

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОГО РАЙОНА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

Янкович Е.П.<sup>1</sup>, Осипова Н.А.<sup>1</sup>, Льготин В.А.<sup>2</sup>, Лукашевич О.Д.<sup>3</sup>, Янкович К.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

<sup>2</sup> ОАО «Томскгеомониторинг»

<sup>3</sup> ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

---

В статье обсуждаются результаты оценки риска для здоровья населения, обусловленного потреблением подземной воды без предварительной водоподготовки жителями Томского района Томской области. На основании данных о химическом составе воды различных водоносных комплексов, усредненных по большому количеству проб за длительный период наблюдений, отобраны вещества для оценки риска здоровью. Рассчитаны среднесуточные дозы поступления элементов в организм человека с потребляемой подземной водой и показатель неканцерогенных эффектов для здоровья человека. К приоритетным веществам, содержащимся в подземной воде, имеющим индекс опасности для здоровья человека более 0,05, отнесены: железо общее, фтор, марганец. По значению суммарного коэффициента опасности проведен сравнительный анализ качества воды различных водоносных горизонтов и сделан вывод о приемлемости уровня риска здоровью человека.

---

Ключевые слова: подземные воды, химический состав, оценка риска, здоровье населения.

## CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER AS A RISK FACTOR FOR HEALTH (TOMSK REGION OF TOMSK REGION AS AN EXAMPLE)

Yankovich E.P.<sup>1</sup>, Osipova N.A.<sup>1</sup>, Lgotin V.A.<sup>2</sup>, Lukashevich O.D.<sup>3</sup>, Yankovich K.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University

<sup>2</sup> OJSC Tomskgeomonitoring

<sup>3</sup> Tomsk State University of Architecture and Building

---

Risk for public health due to the consumption of underground water without preliminary water treatment is estimated. On the basis of data on the chemical water composition of different aquifers, averaged over a large number of samples and a long observation period, the substances for health risk assessment are selected. The average daily dose of ions entering into the human body with the consumed underground water and non-carcinogenic effects for human health are calculated. Priority substances contained in the underground water and having the hazard index for human health more than 0.05 are: iron, fluorine, manganese. According to the value of the total hazard index the comparative analysis of various water quality aquifers is performed. The conclusion about the acceptability of level risk from exposure of ions in this water is made.

---

Keywords: ground water, chemical composition, risk evaluation, human health.

### Введение

Источники питьевого децентрализованного водоснабжения - важнейший ресурс питьевой воды для жителей сельской местности, а также садово-огороднических товариществ, поселков коттеджного типа, число которых увеличивается с каждым годом. Водоснабжение этих категорий населения осуществляется в основном за счет подземных источников. Специфика использования пресных подземных вод в данном случае заключается в том, что, как правило, используют подземные воды для питьевого водоснабжения без предварительной водоподготовки.

Основная масса различных химических веществ, как необходимых для жизнедеятельности, так и токсичных, поступает в организм человека пероральным путем с питьевой водой. Механизмы воздействия на человека факторов, загрязняющих среду

обитания, особенно при низких уровнях, пока недостаточно изучены. Они могут быть как прямыми, так и опосредованными. Использование методологии оценки риска позволяет оценивать опасность по реальным дозовым нагрузкам, с которыми сталкивается человек, с учетом всех факторов экспозиции (длительности воздействия, возраста человека, дозы) [3; 4; 6; 8].

**Цель исследования** – оценка потенциального риска для здоровья населения, обусловленного потреблением подземной воды из различных водоносных комплексов без предварительной водоподготовки.

Для проведения исследований авторами был выбран Томский район Томской области. Район является пригородным, на ограниченной площади сконцентрированы различные производства, два крупных промышленных центра - города Томск и Северск, также мелкие населенные пункты с общим числом жителей около 650 тысяч, что создает достаточно высокую техногенную нагрузку на территорию [5]. На территории Томского района находится один из крупнейших в России подземный водозабор, снабжающий питьевой водой г. Томск, площадные водозаборы подземных вод г. Северска. Кроме этого, в населенных пунктах имеются небольшие водозаборы и множество одиночных эксплуатационных скважин.

