

УДК 556.3: 519.876

**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
КРУПНОГО ВОДОТОКА РОДНИКА «ХРУСТАЛЬНАЯ ЕЛЬ»****Мазуркин П.М., Тарасова Е.И.***Поволжский государственный технологический университет,
Йошкар-Ола, e-mail: kaf_po@mail.ru*

Эксперимент проводился на крупном водотоке родника «Хрустальная Ель» летом 2011 года. Расход воды родника измеряли ведром емкостью 10 литров и секундомером для фиксации времени наполнения в секундах. Так провели 10 опытов по 10 повторов. Для оценки достоверности эксперимента рассчитали коэффициент вариации по двум опытам, равный соответственно 13,0 и 9,4%, что свидетельствует об однородности совокупности повторов. Далее эксперимент продолжили до 100 наблюдений, чтобы выявить биотехнические закономерности времени и расхода одного крупного водотока. Чтобы доказать волновой характер расхода воды необходимо добиться ламинарного потока на малом водотоке.

Ключевые слова: родник, крупный водоток, расход воды, измерение, колебание

**FEATURES OF MEASUREMENTS AND MODELLING OF PARAMETRES
LARGE CHANNEL OF A SPRING «A CRYSTAL SPRUCE»****Mazurkin P.M., Tarasova E.I.***Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru*

Experiment were conduct on a large waterway of a spring «the Crystal spruce» in the summer of 2011. The expense of water of a spring measur by a bucket a reservoir of 10 litres and a stop watch for fixing of time of filling in seconds. So had conduct 10 experiences on 10 repetitions. For an estimation of reliability of experiment had calculat coefficient of a variation by two experiences, equal accordingly 13,0 and 9,4% that testified to uniformity of set of repetitions. Then experiment had continu to 100 supervision to reveal biotechnical laws of time and the expense of an one large waterway. To prove wave character of the expense of water it are necessary to achieve a laminar flow on a small waterway.

Keywords: spring, large waterway, expense of water, measurement, fluctuation

Корреляция (корреляционная зависимость) – статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми). При этом, изменения одной или нескольких из этих величин приводят к систематическому изменению другой или других величин. Математической мерой корреляции двух случайных величин служит коэффициент корреляции [2].

Коэффициент корреляции или парный коэффициент корреляции в теории вероятностей и статистике – это показатель характера взаимного стохастического влияния двух случайных величин. Коэффициент корреляции обозначается латинской буквой r в математической статистике и может принимать значения от -1 до $+1$. Если значение по модулю находится ближе к 1 , то это означает наличие сильной связи, а если ближе к 0 – связь отсутствует. При коэффициенте корреляции равном по модулю единице говорят о функциональной связи.

В различных прикладных отраслях (социологии, химии, экономике, в том числе и экологии) приняты разные границы интервалов для оценки тесноты и значимости связи. Корреляция применяется для выявления взаимосвязи между количественными

или качественными показателями, если их можно ранжировать. При ранжировании значения показателя выставляют в порядке возрастания (или убывания) и присваивают им ранги. Ранжируют значения показателя и рассчитывают коэффициент корреляции.

Применительно к родникам все виды загрязнения по химическим реакциям влияют друг на друга. Поэтому данные по измерениям концентрации химических загрязняющих веществ в экологической химии принимаются за взаимно зависимые параметры. Тогда получается, что результаты биохимического анализа у нескольких родников функционально связаны. Эти химические связи одинаковые для любых родников Земли. Еще точнее: связь между разными химическими загрязнениями должна быть на одной малой территории Земли, например области или сельского района, сильной.

Тогда получается, что коэффициент корреляции есть оценка **взаимного стохастического влияния изменения двух неслучайных величин**. В итоге классическая статистика при взаимозависимых факторах здесь не применима. Поэтому на кафедре природобустройства ПГТУ была разработана специальная методология идентификации законов.

В нашем случае применяется методология идентификации нелинейных закономерностей для выявления взаимосвязей между видами загрязнения устойчивыми законами распределения по измеренным значениям химического вещества в родниковой воде и волновыми функциями для косвенной характеристики циклических химических реакций.

