

УДК 911.2:556.388

UDC 11.2:556.388

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ГЕОЭКОЛОГИ- ЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «ПОЛИГОН – ПРИЛЕГАЮЩАЯ ТЕРРИТОРИЯ»

ESTIMATION OF POLLUTION OF UNDERGROUND WATERS IN THE GEOECOLOGICAL SYSTEM “RANGE – ADJOINING TERRITORY”

И. В. Чернова,
*аспирант кафедры географии и методики
преподавания географии БГПУ,
заместитель директора по учебной
работе ГУО «Гимназия № 1
имени Ф. Скорины»*

I. Chernova,
*PhD Student of the Chair of Geography
and Methods of Teaching Geography of BSPU,
Vice-Principal on Instructional Work
of the SEI “Gymnasium No 1
named after F. Skoryna”*

Поступила в редакцию 28.12.15.

Received on 28.12.15.

На примере Минской области изучено влияние полигонов ТКО на грунтовые воды. Установлены географические различия по индексу их загрязнения. Показано, что геолого-гидрогеологические условия и инженерно-технические сооружения являются факторами, позволяющими минимизировать риск загрязнения грунтовых вод. Снижает риск загрязнения совершенствование системы обращения с отходами (внедрение отдельного сбора отходов, использование их в качестве вторичных материальных ресурсов и др.). Предложены мероприятия по минимизации влияния полигонов на грунтовые воды.

Ключевые слова: грунтовые воды, твердые коммунальные отходы, полигон, макрокомпоненты, тяжелые металлы, индекс загрязнения, приоритетные показатели, геолого-гидрогеологические условия.

The influence of solid municipal waste polygons on subsoil waters has been studied on the example of Minsk region. The geographical difference in water contamination has been determined according to the index of water pollution. It is pointed out that geology-hydrogeological conditions and engineering and technical facilities are the factors which allow to minimize the risk of subsoil waters pollution. The perfection of the waste management system reduces the risk of pollution (sorting out of all the municipal waste, its recycling and so on). Some measures have been brought forward to minimize the influence of polygons on subsoil waters.

Keywords: underground waters, solid communal wastes, range, macrocomponents, heavy metals, index of pollution, priority indicators, geologic-hydrogeologic conditions.

Введение. Главным недостатком депонирования отходов на полигонах является тот факт, что период полной деградации отходов в анаэробных условиях продолжается на протяжении нескольких сотен лет [2, с. 10–15]. Гарантировать надежность работы природоохранных сооружений в течение такого срока не представляется возможным, поскольку самая качественная противоточная система перестанет выполнять свои защитные функции по причине естественного процесса старения.

Для Минской области проблема захоронения отходов особенно актуальна, так как большинство полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) исчерпали свой резерв с точки зрения срока эксплуатации. Кроме того, их строительство осуществлялось без проведения инженерно-геологических изысканий, без составления технического проек-

та, в силу чего многие из них не соответствуют современным экологическим требованиям [2, с. 133]. В этой связи актуальность оценки загрязнения грунтовых вод (ГВ) фильтратами полигонов очевидна, так как она позволяет установить факторы, влияющие на степень загрязнения, и определить перспективные способы минимизации геоэкологического риска при строительстве новых полигонов складирования.

Методика и объект исследования.

В качестве объекта исследования определено 10 полигонов Минской области, с объемом ежегодно захораниваемых отходов свыше 15 тыс. тонн. В задачи исследований входило:

- количественная оценка опасности фильтрата ГВ;
- выявление приоритетных загрязняющих веществ в ГВ;

- разработка рекомендаций по минимизации степени воздействия фильтрата на ГВ.

Для оценки воздействия полигонов ТКО на грунтовые воды использовались результаты анализов проб, отобранных по заказу пользователей (жилищно-коммунальные хозяйства, водоканал) в 2014 г. в рамках постоянного локального мониторинга и данные исследований, проведенных сотрудниками РУП «БелНИЦ “Экология”» в рамках выполнения Государственной Научно-технической программы «Экологическая безопасность» в 2009–2010 гг. [2].

Для оценки воздействия полигонов на ГВ использован геоэкологический показатель – индекс (коэффициент) загрязнения (IZ), представляющий собой отношение концентрации загрязняющих веществ к их ПДК [2; 4]. Степень загрязненности грунтовых вод иллюстрирует суммарный индекс загрязнения ($SIZ_{ГВ}$), который рассчитывался нами по формуле:

$$SIZ_{ГВ} = \sum \frac{C}{ПДК}, \quad (1)$$

где C – концентрация показателя в ГВ (мг/дц³); ПДК – значение предельно допустимой концентрации для данного показателя (мг/дц³).

