



KomrisFiltr Ltd., Zelenograd, Moscow, 124460, RU

t./f. 8 (499) 710 57 27,

E-mail: smkuzmin@mtu-net.ru, smkuzmin@mail.ru

<http://www.mtu-net.ru/comrisfilter>

www.1filtr.ru

RESUME

Determination of Water Parasitological Contamination Risk from Sanitary-Parasitological Investigation Result.

Sergey M. Kuzmin, August 2012.

As a rule hygienic standards regulate the dangerous pathogen content by establishing the water volume (further the “standard volume”) in which 1 pathogen must not be. For example, according UK standard 1 *Giardia intestinalis* cyst or 1 *Cryptosporidium* oocyst must not be in 10 L of water, and according to Russian standard – in 50 L. Quantitative determination of the pathogen content is impossible in small numbers area. And for conversion in large numbers area with an acceptable determination precision, examination of large water volume (up to 100 standard volumes for determination of the dangerous content with $\pm 10\%$ accuracy) is required. For example, in the UK the sample volume is 1000L, under 10L standard volume. Fortunately, the sanitary inspectorate objective is not to count pathogens, but only to establish whether the dangerous content is reached or not. But this can be performed by probabilistic way on the small numbers law (Poisson’s distribution) base.

Definitions.

The risk of water parasitological contamination – a probability of **presence** * 1 (mathematical expectation) pathogen in the *standard volume* of water.

Standard volume - *Vstd* – the water volume in which presence of 1 pathogen (mathematical expectation) is inadmissible.

Multiple volume- *Vmlt*- - the water volume in which presence of *T* (mathematical expectation) pathogens is inadmissible; $Vmlt = T \times Vstd$, where *T* value is selected according the column “0 pathogens” of the table (composed by the Poisson’s distribution base) by the admissible risk value.

Effectiveness of the determination method –*E*- the probability of finding the pathogen ingressed in the sample.

Sample volume - *Vsmp* –the water volume needed for research with purpose to certify whether the water contamination risk is less than the admissible one or not: $Vsmp = Vmlt / E = Vstd \times T / E$, where the effectiveness of pathogen determination, *E* is found experimentally.

The table

for determination of water parasitological contamination risk (values in the black frame) by the number of pathogens found in the sample, by research method effectiveness and by examined water volume.

Inadmissible number of pathogens in the sample <i>T</i>	Number of pathogens found by the determination method in the sample			
	0	1	2	3
1	0.368	0.736	0.92	0.98
2	0.135	0.406	0.67	0.86
3	0.0492	0.199	0.40	0.64
4	0.0183	0.0916	0.24	0.43
5	0.00674	0.0404	0.12	0.26
6	0.00248	0.0174	0.061	0.15

The risk is determined as follows.

1. By the corresponding selected standard admissible risk value (<0.01 commonly) in the “0 pathogen” column of the table the inadmissible pathogen number *T* (mathematical expectation) in the sample is determined.
2. Multiple volume $V_{mlt} = V_{std} \cdot T$.
3. The multiple volume (V_{mlt}) is divided by known effectiveness (*E*) of the determination method to get the sample volume ($V_{smp} = V_{mlt}/E$) needed for investigation.
4. The sample volume is investigated and the risk is found from the table according to the number of pathogens found in the sample and the inadmissible pathogens number *T* selected according to point 1.

Example.

Let's consider the risk determination under the standard volume *Vstd* is 50L (Russian standard).

1. Let the commonly accepted admissible risk value be <0.01(0.00674), then $T=5$, and the sample multiple volume: $V_{mlt} = V_{std} \cdot T = 50 \times 5 = 250L$.
2. Let the effectiveness of the used determination method be $E=0.70$, then the sample volume required for investigation is $V_{smp} = V_{mlt}/E = 250/0.7 = 357 L$.
3. Let's investigate the sample volume.
4. Let's suppose pathogens are not found, then from “0 pathogens” column of the table for $T=5$ we can see that the risk of water parasitological contamination is less 0.01(0.00674)
5. Let's suppose 1 pathogen is found, then the risk is 0.04 (0.0404), if 2 pathogens – 0.12, if 3 pathogens – 0.26.

It is obvious that for UK standard volume (10L), the 5 times less sample volume is required, accordingly.

From the above consideration the integrated water safety (the risk of parasitological water contamination is less 0.01) indication is resulted: 0 pathogens are found in analysis of

the water sample volume, which equals to 5-multiple standard volume divided by the effectiveness of the determination method ($V_{smp}=5 V_{std}/E$).

Safety rule.

From the above consideration **the integrated water safety (the risk of parasitological water contamination is less 0.01) indication is resulted: 0 pathogens are found in analysis of the water sample volume, which equals to 5-multiple standard volume divided by the effectiveness of the determination method ($V_{smp}=5 V_{std}/E$).**

If the requirement is met, the possibility of pathogens presence in standard volumes of investigated water is no more than 0.0042, including the presence of one pathogen – no more than 0.0025, of two - no more than 0.0012, of three - no more than 0.0004, of four - no more than 0.0001.

Notes.

The pathogen number is not determined by PCR method, but their presence only. In this case use the columns “**0 pathogens**” and “**1 pathogens**” of the table only. Under negative analysis result the risk is given in the column “0 pathogens”, if the result is positive the risk is more than in the column “1 pathogen” in accordance with the multiplicity of investigated volume T .