Родником или ключом обозначается небольшой водный поток, бьющий непосредственно из земных недр. Родники, как выходы грунтовых и подземных вод на поверхность, являются естественными уникальными водными объектами. Они имеют большое значение в питании водоёмов, поддержании их водного баланса и сохранении стабильности окружающей биосферы [9].

Некоторые российские реки и водоёмы порождаются такими подземными источниками. Их питание осуществляется за счёт более глубоких водоносных слоёв (свыше 10–20 м), куда загрязняющие вещества с поверхности земельных участков проникают через почву и грунт через несколько десятилетий. По гидрохимическим особенностям воды родников можно судить о состоянии подземных вод в данном регионе.

Некоторые родники представляют собой уникальные природные объекты, имеющие как природные памятники значительную научную, культурную и эстетическую ценность.

С родниками связаны многие легенды и обычаи местного населения. Воду некоторых родников местное население считает святой и целебной, издавна использует при лечении различных заболеваний. На некоторых родниках сооружены часовни, которые представляют собой историческую и культурную ценность [6].

Родниковая вода в таких экологически чистых регионах, как Республика Марий Эл, пока доходит до нас в своем почти первозданном, природном по своему гидрохимическому составу, виде. Кроме того, родниковая вода живая, подвижная. Поэтому родниковая вода из экологически чистого источника в виде родника практически почти не нуждается в очистке. Проходя через песок и гравий, она подвергается естественной и, с позиций современных технологий, практически идеальной очистке.

Но, по японским исследованиям, родники через 50 и более лет на давно загрязненной человеком территории также начинают ухудшаться по качеству воды. Поэтому нужно оберегать родники, прежде всего, на экологически чистых регионах России.

В отличие от родниковой воды, все другие типы воды требуют очистки с помощью различных технологий (адсорбция, обратный осмос, ионообменные смолы), изменяющих физико-химический состав и природную молекулярную структуру воды. При этом природная родниковая вода, обладающая некой памятью, теряет многие неизвестные науке целебные свойства. Это связано с тем, что присутствующие в исходной воде в повышенной концентрации различные токсичные для самой воды вещества требуют значительных преобразований. Особенно требует очистки даже родниковая вода, для достижения водой соответствия нормам СанПиН для питьевых нужд, на экологически неблагополучных территориях. К их исследованию нужно приступать только после того, как будут выявлены биотехнические закономерности у родников на экологически чистых земельных участках.

Как загрязняется родниковая вода? Это объясняется анализом путей формирования подземных стоков, питающие родники. Оказалось, что почти для всех московских родников источником питания служат атмосферные осадки, а нередко и воды техногенного происхождения. При сильном загрязнении почва перестает служить фильтрационным барьером. Атмосферные осадки вымывают вредные вещества из загрязненной почвы, формируя источники, содержащие загрязненную воду [8].

Особенно опасны родники Москвы весной, когда начнется таяние снега. В родниковой воде могут появиться бензин, нефтепродукты и марганец, который при производстве добавляется в бензин. Эти вещества негативно влияют на обмен веществ, центральную нервную систему и процессы кроветворения. По оценкам Всемирной Организации Здравоохранения частота заболеваний, переносимых водой является самой высокой. Воздействие водного фактора на здоровье населения постоянно подтверждается более чем столетней практикой водоснабжения [8].

Некачественная вода негативно влияет на здоровье человека. Тяжелые металлы, находящиеся в воде в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации, поражают различные органы и системы, прежде всего центральную, периферическую, сердечно-сосудистую. Влияет это и на печень, желудочно-кишечный тракт. Ртуть отравляет головной мозг. Присутствие в воде никеля и хрома может вызвать различные формы уродства у потомства, кадмий, мышьяк, хром, радиону-

клиды ведут к появлению злокачественных опухолей [5].

Бактериальная и паразитарная загрязненность питьевой воды долгое время считалась проблемой развивающихся стран. Однако все чаще микроорганизмы находят в водопроводной воде и в развитых странах. В родниковой воде могут быть тысячи загрязняющих компонентов. Кроме того, существует опасность наличия в ней фекалий, радиоактивных веществ, соединений свинца и опасных кишечных паразитов.

