с отрицательным знаком (кризис в уходе за родниками).

Коэффициент динамичности вычисляется для каждого члена распределения и по максимальному значению показателя можно сравнить между собой разные

ранговые распределения, то есть разные территории муниципальных образований.

Куженерский район можно назвать настоящим родниковым краем. Проходящий по территории района Вятский увал создает уникальное движение подземных вод на своих склонах, из-за чего в этих местах много источников, ключей ручьев. На территории поселка Куженер находится немало мелких родников. Одним из них является «Хрустальная ель», который находится в долине реки Немда, под Якайсуртом в овраге. Его кристально-чистая вода по душе многим жителям. В роднике «Хрустальная ель» имеется много водотоков в виде выходов подземных вод, из которых были выбраны два водотока: малый и большой.

На обоих проводили сравнительные эксперименты (табл. 3).

**Таблица 3**

Сравнение статистических параметров расхода воды двух водотоков

Статистические показатели	Формула	Результат расчета большого водотока	Результат расчета малого водотока
Количество наблюдений	$n$	100	130
Размах $R$	$R = x_{\max} - x_{\min}$	2,72 л/с	10 мл/с
Минимум $x_{\min}$		2,00 л/с	9,2 мл/с
Максимум $x_{\max}$		4,72 л/с	19,2 мл/с
Среднее арифметическое $\bar{x}$		2,91 л/с	12,60 мл/с
Ср. линейное отклонение $\bar{d}$	$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  x_i - \bar{x} $	0,0029	0,000154
Ср. квадрат. отклонение $\sigma$	$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	8,70	5,631
Коэффициент вариации $V_\sigma, \%$	$V_\sigma = 100\sigma / \bar{x}$	299,28	44,68
Ср. ошибка выборки $m_\sigma$	$m_\sigma = \sigma / \sqrt{n}$	0,87	0,49
Показатель точности $P, \%$	$P = V_\sigma / \sqrt{n}$	29,93	3,92

Для сравнения двух экспериментов, один из которых проведен с 14.07.11 по 25.07.11 в течение около 11 суток, а второй – с 23.07.12 по 7.10.12 в течение 76 суток, были рассмотрены показатели вариации крупного и малого водотоков изучаемого родника (табл. 1).

Для оценки точности результатов проводим расчет показателей колеблемости признака в программной среде Excel по известным формулам.

Размах значений расхода воды в малом водотоке в  $2,72 \cdot 1000 / 10 = 272$  раза меньше по сравнению с крупным водотоком. При этом среднее арифметическое уменьшилось в  $2,91 \cdot 1000 / 12,60 = 231$  раз.

В экологических измерениях допускается коэффициент вариации только до 30%. В результатах расчета большого водотока коэффициент вариации равен 299,28%, т.е. не соблюдается условие  $V_\sigma = 299,28 \gg [V_\sigma] = 30\%$ . Коэффициент вариации относительно среднего арифметического значения показателя больше 30%, поэтому этот показатель не приемлем для дальнейшего статистического анализа. Из-за этого переходим на методы идентификации устойчивых законов [3–5], при идентификации которых в программную среду помещаются все повторы измерений, то есть все 100 чисел.

На малом водотоке показатель расхода воды имеет относительно высокий коэффициент вариации, но всё же не соблюдается общеизвестное условие, так как в нашем случае  $V_{\sigma} = 44,68 > [V_{\sigma}] = 30 \%$ . Это означает, что на малом водотоке в 6,7 раз уменьшился коэффициент вариации (показатель изменчивости) по сравнению с крупным водотоком. Этот факт доказывает, что малые водотоки родника дают гораздо меньший разброс измерений по сравнению с крупными водотоками.

Погрешность или показатель точности на малом водотоке уменьшился в  $29,93/3,92 = 7,64$  раза. При этом показа-

тель 3,92% у малого водотока стал меньше допустимого уровня 5% в технических экспериментах.

А на крупном водотоке погрешность больше по сравнению с требуемым качеством технического эксперимента почти в шесть раз. Однако по коэффициенту вариации даже на малом водотоке требуется, вместо вычисления среднего арифметического значения, выявлять нелинейные закономерности из-за того, что  $44,68 > 30 \%$ .

Для сравнения расходов воды в малом и большом водотоках одного родника получаем модели динамики расхода воды, соответственно, для крупного и малого водотоков:

$$q = 145,51194 \exp(-2,83261\tau^{0,26095}); \quad (8)$$

$$q = 9,76040 + 5,036969 \exp(-0,025139\tau) \times \cos\left(\pi \frac{\tau}{(181,60792 - 1,62653\tau)} - 0,089614\right). \quad (9)$$

На рис. 7 показаны для сравнения два графика расхода воды.