* If the safety requirement is formulated as "pathogen **absence** in the standard volume", obviously, that the indication of the requirement satisfaction is 0 pathogens found in the sample volume equal to $100(100/E)$ -multiple standard volume. For example such requirement will be satisfied if none at all pathogens is found in multiple volume 1000 (sample volume $1000/E$)L by the UK standard (the standard volume is 10L), or in multiple volume 5000 (sample volume $5000/E$)L by the Russian standard (the standard volume is 50L). So, the required sample volume depends on the initial formulation accuracy of the hygienic standard. Also, the meaning 0 research analysis result some differs in the variants of initial formulation: the risk is $R < 0.01$ (under condition "presence") and $R \approx 0.00$ (under condition "absence"). So, fight may be run for parts of one percent of risk within 0.00 and 0.01 by increasing the sample volume in 20 times.

More detail and early discussion is below.

Внимание! Если формулы и графики отражаются некорректно – перейдите [сюда](#).

Вычисление риска паразитарного загрязнения воды по результату ее санитарно-паразитологического исследования.

Кузьмин Е.С., Кузьмин С.М., Романенко Н.А.

ФГУП НИИ физических проблем им. Ф.В.Лукина.
ИМПитМ им. Е.И. Марциновского ММА им. И.М.Сеченова.

Милый друг, иль ты не видишь, что все видимое нами -
Только отблеск, только тени от незримого очами.

Владимир Соловьев.

SUMMARY.

Evaluation of the Giardia cysts, Cryptosporidium oocysts Water Contamination Risk from the Sanitary Research Result.

Kuzmin E.S., Kuzmin S.M., Romanenko N.A.

June 26, 2005.

The calculation of the parasitical water contamination risk from the researched sample volume, research technique effectiveness and the discovered pathogen number is proposed on the Poisson's distribution properties base.

Спецификой санитарно-паразитологического и микробиологического исследования воды является то, что недопустимое содержание патогенов задается малыми числами (единицами), которым соответствует распределение Пуассона значений вероятных результатов исследования. Количественное определение содержания патогенов (математического ожидания) по результату санитарно-паразитологического исследования в таких условиях невозможно, т.к. доверительные интервалы в разы превышают математическое ожидание [1].

К счастью, утилитарная задача санитарно - паразитологического контроля заключается не в подсчете патогенов, а в ответе на вопрос: достигнуто или нет недопустимое содержание патогена в воде. Ответить на этот вопрос корректно на основании результата единичного исследования возможно вероятностным образом, исходя из свойств распределения Пуассона, а именно, определить по результату исследования вероятность (риск) достижения недопустимого содержания патогена в воде.

1. Определения.

1. **Истинное содержание (M)** - математическое ожидание числа паразитарных объектов, содержащихся в пробе,
2. **Кажущееся содержание ($M \cdot E$)** - математическое ожидание числа объектов, обнаруживаемых в пробе,
3. **Эффективность методики исследования (E)** - доля от числа паразитарных объектов, содержащихся в пробе, обнаруживаемая применяемой методикой исследования, отношение кажущегося содержания к истинному: $E = M \cdot E / M$
4. **Недопустимое содержание патогена (T)** - истинное содержание патогена в пробе, при котором вода начинает считаться опасной для здоровья.
5. **Нормативный объем (V_{norm})** - объем воды, в котором недопустимо содержание 1-го патогена ($T=1$), это постоянное директивное число, устанавливаемое органами санитарного надзора. Например, в Англии для цист лямблий и ооцист криптоспоридий он

равен 10л (1 объект в 10 л), в России - 50л (1 объект в 50л), для колиформных бактерий 100 мл (1 бактерия в 100 мл).

6. **Результат исследования** - число объектов, обнаруженных в конкретной пробе.
7. **Паразитарное загрязнение воды** - достижение недопустимого содержания (T) патогенов в воде.
8. **Риск** - вероятность паразитарного загрязнения воды.

2. Зависимость риска от недопустимого содержания патогена T в пробе и результата исследования.

определяется непосредственно из интегральной формы распределения Пуассона, например, генерируемого программой [2], для задаваемых значений T в качестве математического ожидания. В таблице 1 в двойной рамке приведены вероятности (риски) достижения недопустимого содержания T для случаев обнаружения патогенов в пробе от 0 до 3-х.

Таб.1 Зависимость риска паразитарного загрязнения воды от исследованного объема воды (V_{res}), принятого недопустимого содержания (T), эффективности методики исследования (E) и числа патогенов, найденных в пробе.

$V_{virt} = E \cdot V_{res} = V_{norm} \cdot T$ для гигиенического норматива "отсутствие в 50 литрах"	T	Число патогенов, найденных в пробе			
		0	1	2	3
50	1	0.368	0.736	0.92	0.98
100	2	0.135	0.406	0.67	0.86
150	3	0.0492	0.199	0.40	0.64
200	4	0.0183	0.0916	0.24	0.43
250	5	0.00674	0.0404	0.12	0.26
300	6	0.00248	0.0174	0.061	0.15

Из приведенных значений видно, что чем больше заданное T , тем меньше риск (см. столбцы сверху вниз). Это понятно и интуитивно: чем больше объектов содержится в пробе, тем больше вероятность обнаружить их присутствие. В таблице 1 это выражено количественно.

С другой стороны, чем больше мы обнаружили объектов - тем риск того, что недопустимое содержание T достигнуто - больше (см. строки слева-направо).