Качество воды в родниках зависит также от погодных условий. И если вода в роднике сегодня хорошая, никто не даст гарантии, что такой она будет и в дальнейшем. В любой момент времени может пригнаться выброс из канализации (качество наших канализационных труб до сих пор оставляет желать лучшего), грязь от машин, несанкционированные сбросы промышленных предприятий и свалок и т.д.

По мнению главного санитарного врача Москвы Николая Филатова, многолетние наблюдения за качеством воды в московских родниках показали, что ее химические и бактериологические показатели непостоянны и периодически не отвечают санитарно-эпидемиологическим нормам [7]. Превышения предельно-допустимых концентраций (ПДК) чаще отмечаются по содержанию нитратов, перманганатной окисляемости, мутности, жесткости, колииндексу и др. Это значит, что все родники без исключения на территории города Мо-

сква могут быть использованы только как декоративные. И это допустимо только при условии благоустройства прилегающей территории и технического оборудования самих родников. Пить такую воду нельзя ни в коем случае. А в некоторых родниках, где нет санитарно-защитной зоны, и не проводится очистка и дезинфекция устья, нельзя даже умываться. Печальная загрязненная участь родников Москвы ожидает все урбанизированные территории.

Последствия от периодического употребления загрязненной родниковой воды могут быть разными. Существует риск заболеть инфекционными заболеваниями, испортить пищеварительный тракт или даже отравиться. Практически во всех родниках Москвы присутствует кишечная палочка и вполне возможно появление болезнетворных микробов – дизентерии, сальмонеллы, брюшного тифа и даже холеры. Пока не было зафиксировано ни одного случая отравления, но ведь самые страшные заболевания возникают из-за длительного употребления некачественной зараженной воды.

Особенно опасны родники ранней весной, когда начнется таяние снега [1]. В ключевой воде могут появиться бензин, нефтепродукты и марганец, который при производстве добавляется в бензин. Эти вещества негативно влияют на обмен веществ, центральную нервную систему и процессы кроветворения.

Крупные струи родника «Хрустальная ель» показаны на рис. 1.



Рис. 1. Крупные водотоки родника (вид сверху)

Эксперимент проводился на крупном водотоке родника «Хрустальная Ель» летом 2011 года. Нужно было измерить расход воды родника «Хрустальная ель», причем с помощью ведра емкостью 10 литров

и секундомера для измерения времени наполнения.

Наполняли ведро до отметки в 10 литров и записывали время наполнения в секундах. Так провели 10 опытов по 10 повторов. Для

оценки достоверности эксперимента рассчитали коэффициент вариации и получили коэффициент вариации по двум опытам, равный соответственно 13,0 и 9,4%, что свидетельствует об однородности совокупности повторов.

Далее эксперимент продолжили до 100 наблюдений, чтобы выявить биотехни-

ческие закономерности времени и расхода одного крупного водотока родника «Хрустальная ель».

В табл. 1 представлены значения времени наполнения ведра и расхода воды крупного водотока, полученные в результате эксперимента с 14 июля по 25 июля 2011 года.

Таблица 1
Результаты предварительного эксперимента расхода воды из крупного водотока