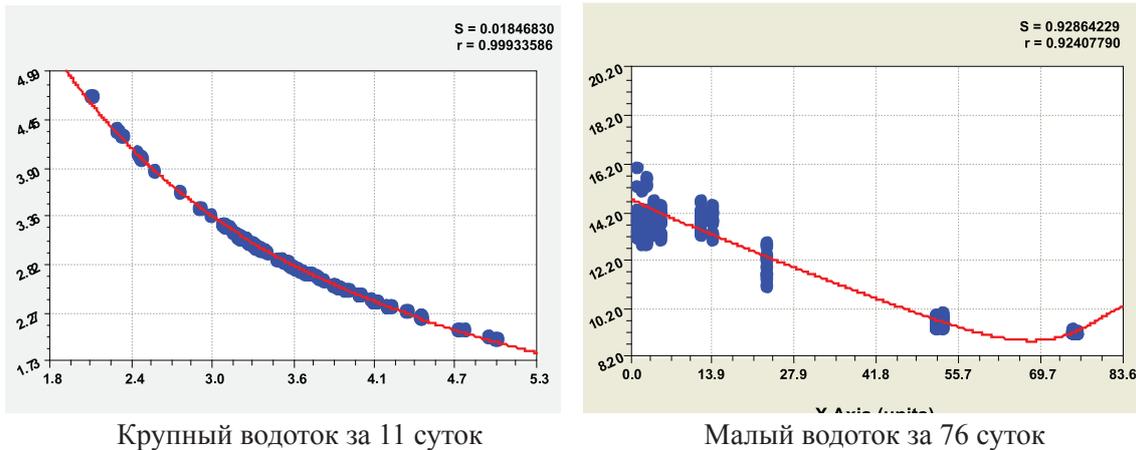


Рис. 7. Сравнение расходов воды в двух водотоках одного родника

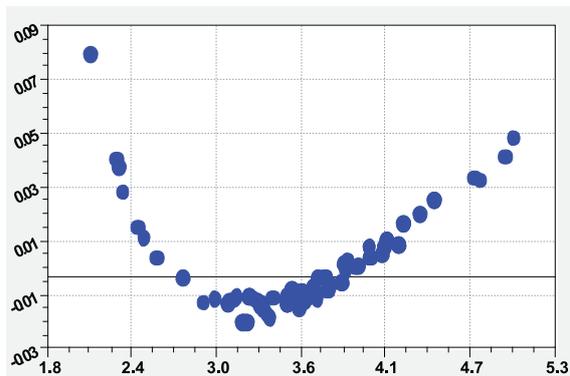
Из них видно, что большой водоток имеет только спад расхода. Это произошло из-за малого периода измерений всего около 11 суток. Малый водоток измерялся в течение 76 суток, то есть почти в семь раз больше по продолжительности. Поэтому график на рис. 7 для малого водотока получился волнообразным.

Короткий период измерений дает высокую адекватность моделирования, коэффициент корреляции крупного водотока равен 0,9993. Поэтому такие эксперименты нужны при определении дебита всего родника по расходам воды из нескольких водотоков.

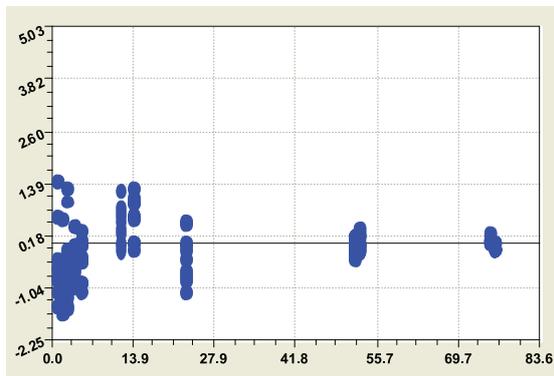
Из-за высокой чувствительности малого расхода воды к изменениям во времени и повышенной точности измерений секундомером (наполнение 3,53 с у большого и 82,44 с у малого водотока) коэффициент корреляции 0,9241 незначительно, по сравнению с крупным водотоком, уменьшился. Однако уровень адекватности модели расхода воды у малого водотока остался в группе сильнейших факторных связей. Это факт указывает на то, что водоток любой мощности у одного и того же родника можно измерять по времени наполнения, но при этом для водотоков нужно подбирать

разные мерные сосуды с различным объемом наполнения.

На рис. 8 показано сравнение остатков (абсолютной погрешности) от моделей (8) и (9).



Остатки от модели (8) расхода воды большого водотока



Остатки от модели (9) расхода воды малого водотока

Рис. 8. Сравнение остатков от статистических моделей (8) и (9)

Максимальная погрешность формулы (8) в  $0,88 \cdot 1000 / 2,00 \approx 440$  раз больше, чем наибольшая абсолютная погрешность формулы (9).

Соответственно, закономерность с волновыми составляющими в сотни раз точнее по сравнению с трендом в виде устойчивого закона.

Основные компоненты жизнеобеспечения человека – чистый воздух и чистая питьевая вода – воспринимаются как обязательные естественные условия жизни. И по таким показателям, как запах, вкус, прозрачность, цветность, родниковая вода обычно лучше, чем хлорированная водопроводная, поэтому надо постоянно заботиться об этой воде.

Таким образом, родник нуждается в охране, причем не только выход воды, но и его водосборная площадь (например, овраг).

Анализ научно-технической информации показал, что в основном результаты измерений показателя качества родников и других водных источников приводятся в публикациях в виде таблиц с числами. Чаще всего, кроме чисел показываются качественные характеристики изучаемого показателя, например: «–» – отсутствие

измерений; «отс.» – из-за применения грубых приборов и инструментов малые значения показателя не регистрируются; «<» – знак, показывающий без всякого измерения концентрацию загрязнения по виду менее ПДК и т.д.

Сравнительные эксперименты показали, что эксперимент на крупном водотоке имеет очень высокую погрешность из-за турбулентности водотока и значительного разброса значений расхода родниковой воды. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо продолжить наблюдения на малом водотоке.

#### Список литературы

1. Владимирова А.Н. Экологические аспекты использования и охраны водных ресурсов. – М.: Мысль. 1983. – 159 с.
2. Проблемы охраны окружающей природной среды и природопользования // Сб. статей; под ред. Н.А. Буркова, В.В. Ширяева. – Киров: 1998. – С. 98–118.
3. Мазуркин П.М. Статистическая геоэкология: Закономерности распределения уникальных природных объектов: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 48 с.
4. Мазуркин П.М. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учеб. пос. / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 292 с.
5. Мазуркин П.М., Тарасова Е.И. Закономерности показателей качества воды родников. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. – 131 с.