Наиболее интересно с практической точки зрения, если мы ничего не обнаружили. Как видно из таблицы 1, если в пробе не обнаружено патогена (число патогенов - 0), то риск, что на самом деле T достигнуто равен: для $T=1$ - 0.37, для $T=2$ - 0.13, для $T=3$ - 0.05 и т. д. по столбцу, а патогены в пробу не попали по закону случая.

Таким образом, для приемлемых уровней риска недопустимое содержание T в пробе следует назначать равным 5-ти, чтобы риск был менее 0.01, или, на худой конец, 3-м, чтобы риск был 0.05.

В таблице приведены значения риска паразитарного загрязнения воды и для других чисел патогенов, найденных в пробе воды. Практическое значение их невелико и приводится в таблице для иллюстрации предлагаемого метода, и для ориентировки на тот случай, если в пробе что-то обнаружится. Например, при одном найденном патогене при $T=1$, риск загрязнения составляет 0.74, а при $T=5$ - всего 0.04.

Итак, риск определяется выбором недопустимого содержания патогена T : чем больше T , тем меньше риск.

3. Зависимость риска от нормативного (V_{norm}), исследованного (V_{res}) объемов воды и эффективности методики исследования (E).

Недопустимое содержание T в свою очередь через нормативный объем определяет объем пробы воды (мы назвали его эффективным [1]), в котором будет это T :

$$V_{vir} = V_{norm} \cdot T.$$

Например, поскольку СанПиН[3] устанавливает "отсутствие в 50 литрах", иными словами $T=1$ в 50 литрах, а для риска 0.01 нужно $T=5$, то для того, чтобы набрать требуемое T , патогены нам следует искать в эффективном объеме $V_{vir} = 50 \times 5 = 250$ литрах. Если же мы удовлетворимся риском менее 0.05, то достаточно не обнаружить патогенов в 150 литрах ($T=3$). Для принятого сейчас исследованного объема пробы в 50 литров ($T=1$) риск составляет 0.37. Остальные соотношения в таблице читатель может теперь проанализировать самостоятельно.

Для сравнения, в бактериальном анализе воды по колиформным бактериям при нормативном объеме 100мл и рекомендуемом объеме исследуемой пробы 300мл ($T=3$) риск, как видно из таблицы, при нулевом результате исследования составляет 0.05. Заметим, кстати, что при старом нормативе, когда исследуемый объем воды был принят 500 мл ($T=5$), риск составлял менее 0.01.

Дополнительные сложности при определении риска возникают из-за того, что в реальности методика паразитологического исследования имеет эффективность (E), определяются не все патогены в пробе, а только их E -тая часть. Поэтому при исследовании воды будет найдено меньше патогенов в E раз, чем их содержится в пробе: $M_{каж} = E M_{ист}$. Для того, чтобы можно было пользоваться вероятностями таблицы 1, а не пересчитывать их для каждого конкретного значения эффективности, предлагается компенсировать потери патогенов в процессе анализа, исследуя соответственно больший объем воды $V_{res} = V_{vir}/E$, или $V_{vir} = E V_{res}$.

Тогда $M_{каж}(V_{res})$ в исследованном объеме V_{res} будет равно $M_{ист}(V_{vir})$ в эффективном объеме V_{vir} , и распределение результатов исследования будет совпадать с истинным распределением патогенов в пробах эффективного объема. Как видно из уравнения, эффективный и исследованный объемы равны, если эффективность $E=1$.

Таким образом, соотношение между величинами, определяющими величину риска можно дать уравнением:

$$V_{virt} = E \cdot V_{res} = V_{norm} \cdot T \quad (1)$$

Операционно определение риска выполняется следующим образом.

1. По заданному (возможно будет установлен нормативно) приемлемому риску из таблицы 1 определить T , а по нему - эффективный объем пробы воды V_{virt} ;
2. разделив эффективный объем V_{virt} на эффективность методики исследования E определить необходимый для исследования объем пробы V_{res} ;
3. исследовать пробу воды, и по числу найденных патогенов и значению эффективного объема V_{virt} из таблицы 1 найти риск паразитарного загрязнения воды.

Пример.

1. Примем общепринятое значение приемлемого риска - 0.01, тогда из таблицы $T=5$, эффективный объем пробы $V_{virt} = V_{norm} \cdot T = 50 \times 5 = 250$ л;
2. допустим, эффективность нашей методики исследования $E=0.70$, тогда необходимый объем пробы для исследования равен $V_{res} = 250/0.7 = 357$ литров;
3. исследуем этот объем применяемой методикой (найдем в нем число патогенов);
4. допустим, мы не нашли патогенов, тогда из таблицы 1 для эффективного объема 250 литров видно, что риск паразитарного загрязнения воды действительно меньше 0.01;
5. А если нашли, скажем, 2 патогена, то риск паразитарного загрязнения составит 0.12, если 3 - то 0.86, если 1 - то 0.04.

4. Влияние погрешности методики на величину риска.