№ п/п	Дата	Час и мин	Время измерения τ , ч	Время наполнения T , с	Расход воды q , л/с	№ п/п	Дата	Час и мин	Время измерения τ , ч	Время наполнения T , с	Расход воды q , л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	14.07	16.43	0	4.13	2,42	51	20.07	13.45	142.02	3.21	3,12
2	14.07	16.43	0	4.78	2,09	52	20.07	13.45	142.02	3.54	2,82
3	14.07	16.43	0	4.23	2,36	53	20.07	13.45	142.02	3.25	3,08
4	14.07	16.43	0	3.37	2,97	54	20.07	13.45	142.02	3.12	3,21
5	14.07	16.43	0	2.30	4,35	55	20.07	13.45	142.02	3.72	2,69
6	14.07	16.43	0	3.29	3,04	56	20.07	13.45	142.02	2.97	3,37
7	14.07	16.43	0	3.19	3,13	57	20.07	13.45	142.02	3.56	2,81
8	14.07	16.43	0	2.45	4,08	58	20.07	13.45	142.02	3.88	2,58
9	14.07	16.43	0	3.16	3,16	59	20.07	13.45	142.02	3.21	3,12
10	14.07	16.43	0	3.19	3,13	60	20.07	13.45	142.02	4.95	2,02
11	15.07	10.51	18.08	2.48	4,03	61	21.07	10.37	162.54	3.88	2,58
12	15.07	10.51	18.08	3.50	2,86	62	21.07	10.37	162.54	2.75	3,64
13	15.07	10.51	18.08	3.47	2,88	63	21.07	10.37	162.54	3.06	3,27
14	15.07	10.51	18.08	3.58	2,79	64	21.07	10.37	162.54	3.85	2,60
15	15.07	10.51	18.08	3.34	2,99	65	21.07	10.37	162.54	3.52	2,84
16	15.07	10.51	18.08	3.51	2,85	66	21.07	10.37	162.54	3.67	2,72
17	15.07	10.51	18.08	3.29	3,04	67	21.07	10.37	162.54	3.09	3,24
18	15.07	10.51	18.08	3.77	2,65	68	21.07	10.37	162.54	4.02	2,49
19	15.07	10.51	18.08	2.31	4,33	69	21.07	10.37	162.54	3.74	2,67
20	15.07	10.51	18.08	2.34	4,27	70	21.07	10.37	162.54	3.86	2,59
21	16.07	11.40	42.57	4.26	2,35	71	22.07	15.35	191.52	3.62	2,76
22	16.07	11.40	42.57	4.47	2,24	72	22.07	15.35	191.52	3.47	2,88
23	16.07	11.40	42.57	5.01	2,00	73	22.07	15.35	191.52	3.92	2,55
24	16.07	11.40	42.57	3.21	3,12	74	22.07	15.35	191.52	4.02	2,49
25	16.07	11.40	42.57	3.30	3,03	75	22.07	15.35	191.52	3.06	3,27
26	16.07	11.40	42.57	3.31	3,02	76	22.07	15.35	191.52	2.89	3,46
27	16.07	11.40	42.57	4.03	2,48	77	22.07	15.35	191.52	3.45	2,90
28	16.07	11.40	42.57	4.23	2,36	78	22.07	15.35	191.52	4.74	2,11
29	16.07	11.40	42.57	4.15	2,41	79	22.07	15.35	191.52	3.29	3,04
30	16.07	11.40	42.57	3.29	3,04	80	22.07	15.35	191.52	3.26	3,07
31	18.07	15.32	95.49	4.26	2,35	81	24.07	12.20	235.97	3.22	3,11
32	18.07	15.32	95.49	4.47	2,24	82	24.07	12.20	235.97	3.84	2,60
33	18.07	15.32	95.49	5.01	2,00	83	24.07	12.20	235.97	3.18	3,14
34	18.07	15.32	95.49	3.21	3,12	84	24.07	12.20	235.97	3.50	2,86
35	18.07	15.32	95.49	3.30	3,03	85	24.07	12.20	235.97	3.28	3,05
36	18.07	15.32	95.49	3.31	3,02	86	24.07	12.20	235.97	3.56	2,81
37	18.07	15.32	95.49	4.03	2,48	87	24.07	12.20	235.97	3.84	2,60
38	18.07	15.32	95.49	4.23	2,36	88	24.07	12.20	235.97	3.28	3,05
39	18.07	15.32	95.49	4.15	2,41	89	24.07	12.20	235.97	3.16	3,16
40	18.07	15.32	95.49	3.29	3,04	90	24.07	12.20	235.97	3.68	2,72

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
41	19.07	16.30	120.47	3.08	3,25	91	25.07	13.05	261.22	4.11	2,43
42	19.07	16.30	120.47	3.47	2,88	92	25.07	13.05	261.22	3.15	3,17
43	19.07	16.30	120.47	3.58	2,79	93	25.07	13.05	261.22	2.57	3,89
44	19.07	16.30	120.47	3.33	3,00	94	25.07	13.05	261.22	3.26	3,07
45	19.07	16.30	120.47	3.34	2,99	95	25.07	13.05	261.22	3.47	2,88
46	19.07	16.30	120.47	3.51	2,85	96	25.07	13.05	261.22	3.65	2,74
47	19.07	16.30	120.47	3.29	3,04	97	25.07	13.05	261.22	3.74	2,67
48	19.07	16.30	120.47	3.47	2,88	98	25.07	13.05	261.22	3.18	3,14
49	19.07	16.30	120.47	2.12	4,72	99	25.07	13.05	261.22	3.95	2,53
50	19.07	16.30	120.47	4.37	2,29	100	25.07	13.05	261.22	3.46	2,89