По данным Томской районной больницы, сельское население, проживающее вблизи Томска, имеет высокий уровень и особенности заболеваемости, относительно других районов области. Во всех возрастных группах отмечается рост числа заболеваний эндокринной системы, крови и кроветворных органов, онкологических заболеваний, психических расстройств, сахарного диабета, органов мочеполовой системы [5]. Качество воды оказывает непосредственное влияние на уровень заболеваемости населения. Значительная часть сельского населения использует воду из собственных колодцев и скважин. Основным источником водоснабжения для жителей коттеджных поселков так же являются одиночные скважины. Качество этой воды низкое, присутствие исходным природным водам высокие концентрации железа, марганца, местами – аммония почти не снижаются перед использованием потребителем [2].

По результатам многолетних наблюдений за содержанием химических веществ в подземных водах, обнаружено, что ряд компонентов содержится в повышенных концентрациях, часто превышающих ПДК. Использование данных вод без предварительной водоподготовки создает угрозу здоровью населения.

По санитарно-химическим показателям не соответствуют нормативным требованиям в среднем более 50% проб воды нецентрализованного водоснабжения в 2008-2012 гг. в Томской области в целом [1].

Высокий процент проб воды, не соответствующих показателям СанПин 2.1.4.107401 «Питьевая вода...», превышающий средний показатель по России, связан с рядом объективных и субъективных причин, касающихся присутствия в природных водах загрязнителей естественного происхождения (например, высокое содержание железа и марганца в различных формах), отсутствия технологического оборудования для водоочистки, а также невыполнения требований СанПин 2.1.4.117502 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников».

### **Материалы и методы исследований**

В работе использованы данные ОАО «Томскгеомониторинг», включающие результаты химических анализов подземной воды, отобранной из режимных скважин, вскрывающих воды различных стратиграфических подразделений, расположенных на территории Томского района. Стационарные наблюдения за режимом подземных вод мезо-кайнозойских отложений и палеозойских образований на рассматриваемой территории ведутся с 1962 года.

С учетом законов распределения были получены средние характеристики концентраций элементов в воде каждого комплекса. Всего было использовано более 8400 результатов химических анализов подземной воды [7]. Анализ воды проводился по стандартным аккредитованным методикам.

Оценка риска развития неканцерогенных эффектов проводилась согласно руководству по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду – Р. 2.1.10. – 1920–04 [6].

Среднесуточная доза поступления химического вещества в течение жизни с питьевой водой рассчитывалась по следующей формуле:

$$ССД = \frac{[C \times V \times ED \times EF]}{[BW \times AT \times 365]}, \quad (1)$$

где: ССД – среднесуточная доза поступления химического вещества в течение жизни, мг/(кг × сутки); С - концентрация вещества в питьевой воде, мг/л; V - величина водопотребления, л/день; ED – продолжительность воздействия, 30 лет; EF – частота воздействия – 350 дней в год; BW – масса тела человека, 70 кг; AT – период усреднения экспозиции – 30 лет; 365 – число дней в году.

Риск развития неканцерогенных эффектов оценивался по значениям коэффициента опасности (формула 2). Коэффициент опасности (КО) – отношение воздействующей дозы (или концентрации) химического вещества к его безопасному (референтному) уровню воздействия.

$$КО = \frac{ССД}{ПД}, \quad (2)$$

где ПД – пороговая (референтная) доза, мг/кг×сут [6].

### **Результаты и их обсуждение**

На территории района выделено четыре водоносных комплекса, воды которых в той или иной мере используются населением для хозяйственно-питьевых нужд.

Воды неоген-четвертичных отложений являются пресными, в основном гидрокарбонатными кальциевыми, в отдельных случаях магниевыми или смешанного катионного состава. Общая минерализация подземных вод изменяется в широких пределах: от 136 до 1191 мг/л, что можно объяснить как естественными причинами, так и влиянием техногенной нагрузки. Концентрации сульфатов, хлоридов, натрия и калия в среднем не превышают 10 мг/л. В водах комплекса содержится значительное количество кремниевой кислоты (до 39 мг/л). Содержание иона аммония в воде в среднем составляет 0,82 мг/кг, изменяясь в диапазоне от 0,2 до 3,7 мг/л.