Выше мы рассматривали идеальную математическую картину, предполагая, что все величины, определяющие риск (ур. 1) имеют точное значение. Однако в реальности методика исследования имеет погрешность. Так, в базовом соотношении

$$V_{virt} = E \cdot V_{res} = V_{norm} \cdot T$$

эффективность определения E устанавливается экспериментально в процессе калибровки методики, а исследованный объем V_{res} отмеряется в процессе исследования пробы, следовательно их величины определены экспериментально с некоторой погрешностью. Отсюда, виртуальный объем пробы V_{vir} будет реализоваться с некоторой относительной погрешностью

$$\pm \mathcal{E}_{V_{vir}}$$

Тогда, доверительные границы реализации установленных и связанных через постоянную величину (V_{norm}) виртуального объема и T :

$$V_{vir}^{rl} = V_{vir} (1 \pm \mathcal{E}_{V_{vir}}) = V_{norm} T^{rl}$$

Где

$$V_{vir}^{rl} \dots u \dots T^{rl}$$

- соответственные доверительные границы.

Откуда доверительные границы реализации T :

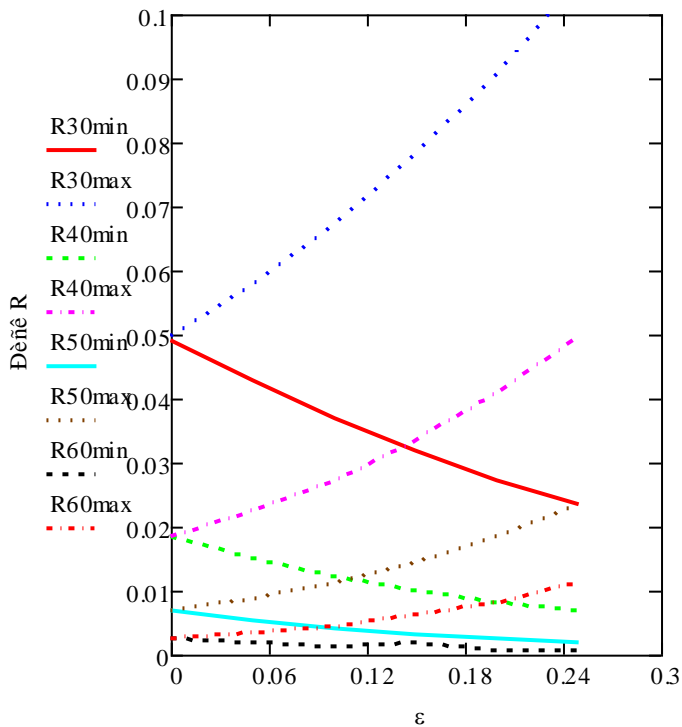
$$T^{rl} = \frac{V_{vir}}{V_{norm}} (1 \pm \mathcal{E}_{V_{vir}}) = T (1 \pm \mathcal{E}_{V_{vir}})$$

Численные значения доверительных границ риска (в двойной рамке), определенные из распределения Пуассона по доверительным границам реализации T^{rl} при различных значениях относительной погрешности, приведены в таблице 2 для сведения, а на рисунках 1 и 2 для наглядности.

Таб.2 Зависимость доверительных границ риска от относительной погрешности реализации эффективного объема пробы и числа обнаруженных патогенов.

Относительная погрешность реализации V_{vir} $\pm \epsilon V_{vir}$	Доверительные границы реализации T; $T(1 \pm \epsilon V_{vir})$ max min		Число патогенов, обнаруженных в пробе			
			0		1	
			Доверительные границы риска Rmin Rmax		Доверительные границы риска Rmin - Rmax	
0.00	1	1	0.368	0.368	0.736	0.736
0.05	1.05	0.95	0.350	0.387	0.717	0.754
0.10	1.10	0.90	0.333	0.407	0.699	0.772
0.15	1.15	0.85	0.317	0.427	0.681	0.791
0.20	1.20	0.80	0.301	0.449	0.663	0.809
0.25	1.25	0.75	0.286	0.472	0.645	0.827
0.00	2	2	0.135	0.135	0.406	0.406
0.05	2.10	1.90	0.122	0.150	0.380	0.434
0.10	2.20	1.80	0.111	0.165	0.355	0.463
0.15	2.30	1.70	0.100	0.183	0.331	0.493
0.20	2.40	1.60	0.091	0.202	0.308	0.525
0.25	2.50	1.50	0.082	0.223	0.286	0.558
0.00	3	3	0.0498	0.0498	0.199	0.199
0.05	3.15	2.85	0.0428	0.0578	0.178	0.223
0.10	3.30	2.70	0.0369	0.0672	0.159	0.249
0.15	3.45	2.55	0.0318	0.0781	0.141	0.277
0.20	3.60	2.40	0.0273	0.0907	0.126	0.308
0.25	3.75	2.25	0.0235	0.1054	0.112	0.343
0.00	4	4	0.0183	0.0183	0.0916	0.0916
0.05	4.20	3.80	0.0150	0.0224	0.0780	0.107
0.10	4.40	3.60	0.0123	0.0273	0.0663	0.126
0.15	4.60	3.40	0.0100	0.0334	0.0563	0.147
0.20	4.80	3.20	0.00823	0.0408	0.0477	0.171
0.25	5.00	3.00	0.00674	0.0498	0.0404	0.199
0.00	5	5	0.00674	0.00674	0.0404	0.0404
0.05	5.25	4.75	0.00525	0.00865	0.0328	0.0497
0.10	5.50	4.50	0.00409	0.0111	0.0266	0.0611
0.15	5.75	4.25	0.00318	0.0143	0.0215	0.0749
0.20	6.00	4.00	0.00248	0.0183	0.0174	0.0916
0.25	6.25	3.75	0.00193	0.0235	0.0140	0.112
0.00	6	6	0.00248	0.00248	0.0174	0.0174
0.05	6.30	5.70	0.00184	0.00335	0.0134	0.0224
0.10	6.60	5.40	0.00136	0.00452	0.0103	0.0289
0.15	6.90	5.10	0.00184	0.00610	0.00796	0.0372
0.20	7.20	4.80	0.000747	0.00823	0.00612	0.0477
0.25	7.50	4.50	0.000553	0.0111	0.00470	0.0611