Для расчета индекса загрязнения ГВ на каждом репрезентативном полигоне выбиралась скважина с преобладанием максимальных концентраций загрязняющих веществ. Для качественной оценки грунтовых вод использовалось понятие «приоритетные показатели». Принято, что показатель является приоритетным в случае его обнаружения в количестве, превышающем ПДК [1; 2; 4]. Если в воде присутствует несколько веществ 1–2 класса опасности, лимитируется показатель вредности, то есть сумма индексов загрязнения ими не должна превышать единицы [1].

Результаты исследования и их обсуждение. Для оценки влияния полигонов на грунтовые воды репрезентативные полигоны дифференцированы на 5 групп. В основе дифференциации лежат геолого-генетические комплексы пород (аллювиально-болотные, флювиогляциальные и моренные), залегающие в основании полигонов, и наличие (отсутствие) противофильтрационного экрана.

В группу I вошел полигон ТКО г. Борисова, в основании которого преобладают песча-

ные грунты, перекрытые болотно-аллювиальными образованиями. Здесь маломощная зона аэрации и отсутствует противофильтрационный экран. Анализ рассчитанных нами индексов загрязнения показал, что выше норматива только концентрация азота аммонийного (1,5 ПДК) и нефтепродуктов (1,8 ПДК) (таблица 1, 2).

Вместе с тем, по данным, полученным специалистами РУП «Бел НИЦ “Экология”» в рамках выполнения Государственной Научно-технической программы «Экологическая безопасность» в 2009–2010 гг., грунтовые воды полигона ТКО г. Борисова были наиболее загрязнены среди полигонов Минской области. Так, содержание азота аммонийного превышало ПДК в 38,9, хлоридов – 8,3, сухого остатка – 6,2, кадмия 11,7, свинца – 1,9 [2, с. 64]. Суммарный индекс загрязнения (6,21) снизился в сравнении с 2009 г. (54,34) более чем в 8 раз, в результате чего полигон по данному показателю с первого места сместился на пятую позицию (рисунок 1).

Снижение концентрации загрязняющих веществ в ГВ полигона г. Борисова обусловлено созданием дренажной системы, а также частичной системы сбора и отвода дождевых и талых вод. Не менее важной причиной, на наш взгляд, является изменение структуры захораниваемых отходов, снижение удельного веса отходов производства, в том числе экологоопасных, что явилось следствием использования отходов производства в качестве сырья, отдельного сбора отходов потребления и извлечения ВМР.

В группу II вошли полигоны г. Молодечно и Солигорска, расположенные в области развития флювиогляциальных отложений, на песчаных грунтах с маломощной зоной аэрации и не обустроенные противофильтрационными экранами. Несмотря на одинаковые геолого-гидрогеологические условия, между полигонами группы четко прослеживаются различия по концентрации загрязняющих веществ. В грунтовых водах полигона г. Солигорска, оборудованного замком из глины, концентрация загрязняющих веществ в пределах норматива, исключая азот аммонийный (5,1 ПДК) и хлориды (1,86 ПДК) (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание макрокомпонентов (мг/дц³) и индекс загрязнения грунтовых вод в системе «полигон – прилегающая территория»

Полигон	Макрокомпоненты					
	Азот аммонийный (NH ₄)	Хлориды (Cl)	Сульфаты (SO ₄)	Азот нитратный (NO ₃)	Полифосфаты (PO ₄)	Сухой остаток
ПДК, мг/дц ³	2	350	500	45	3,5	1000
г. Борисов	3,0	208,7	46,9	0,40	0,01	630
IZ	1,5	0,59	0,09	0,01	<0,01	0,63
г. Вилейка	2,00	30,4	2,0	0,5	0,03	338
IZ	1,0	0,12	<0,01	0,01	0,01	0,34
г. Дружный	0,1	305,3	325,1	0,28	0,02	593
IZ	0,05	0,87	0,65	<0,01	0,01	0,59
г. Жодино	5,1	12,01	3,70	13,42	0,06	242
IZ	2,6	0,03	<0,01	0,3	0,02	0,24
г. Заславль	0,5	84,28	14,80	16,48	0,01	369
IZ	0,25	0,24	0,03	0,37	<0,01	0,37
г. Марьина Горка	7,0	1725,7	172,8	4,6	0,03	5000
IZ	3,5	4,93	0,35	0,1	<0,01	5,0
г. Молодечно	16,0	1797,3	386,8	335,0	0,05	8590
IZ	8,0	5,14	0,77	7,44	0,01	8,59
г. Столбцы	10,0	1278,8	16,5	3,6	0,02	300
IZ	5,0	3,65	0,03	<0,01	<0,01	0,3
г. Смолевичи	0,4	43,5	24,3	23,7	0,01	338
IZ	0,2	0,12	0,05	0,53	<0,01	0,33
г. Солигорск	10,2	379,9	4,52	1,09	0,01	860
IZ	5,1	1,86	<0,01	<0,01	<0,01	0,86