Характерными для вод данного комплекса являются высокие содержания железа и марганца, концентрации которых в водах варьируются в широких пределах (от 0,8 до 29 и от 0,02 до 13 мг/л соответственно). В пределах гг. Томска и Северска и прилегающих к ним территорий воды отложений имеют измененный химический состав. Часто это воды хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, очень жесткие, слабощелочные и щелочные, с величиной минерализации от 0,3 до 1,0 мг/л и более. Именно воды данного горизонта в основном и используются населением для нецентрализованного водоснабжения.

Воды палеогеновых отложений пресные, с величиной минерализации 250-650 мг/л, среда вод нейтральная и слабощелочная. Воды по своему химическому составу являются гидрокарбонатными магниевыми, часто смешанного катионного состава. Повсеместно в водах палеогеновых отложений присутствуют ионы аммония, их концентрации составляют 0,1 – 2,8 мг/л. Так же как и для вышележащего водоносного комплекса, для вод палеогенового комплекса характерно высокое содержание железа и марганца. Концентрации железа в подземных водах данных отложений изменяются в широких пределах (от 0,1 до 15 мг/л). Содержание марганца составляет в основном от 0,02 до 0,6 мг/л. Воды палеогеновых отложений используются для централизованного водообеспечения населения гг. Томска и Северска.

Подземные воды меловых отложений в целом являются пресными с величиной минерализации от 160 до 810 мг/л, на отдельных участках отмечаются солоноватые воды с минерализацией, достигающей 1450-4087 мг/л. По своему химическому составу воды меловых отложений весьма разнообразны. В южной части района они являются чаще гидрокарбонатными или хлоридно-гидрокарбонатными, кальциевыми либо натриево-кальциевыми нейтральными и слабощелочными. По мере увеличения минерализации вод

меловых отложений в них растет содержание ионов хлора и натрия, анионный состав вод становится гидрокарбонатно-хлоридным или хлоридным, катионный состав - кальциево-натриевым или натриевым. В водах меловых отложений отмечается малое количество сульфатов (0-14,6 мг/л) и нитратов (1-2 мг/л). Концентрации аммония также невысоки и изменяются от 0,1 до 2,1 мг/л, а на участках распространения солоноватых вод их содержание в целом несколько выше и достигает иногда 2,5-3,3 мг/л. Воды меловых отложений характеризуются значительным количеством в них железа общего и марганца.

Воды палеозойских отложений пресные (минерализация от 200 до 700 мг/л), умеренно жесткие и жесткие, нейтральные и слабощелочные на большей площади исследуемой территории. По химическому составу они относятся к гидрокарбонатному типу, преимущественно кальциевые и магниевые-кальциевые. Содержание сульфатов в водах палеозойских образований в большинстве не превышает 10 мг/л. Как и в вышележающих водоносных комплексах, воды палеозойских образований насыщены железом общим, средняя концентрация составляет 2,3 мг/л.

Доля этих вод в обеспечении населения водой невелика, они в основном используются в юго-восточной части Томского района.

В соответствии с методологией оценки риска для здоровья населения по формулам 1 и 2 были определены количественные показатели риска: среднесуточная доза поступления и коэффициент опасности как показатель токсического эффекта химического вещества при потреблении подземной воды без предварительной водоподготовки (табл. 1).

Для вод всех водоносных горизонтов к приоритетным веществам относятся железо общее и фтор, имеющие индекс опасности для здоровья человека более 0,05. Приоритетным веществом для вод неоген-четвертичных отложений является марганец; молибден – для вод неоген-четвертичных и меловых отложений; кальций и магний – для вод палеозойских образований и палеогеновых отложений.