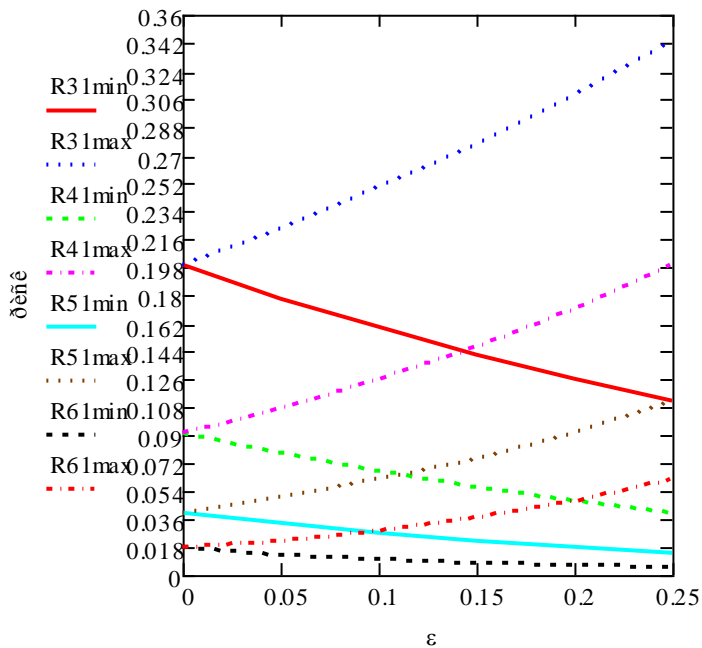
Рис.1 Влияние относительной погрешности методики исследования на доверительные границы риска при $T=3\div 6$ и 0 найденных патогенов



Примечания:

1. Обозначения кривых доверительных границ: первая цифра, следующая за буквой R - назначенное T , вторая - число найденных патогенов.
2. Значения для $T=1,2$ на графике не приведены как не представляющие практического интереса из-за больших значений риска.

Рис.2 Влияние относительной погрешности методики исследования на доверительные границы риска при $T=3\div 6$ и 1-ом найденном патогене в пробе.



Примечание: обозначения те же, что на Рис.1

Как видно из таблицы 2 и рисунков 1 и 2 с увеличением относительной погрешности методики доверительные границы риска расходятся. Причем, чем больше недопустимое содержание T , тем меньше. Так, при 0 найденных патогенов обе границы лежат ниже риска 0.05 при $T=4$, а при $T=6$ ниже риска 0.01. Таким образом, чем больше T , тем меньше влияние погрешности методики, и, очевидно, этим влиянием можно пренебречь при $T=4$ для определения риска меньше 0.05, а при $T=6$, для определения риска меньше 0.01, при условии, что относительная погрешность методики не превышает 0.25.

5. Определение относительной погрешности методики.

Как уже указывали выше, из основного соотношения

$$V_{virt} = E \cdot V_{res} = V_{norm} \cdot T$$

экспериментально отмеряется исследуемый объем V_{res} и определяется эффективность

$$\mathcal{E}_{V_{vir}}^2 = \mathcal{E}_{V_{res}}^2 + \mathcal{E}_E^2 \quad \text{методики } E. \text{ Тогда по правилам вычисления погрешности [4]}$$

где \mathcal{E} - соответствующие относительные погрешности исследованного объема и эффективности методики исследования. Погрешность измерения объема пробы обычно определяется погрешностью измерительного прибора фильтровального устройства, берется из его паспорта и составляет от 0.025 до 0.05.

Относительная погрешность эффективности методики определяется в процессе калибровки последней, состоящей из следующих операций. Выбирают аликвоту калибровочной M_k суспензии патогенов так, чтобы в ней содержалось (для обеспечения достаточной точности) порядка 500 патогенов. Берут 6-9 [5] таких аликвот и подсчитывают в каждой число патогенов

По результатам подсчетов вычисляют среднее число патогенов в аликвоте

$$\overline{M_k} \quad ,$$

квадратическое отклонение числа патогенов в аликвоте

$$\delta_{M_k}$$

и относительную погрешность числа патогенов в аликвоте

$$\mathcal{E}_{M_k} = \frac{\delta_{M_k}}{\overline{M_k}}$$

Затем аликвоты калибровочной суспензии добавляют к ряду (6-9) калибровочных проб воды, которые фильтруют и обрабатывают по методике определения, получая результат определения числа патогенов в каждой пробе

$$M_f \quad .$$

По результатам подсчетов определяют среднее значение числа патогенов в пробе

$$\overline{M_f} \quad ,$$

δ_{Mf} квадратическое отклонение

и относительную погрешность числа определяемых патогенов

$$\mathcal{E}_{Mf} = \frac{\delta_{Mf}}{\overline{Mf}} .$$

Эффективность методики определяют как отношение среднего числа патогенов, найденных в калибровочных пробах к среднему их числу в аликвотах калибровочной суспензии

$$E = \frac{\overline{Mf}}{\overline{Mk}} ,$$

а относительная погрешность эффективности методики по правилам [4] составит

$$\mathcal{E}_E^2 = \mathcal{E}_{Mk}^2 + \mathcal{E}_{Mf}^2 ,$$

тогда суммарная погрешность реализации виртуального объема составит

$$\mathcal{E}_{Vvir}^2 = \mathcal{E}_{Vres}^2 + \mathcal{E}_{Mk}^2 + \mathcal{E}_{Mf}^2$$