Расчет статистических показателей описательной статистики проводим в программной среде Excel по известным фор-

мулам с данными табл. 1 рассчитываем статистические показатели, и результаты расчетов приводим в табл. 2.

Таблица 2

Статистические параметры расхода воды эксперимента

Статистические показатели	Формула	Результат расчета
Количество наблюдений, шт.	n	100
Размах R , л/с	$R = x_{\max} - x_{\min}$	2,72
Минимум x_{\min} , л/с	Выбор из ряда данных	2,00
Максимум x_{\max} , л/с	Выбор из ряда данных	4,72
Среднее арифметическое \bar{x} , л/с	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	2,91
Ср. линейное отклонение \bar{d} , л/с	$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \bar{x} $	0,0029
Ср. квадратичное отклонение $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	8,70
Коэффициент вариации V_{σ} , %	$V_{\sigma} = 100\sigma / \bar{x}$	299,28
Ср. ошибка выборки m_{σ}	$m_{\sigma} = \sigma / \sqrt{n}$	0,87
Показатель точности P , %	$P = V_{\sigma} / \sqrt{n}$	29,93

В экологических измерениях [3, 4] допускается коэффициент вариации только до 30%. В нашем случае среднее значение расхода воды составило 2,91 л/с, а 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, то есть применение средне-

го арифметического значения невозможно. Из-за этого переходим на методы идентификации устойчивых законов [4], при идентификации которых в программную среду помещаются все повторы измерений, то есть все 100 чисел из табл. 1.

Статистические данные были обработаны с помощью программы Curve Expert Version 1.4 и для крупного водотока родника «Хрустальная ель» получена модель вида (рис. 2.):

$$T = 3,29256 \exp(0,0043481\tau^{0,90709}) - 0,00067731\tau^{7,91056} \exp(-12,08808\tau^{0,19428}). \quad (1)$$

Первая составляющая является законом экспоненциального роста и показывает тренд времени наполнения воды.

Вторая составляющая показывает кризис (отрицательный знак перед составляющей) по биотехническому закону.

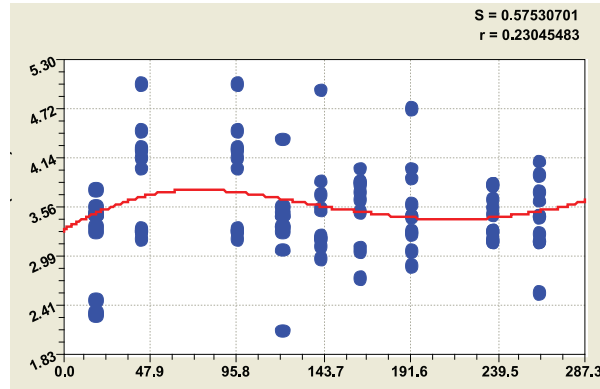


Рис. 2. Динамика времени наполнения

Из графика видно, что при превышении времени измерений 261 час следует ожидать динамичность по волновому возмущению времени наполнения ведра водой. Но при этом заметно, что коэффициент корреляции 0,280 относится к слабым факторным связям, поэтому

в дальнейших экспериментах нужно повышать точность измерения времени наполнения.

На рис. 3 показана модель отношения постоянного объема воды в ведре на время наполнения, что будет показателем расхода крупного водотока родника.