Таблица 1. Среднесуточные дозы поступления элементов в организм человека с потребляемой подземной водой и коэффициент опасности для здоровья человека

Вещество	Водоносный комплекс	ПД	С	ССД	КО	Водоносный комплекс	ПД	С	ССД	КО
Нитриты	Неоген-четвертичный	1,0E-01	6,0E-02	1,6E-03	0,02	Палеогеновый	1,0E-01	4,6E-02	1,3E-03	0,01
Нитраты		1,6E+00	7,9E-01	2,2E-02	0,01		1,6E+00	7,0E-01	1,9E-02	0,01
Кальций		4,1E+01	6,2E+01	1,7E+00	0,04		4,1E+01	7,2E+01	2,0E+00	<b>0,05</b>
Магний		1,1E+01	1,3E+01	3,4E-01	0,03		1,1E+01	1,6E+01	4,3E-01	0,04
<b>Фтор</b>		6,0E-02	2,2E-01	6,0E-03	<b>0,1</b>		6,0E-02	2,0E-01	5,5E-03	<b>0,09</b>
Алюминий		1,0E+00	2,0E-01	5,5E-03	0,005		1,0E+00	1,0E-01	2,7E-03	0,002
<b>Железо</b>		3,0E-01	6,5E+00	1,8E-01	<b>0,59</b>		3,0E-01	4,0E+00	1,1E-01	<b>0,37</b>
<b>Марганец</b>		1,4E-01	3,4E-01	9,3E-03	<b>0,07</b>		1,4E-01	2,0E-01	5,5E-03	0,04
Кобальт		2,0E-02	1,9E-03	5,2E-05	0,003		2,0E-02	1,0E-03	2,7E-05	0,001
Никель		2,0E-02	1,1E-02	3,0E-04	0,02		2,0E-02	8,3E-03	2,3E-04	0,01
Стронций		6,0E-01	3,4E-01	9,3E-03	0,02		6,0E-01	4,0E-01	1,1E-02	0,02
Молибден		5,0E-03	1,2E-02	3,2E-04	0,06		5,0E-03	4,4E-03	1,2E-04	0,02
Цинк		3,0E-01	4,2E-02	1,2E-03	0,004		3,0E-01	1,9E-02	5,3E-04	0,002
Медь		1,9E-02	2,7E-02	7,4E-04	0,04		1,9E-02	1,2E-02	3,2E-04	0,02
Ртуть		3,0E-04	4,0E-04	1,1E-05	0,04		3,0E-04	2,0E-04	5,5E-06	0,02
Нитриты	Меловой	1,0E-01	4,0E-02	1,2E-03	0,01	Палеозойский	1,0E-01	4,9E-02	1,3E-03	0,01
Нитраты		1,6E+00	4,0E-01	1,1E-02	0,007		1,6E+00	7,0E-01	1,9E-02	0,01
Кальций		4,1E+01	4,3E+01	1,2E+00	0,03		4,1E+01	9,0E+01	2,5E+00	<b>0,06</b>
Магний		1,1E+01	1,6E+01	4,5E-01	0,04		1,1E+01	2,1E+01	5,6E-01	<b>0,05</b>
<b>Фтор</b>		6,0E-02	2,2E-01	6,0E-03	<b>0,1</b>		6,0E-02	2,1E-01	5,8E-03	<b>0,09</b>
Алюминий		1,0E+00	1,0E-01	2,7E-03	0,003		1,0E+00	1,0E-01	2,7E-03	0,003
<b>Железо</b>		3,0E-01	4,8E+00	1,3E-01	<b>0,44</b>		3,0E-01	2,3E+00	6,3E-02	<b>0,21</b>
Марганец		1,4E-01	1,0E-01	2,7E-03	0,02		1,4E-01	2,0E-01	5,5E-03	0,04
Кобальт		2,0E-02	5,0E-04	1,4E-05	0,0007		2,0E-02	1,9E-03	5,2E-05	0,003
Никель		2,0E-02	1,2E-02	3,2E-04	0,02		2,0E-02	7,2E-03	2,0E-04	0,01
Стронций		6,0E-01	5,0E-01	1,4E-02	0,02		6,0E-01	5,0E-01	1,4E-02	0,02
<b>Молибден</b>		5,0E-03	1,9E-02	5,2E-04	<b>0,1</b>		5,0E-03	2,0E-03	5,5E-05	0,01
Цинк		3,0E-01	1,2E-02	3,2E-04	0,001		3,0E-01	1,1E-02	3,0E-04	0,001
Медь		1,9E-02	4,6E-03	1,3E-04	0,007		1,9E-02	5,5E-03	1,5E-04	0,008
Ртуть		3,0E-04	5,0E-04	1,4E-05	0,045		3,0E-04	2,0E-04	5,5E-06	0,018