или

$$\mathcal{E}_{Vvir} = \sqrt{\mathcal{E}_{Vres}^2 + \mathcal{E}_{Mk}^2 + \mathcal{E}_{Mf}^2}$$

Подставляя в эту формулу значения относительных погрешностей вычисляют общую относительную погрешность методики.

Для ориентировки мы можем примерно оценить ее возможную величину. Так, относительная погрешность исследованного объема определяется погрешностью измерительного прибора и составляет

$$\mathcal{E}_{Vres} \sim 0.025 - 0.05$$

При подсчете чисел порядка 500 в калибровочных аликвотах относительная погрешность такого числа в соответствии с распределением Пуассона [1] составит примерно

$$\mathcal{E}_{Mk} \sim 0.05 ,$$

а относительная погрешность числа патогенов (порядка 100), обнаруженных в калибровочных пробах может составить

$$\mathcal{E}_{Mf} \sim 0.1$$

Тогда по формуле суммарная относительная погрешность составит

$$\mathcal{E}_{V_{vir}} \sim 0.11 \div 0.12$$

Как указано выше (рис.1) для работы с $T=4 \div 6$ погрешностью (до 0.25) можно пренебречь и работать по разделу 2 и таб.1. Надо только убедиться при калибровке, что погрешность методики не превышает 0.25. Для этого тщательность (9 повторностей) калибровки, описанная выше может оказаться избыточной. Например, можно ограничиться тремя повторностями подсчета патогенов в калибровочных аликвотах и пробах, а не 9-ю как в методе 1623 [5].

6.Выводы.

1. Величина риска паразитарного загрязнения - это обобщающий результат паразитологического исследования воды, учитывающий гигиенический норматив, объем исследованной пробы, эффективность и погрешность методики исследования.
2. Риск паразитарного загрязнения меньше 0.01, если недопустимое число патогенов в пробе (T) задано равным 6 (что соответствует эффективному объему пробы в 300 л), и в пробе патогенов не обнаружено; риск меньше 0.05, если обнаружен 1 патоген. Это справедливо, если погрешность методики исследования, слагаемая из погрешности в измерении исследованного объема пробы и погрешности в определении эффективности методики исследования, меньше 0.25.

ДИСКУССИЯ.

- 1. Вопрос. Для анализа результатов исследования Вы пользуетесь распределением Пуассона. Однако, показано, что результаты исследования содержания цист лямблий и ооцист криптоспоридий в воде не подчиняются распределению Пуассона. (P.F.M. Tennis, G.J. Medema, L.Kruidenier, and A.H. Havelaar, "Assessment of the risk of infection by Cryptosporidium or Giardia in drinking water from a surface water source."**

<http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/1883822/medemah9.pdf> , 1998).

Ответ. Благодарим за интересный вопрос и полезную ссылку.

Было бы странно, если бы указанные Вами результаты подчинялись распределению Пуассона. Это результаты множества анализов, полученные в течение года. Распределение Пуассона нельзя применять к промежуткам времени, за которые математическое ожидание изменяется. Излишне говорить, что математическое ожидание меняется в течение года, результаты анализов описываются некоторой случайной функцией времени, и нет оснований ожидать, что ее конкретные реализации распределятся по Пуассону. Если бы так случилось, это было бы основанием предполагать, что в наблюдаемой системе ничего не происходит, математическое ожидание остается постоянным. В предварительной обработке результатов наблюдений иногда используется это обстоятельство: если результаты наблюдений распределяются по Пуассону - найти среди них какую-либо закономерность будет сложно - там ничего не происходит. В связи с этим приемом, утверждение в упомянутой статье о неподчинении результатов наблюдения распределению Пуассона, следует, видимо, понимать как довод в пользу существования случайной функции времени, описывающей появление в воде паразитарных объектов. Кроме того, авторам для формализации их задачи нужно было представить результаты наблюдений в виде распределения случайной величины, а не случайной функции, что им удалось сделать в приближении отрицательного биномиального распределения.

Мы же распределение Пуассона применяем не для наблюдений в течение какого-то времени, а для измерений, в предположении, что за время отбора пробы математическое ожидание числа цист и ооцист не изменяется.

- 2. Вопрос. Во всем мире принято выражать содержание цист и ооцист в концентрации, Вы же , почему-то, выражаете это в штуках?**

Ответ. Благодарим за предоставленную возможность объясниться по вопросу очень интересному, но прямо не относящемуся к теме статьи и потому в ней не затронутому.