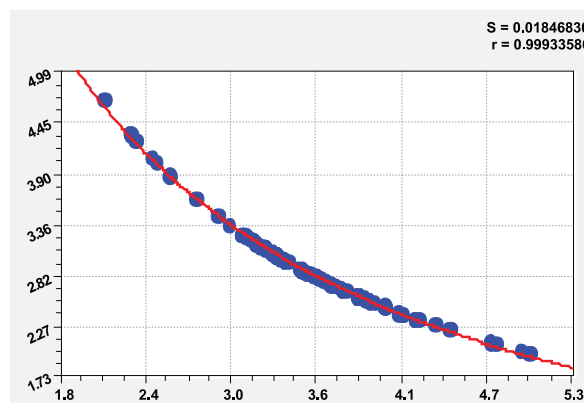


Рис. 3. Динамика расхода воды

Она подчиняется экспоненциальному закону гибели, который наиболее характерен для расхода воды.

Таким образом, чем меньше время заполнения, тем больше расход родниковой воды. Поэтому в дальнейших экспериментах будет выгодным измерение расхода воды на малом водотоке.

Коэффициент корреляции равен 0,9993 – это свидетельствует о сильнейшей факторной связи по формуле

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

Другие опыты показали, что, в общем виде, формула (2) применима для других водотоках, например, водотоках реки. Аналогичные закономерности были получены и на других примерах из гидрологии.

На рис. 4 приведены точки графика абсолютной погрешности формулы (2), кото-

рая для простоты называется остатком. Как видно из распределения точек, график имеет волновую закономерность. Однако такую закономерность будем искать только после проведения более точного эксперимента на малом водотоке родника.

Из рис. 4 видно, что каждый крупный водоток пульсирует, то есть в малый промежуток времени расход воды изменяется по волновой закономерности.

Поэтому, чтобы объективно доказать волновой характер изменения расхода воды, необходимо добиться ламинарного потока, причем это возможно на малом водотоке.

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. А такие неколичественные значения не моделируются.

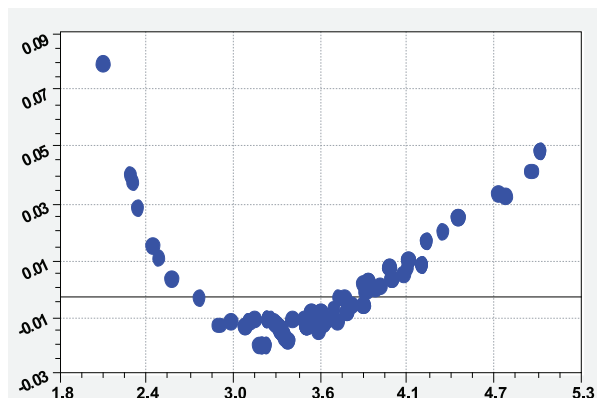


Рис. 4. Остатки от графика по модели (3)

По остаткам (рис. 4) по модели (2) видим, что волновая закономерность будет высоко адекватной.

Основной вывод для наших исследований заключается в том, что в известных публикациях не рассматривают загрязнения в комплексе по всем родникам на конкретной территории, а факторный анализ и выявление закономерностей динамики вообще не проводится.

Поэтому нужно разрабатывать новые способы измерения времени наполнения емкости и объемного расхода воды разными водотоками одного и того же родника. Новые патентоспособные научно-технические решения появляются [3] по результатам статистического моделирования достоверных табличных исходных данных.

Список литературы

1. Банников А.Г. Основы экологии и охрана окружающей среды. – 3-е изд. – М.: Колос. 1996. – 486 с.

2. Мазуркин П.М. Математическое моделирование: эвристико-математический подход. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 100 с.

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. Осмонов А.О. Современные проблемы экологии и экологическое образование // Экологический вестник. – 2007. – С. 31–33.

6. Тарасова Е.И. Родники и традиции древних марийцев // Охрана и защита, обустройство, индикация и тестирование природной среды: сб. статей. – М.: Академия Естествознания, 2010. – С. 312–315.

7. Швецов В.М. Родники Москвы. М.: Научный мир, 2002. 160 с.

8. Экология Москвы: экологический обзор районов, парков и родников Москвы [Электронный ресурс]. – URL: <http://vpered.ru/archives/847> (дата обращения: 16.06.2011).

9. Мосин О.В. Родниковая и ключевая вода [электронный ресурс] // О воде: [сайт]. [2007]. – URL: http://www.o8ode.ru/article/oleg2/rodnikovaa_i_klu4evaav_voda.htm (дата обращения: 18.03.2011).