Примечание: ПД – пороговая (референтная) доза, мг/кг×сутки [6]. ССД – среднесуточная доза поступления химического вещества в течение жизни, мг/(кг × сутки); С - концентрация вещества в питьевой воде, мг/л; КО – коэффициент опасности. Выделены приоритетные вещества.

При воздействии компонентов, содержащихся в подземной воде, на одни и те же органы и системы организма человека наиболее вероятным типом их комбинированного действия является суммация [4; 6]. Значения величин индивидуальных и суммарных коэффициентов опасности неканцерогенных эффектов для отдельных органов и систем человека от действия химических веществ воды исследуемых водоносных горизонтов показал допустимые уровни (менее 1) для всех водоносных горизонтов (табл. 2).

Таблица 2. Величины суммарных коэффициентов опасности и поражаемые органы и системы

Поражаемые органы и системы	Неоген-четвертичный	Палеогеновый	Меловой	Палеозойский
Болезни системы крови (NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , Fe, Mn, Co, Ni, Zn)	0,71	0,44	0,49	0,29
Болезни ЦНС (Al, Mn, Hg)	0,11	0,06	0,07	0,06
Болезни сердечно-сосудистой системы (NO <sub>3</sub> , Ni)	0,03	0,02	0,02	0,02
Синдром гиперкальцемии (Ca)	0,04	0,05	0,03	0,06
Болезни почек (Ca, Mo, Hg)	0,14	0,09	0,18	0,09
Заболевания иммунной системы (Fe, Hg)	0,63	0,38	0,48	0,23
Заболевания желудочно-кишечного тракта (Cu, Ni)	0,05	0,03	0,02	0,02
Нарушения слизистого покрова (Fe)	0,59	0,37	0,44	0,21
Заболевания кожи (Fe)	0,59	0,37	0,44	0,21
Хронические заболевания печени (Cu, Ni)	0,05	0,03	0,02	0,02
Костная система (F, Sr)	0,12	0,12	0,12	0,12

В структуре органов и систем, подвергаемых опасности вредного действия химических веществ воды, преобладает опасность поражения системы крови (КО 0,29 - 0,71), иммунной системы (КО 0,23 - 0,63), возникновения заболеваний кожи и слизистых покровов (КО 0,21 - 0,59), болезни почек (КО 0,09-0,18).

Общий суммарный риск развития неканцерогенных эффектов при регулярном потреблении воды неоген-четвертичного водоносного комплекса составляет 1,0; палеогенового – 0,7; мелового – 0,8; палеозойского – 0,6. Вклад различных химических веществ в суммарную величину коэффициента опасности, при регулярном поступлении в организм человека с водой, показан на рисунке 1. Наблюдается довольно схожая картина по всем водоносным горизонтам. Воды горизонтов более глубокого залегания характеризуются меньшими коэффициентами опасности.

### **Выводы**

Уровень риска неканцерогенных эффектов для здоровья населения Томского района, обусловленного потреблением подземной воды из различных водоносных комплексов без предварительной водоподготовки, является допустимым.

К приоритетным веществам, содержащимся в подземной воде, относятся: железо, фтор, молибден, марганец.

Потребление воды без предварительной водоподготовки вызывает опасность поражения системы крови (КО 0,29 - 0,71), иммунной системы (КО 0,23 - 0,63), возникновения заболеваний кожи и слизистых покровов (КО 0,21 - 0,59), болезни почек (КО 0,09-0,18).