Мы полагаем, что "во всем мире" в этом случае не корректно применяется термин "концентрация". Понятие концентрации прочно занято химией, которая штуками свои объекты (атомы и молекулы), как правило не считает. Концентрация в химии - величина интенсивная, т.е. не зависящая от объема или массы. Концентрация одна и та же и в микролитре и в кубометре. Содержание же паразитарных и микробиологических объектов этим свойством не обладает. Если говорят о содержании, например, 1 циста в 10 литрах, то сколько их содержится в 0.5 литра? Если Вы возьмете пол-литра и поищите там, наверняка ничего не найдете. А если возьмете 20 литров, то двух цист тоже не найдете. Определение цист, ооцист и бактерий ведется путем подсчета именно штук. Можно, конечно, число штук разделить на объем, при этом мы получим виртуальную (расчетную, реально не существующую) "концентрацию". Например 1 цисту разделим на 10 литров и получим

виртуальные 0.1 цисты/л. В химии же концентрация выражается реальными числами. Поэтому, придерживаясь ближе к реальности, никто в мире так содержание биообъектов не выражает, пишут: 1 циста в 10л, или 1 в 50л...и называют это концентрацией.

Но это - не концентрация.

Вместе с тем, мы полагаем, что применение понятия концентрации приемлемо в микробиологии для выражения содержания микроорганизмов, начиная примерно с 10^5 шт. в миллилитре, когда "концентрация" начинает приобретать свойство интенсивности. Так, если мы будем брать из такой суспензии пробы по 1 микролитру (10^{-3} мл) - минимальный доступный сейчас объем в микробиологической практике - то получим в этих аликвотах по распределению Пуассона по 100 ± 10 микроорганизмов, т.е. одно и тоже количество в пределах реально существующей в микробиологии точности измерений.

По указанным основаниям мы считаем неприемлемым, пользоваться термином "концентрация" применительно к задачам, связанным с малыми числами в санитарно-паразитологическом и микробиологическом анализе.

3. Вопрос. Пользуясь Вашей методикой я подсчитала, что для обеспечения 1% риска при эффективностях определения 10% (Ларин В.Е. и др.) мне нужно исследовать пробу воды объемом 2500 литров. Для этого же надо целый фильтровальный завод построить?

Ответ. Действительно, такой объем великоват, хотя, например, в работе на которую дана ссылка в вопросе 1, исследовались именно такие объемы. Также в Великобритании рутинный объем пробы принят 1000л. Наш ПробоКонГ (см. на этом же сайте) может профильтровать максимум 1000 л (за 8-10 часов) питьевой воды.

Нетрудно подсчитать, что для обеспечения 1% риска эффективность методики определения не может быть меньше 0.25. К счастью, эффективность с применением ПробоКонГа на водопроводной воде, благодаря специфике порошкового фильтра (см. на этом же сайте), составляет 0.7-0.9 и фильтрование разумно и по объему, и по времени.

4. Вопрос. Расхожим возражением против применения очень мощного средства - ПЦР (полимеразной цепной реакции) для санитарно-паразитологического исследования воды является то, что определяется этим методом только факт присутствия в пробе патогена, но не определяется их количество. Правильно ли я понял, что малые риски (0.01, 0.05), т.е. безопасность воды, по вашему методу можно определить по отсутствию патогена в правильно выбранном объеме воды?

Ответ. Совершенно справедливо. Это-колонка в таблице, где найдено патогенов - 0. Число патогенов нужно знать для определения больших рисков (см. таблицу), величина которых уже не имеет практического значения для санитарного контроля. Кстати, цитированное Вами возражение против применения ПЦР не учитывает того обстоятельства, которому, собственно, посвящена данная статья, что и любыми другими методами определить то количество патогенов, которое нужно определить, в принципе определить трудно. Для того, чтобы определить присутствие 1 патогена в 50 л с приемлемой точностью, нужно насчитать их около 100 штук (100 ± 10), а для этого нужно проанализировать объем примерно в 5000 л.

5. Вопрос. Полагаете ли Вы объем пробы в 1000 литров, принятый в Англии, неоправданно большим?

Ответ. Нет. И дело тут не в объемах, а в регламентах отбора проб у них и у нас. Это принципиально разные регламенты пробоотбора.

Так, по английскому регламенту отбор проб производится ежедневно с отбором одной пробы в течение суток, это мониторинг в прямом смысле. По нашему регламенту отбирают

пробу примерно 1 раз в месяц в течение примерно (допустим с ПробоКонГом) 30 минут. Нетрудно сообразить, что вероятность обнаружить присутствующий случайным образом во времени патоген по нашему регламенту в 1440 раз меньше, чем по британскому. Так, в месяц мы отбираем пробу (наблюдаем за водой) в течение, допустим, 30 минут, англичане же в течение $60 \times 24 \times 30$ [(минут в часе)х(число часов в сутках)х(число суток в месяце)]=43200 минут. Делим $43200/30=1440$. При такой разнице в регламентах корректная оценка оправданности объема суточной пробы потребовала бы несколько иного, чем в данной статье, подхода к оценке риска - с учётом времени и расхода выдаваемой воды, и мы её не проводили.

6. Вопрос. Считаете ли Вы целесообразным принять у нас регламент пробоотбора, аналогичный английскому?

Ответ. Это вопрос в основном к гигиенистам и специалистам по водоснабжению, разницу в рисках мы показали. В пределах нашей компетенции, если в нашей стране такой регламент возникнет, то "КомрисФильтр" может разработать и изготовить аппаратуру для мониторинга воды на станциях водоподготовки по такому регламенту.

7. Вопрос. Но анализ по английскому регламенту очень дорог, будет ли оправдано такое введение?

Ответ. Дороговизна - сущность относительная. Мы некоторое время назад оценивали возможную стоимость такого контроля для Зеленограда (110 000 кубических метров воды в сутки). Если выполнять непрерывный анализ по английскому регламенту пробоотбора и методикам исследования пробы (иммуномагнитная сепарация с иммунофлуоресцентным мечением), то стоимость воды для потребителей увеличится примерно на 0.4%. При существующих темпах роста тарифов ЖКХ, эта наценка может оказаться приемлемой.

8. Вопрос. Получается, что принятый по СанПиНу объем пробы в 50 литров не обеспечивает безопасности и его нужно увеличивать и менять СанПиН?

Ответ. Мы надеемся, что данная статья окажется полезной для принятия решений по нормированию. Мы рассмотрели теоретические вопросы определения риска. Как с этой точки зрения выглядит существующая практика паразитологического анализа? Санитарные службы отбирают пробы по 50 литров и, не заморачиваясь определением эффективности метода, ищут в них патогены. Какую безопасность они обеспечивают при нулевом результате? Возьмем сформулированное нами правило безопасности $V_{smp}=5 V_{std}/E$ и определим из него наоборот: при заданном объеме пробы $V_{smp}=50$ "нормативные" объемы $-V_{std}$, т.е. объемы в которых вероятность содержания 1 патогена (риск) при разных эффективностях метода определения будет меньше 0.01.

<i>E</i>	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
<i>Vstd (л)</i>	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Как видно, при эффективности 1 "нормативный" объем равен английскому – 10 литров, а при 0.1 - 1 литр. Таким образом, для повышения безопасности можно увеличивать и объем пробы и эффективность метода определения. Вопрос же о величине нормативного объема находится в компетенции гигиенистов.

9. Вопрос. Уточните, пожалуйста, какая же нужна кратность нормативного объема для обеспечения риска менее 0.01: 5 или 6? В заключении статьи написано, что 6, а в резюме – 5?

Ответ. Это зависит от суммарной погрешности методики определения. Из рисунка 1 видно, что при кратности 6 риск менее 0.01 обеспечивается при погрешности методики вплоть до

0.25, что позволяет калибровать методику не очень тщательно, скажем ограничиться всего тремя повторами. При кратности 5 риск менее 0.01 обеспечивается при погрешности методики вплоть до 0.125, т.е., как показано в тексте, до практически реальной величины при разумной тщательности выполнения. Начинать следует с определения эффективности методики и её погрешности.

10. Вопрос. Вы определили риск как вероятность математического ожидания 1 патогена в нормативном объеме воды. При таком определении существуют вероятности нахождения в отдельных нормативных объемах и 2-х и 3-х патогенов. Не правильнее ли было бы определить риск не как математическое ожидание 1 патогена, а как вероятность присутствия 1 патогена в нормативном объеме? Что изменится в объемах пробы?

Ответ. Я полагаю, что удобнее оперировать математическим ожиданием. Норматив устанавливается гигиенистами на основе наблюдений и экспериментов, а их результатом является математическое ожидание. Поэтому, мне представляется логичнее "плясать" от него. Что касается вероятностей присутствия одного и более патогенов, то они легко оцениваются при продолжении приведенных выше рассуждений. Так, если бы математическое ожидание 1 в нормативном объеме было бы достигнуто, тогда вероятности присутствия 1,2,3,4 патогенов в нормативных объемах из дифференциальной формы распределения Пуассона равнялись бы значениям во втором столбце этой таблицы. Но на основании исследования пробы воды мы установили, что вероятность достижения математического ожидания 1 (риск-R) всего 0.00674, и на эту величину нам следует умножить вероятности второго столбца, чтобы получить вероятности встречи этих чисел патогенов в нормативных объемах исследуемой воды (столбец 3).

Число патогенов, присутствующих в нормативном объеме	Вероятность присутствия этого числа патогенов в нормативных объемах при математическом ожидания равном 1.	Вероятность присутствия этого числа патогенов в нормативных объемах исследованной воды при нулевом результате исследования пятикратного нормативного объема пробы (T=5, R=0.00674, см. таблицу), не более.
1	2	3
1	0.368	0.0025
2	0.184	0.0012
3	0.0613	0.0004
4	0.0153	0.0001

Кстати, если суммировать вероятности третьего столбца, то видно, что вероятность присутствия патогенов в нормативных объемах, определенная при этих условиях и результате исследования, весьма мала – не более 0.0042.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Кузьмин Е.С., Кузьмин С.М., Белова Е.Г., Романенко Н.А., "Опыт использования распределения малых чисел Пуассона для оценки объемов проб воды при санитарно-

паразитологическом исследовании", Информационный бюллетень "Здоровье населения и среда обитания", М. 2003, №10, стр.41-45.

Интернет версия: <http://www.mtu-net.ru/comrisfilter/aboutvolume.doc>

2.Программа "Matlab", version 5.2.0.3084, of the MathWorks, Inc., 1998, "Tour>Date Analysis and Visualisation>Statistics>Probability Distributions>Poisson's.

3.СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества", М, 2001, 112с.

4. О.Н. Кассандрова , В.В. Лебедев, "Обработка результатов наблюдений", издательство "Наука", М., 1970, стр.58.

5.[Method 1623: Cryptosporidium and Giardia in Water by Filtration/IMS/FA](http://www.epa.gov/nerlcwww/1623ap01.pdf) ,
<http://www.epa.gov/nerlcwww/1623ap01.pdf>