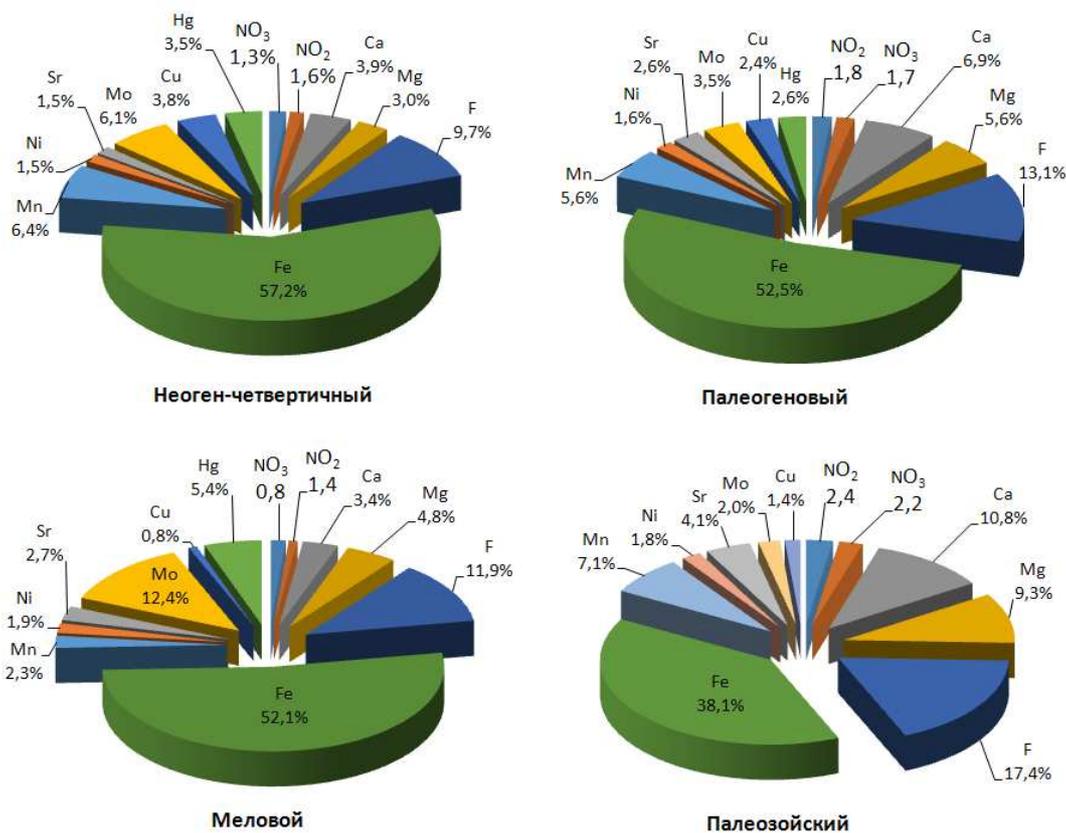


Рис. 1. Вклад различных химических веществ в суммарную величину коэффициента опасности.

### Список литературы

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2012 г. / глав. ред. Адам А.М. – Томск : Дельтаплан, 2013. - 172 с.
2. Лукашевич О.Д. Экологический риск при использовании источников нецентрализованного питьевого водоснабжения // Безопасность жизнедеятельности. - 2007. - № 3. - С. 15-21.
3. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска / [под ред. Щербо А.П.]. - СПб. : МАПО, 2002. – 370 с.
4. Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П. Тяжелые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека // Фундаментальные исследования. – 2013. - № 8 (3). - С. 681-686.
5. Рихванов Л.П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Рихванов Л.П. [и др.]. – Томск : Курсив, 2006. - 216 с.
6. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Руководство Р. 2.1.10.1920-04. - М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. – 273 с.

7. Янкович Е.П., Жульмина Г.А., Лыготин В.А., Макушин Ю.В. К оценке эколого-геохимического состояния подземных вод (на примере полигона «Томский») // Подземная гидросфера : материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск : Географ, 2012. – С. 280-284.
8. U.S. Environmental Protection Agency. 1998. Guidelines for ecological assessment. EPA/630/R-95/002F. Washington, DC.

**Рецензенты:**

Дутова Е.М., д.г.-м.н., профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Язиков Е.Г., д.г.-м.н., профессор кафедры геоэкологии и геохимии ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.