Таблица 2 – Содержание микроэлементов, органических соединений (мг/дц³) и индекс загрязнения грунтовых вод в системе «полигон – прилегающая территория»

Полигон	Микроэлементы					Органические соединения		
	Кобальт (Co)	Медь (Cu)	Цинк (Zn)	Свинец (Pb)	Кадмий (Cd)	Нефтепродукты	Фенолы	СПАВ
ПДК, мг/л	0,1	1,0	1,0	0,03	0,01	0,1	0,1	0,5
г. Борисов	0,0116	0,026	0,0361	0,0243	0,0027	0,177	0,006	0,144
IZ	0,12	0,03	0,04	0,81	0,27	1,77	0,06	0,29
г. Вилейка	0,0030	0,0021	0,0078	0,0102	0,001	0,030	0,002	0,024
IZ	0,030	0,0021	0,0078	0,3466	0,12	0,3	0,02	0,05
г/п Дружный	0,0032	0,0080	0,0349	0,0078	0,001	0,034	0,004	0,033
IZ	0,03	0,01	0,04	0,26	0,11	0,34	0,04	0,07
г. Жодино	0,0036	0,0048	0,0573	0,0088	0,001	0,067	0,013	0,024
IZ	0,04	0,01	0,06	0,29	0,10	0,67	0,13	0,05
г. Заславль	0,0061	0,0031	0,0055	0,0169	0,0023	0,023	0,006	0,028
IZ	0,06	<0,01	0,01	0,56	0,23	0,23	0,06	0,06
г. Марьина Горка	0,0793	0,0132	0,0888	0,0723	0,0146	0,645	0,096	0,937
IZ	0,79	0,01	0,9	2,41	1,46	6,45	0,96	1,87
г. Молодечно	0,1486	0,1425	0,4960	0,1991	0,0449	0,321	0,012	0,152
IZ	1,49	0,14	0,50	6,64	4,49	3,21	0,12	0,3
г. Смолевичи	0,0029	0,0038	0,0094	0,0213	0,001	0,067	0,004	0,026
IZ	0,03	<0,01	0,01	0,71	0,11	0,67	0,04	0,05
г. Солигорск	0,0130	0,0040	0,0044	0,0190	0,0051	0,067	0,005	0,10
IZ	0,13	<0,01	<0,01	0,63	0,51	0,67	0,05	0,2
г. Столбцы	0,0396	0,0143	0,0343	0,0766	0,012	0,213	0,142	0,255
IZ	0,4	0,01	0,03	2,55	1,20	2,13	1,42	0,51

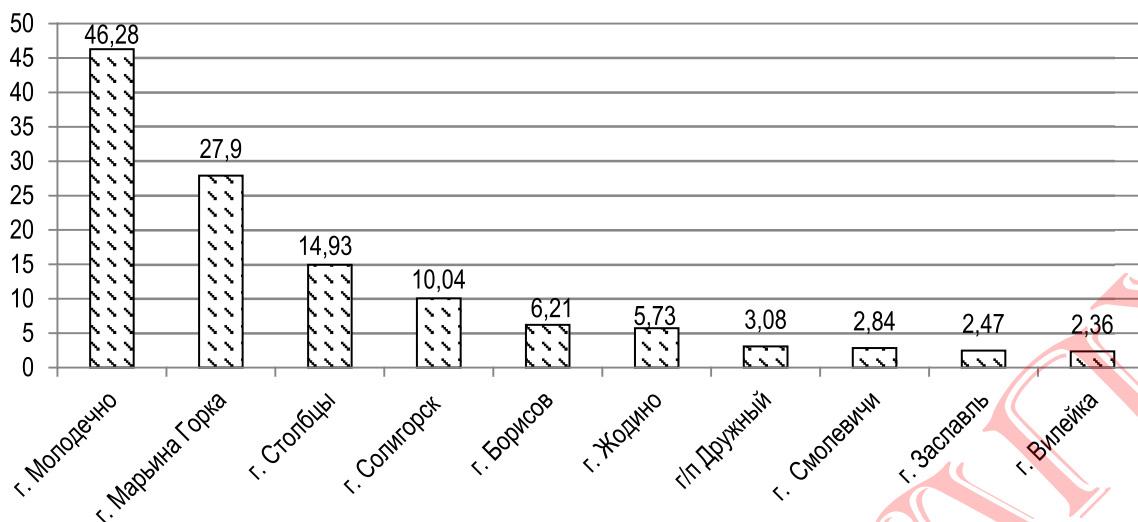


Рисунок 1 – Суммарный индекс загрязнения грунтовых вод

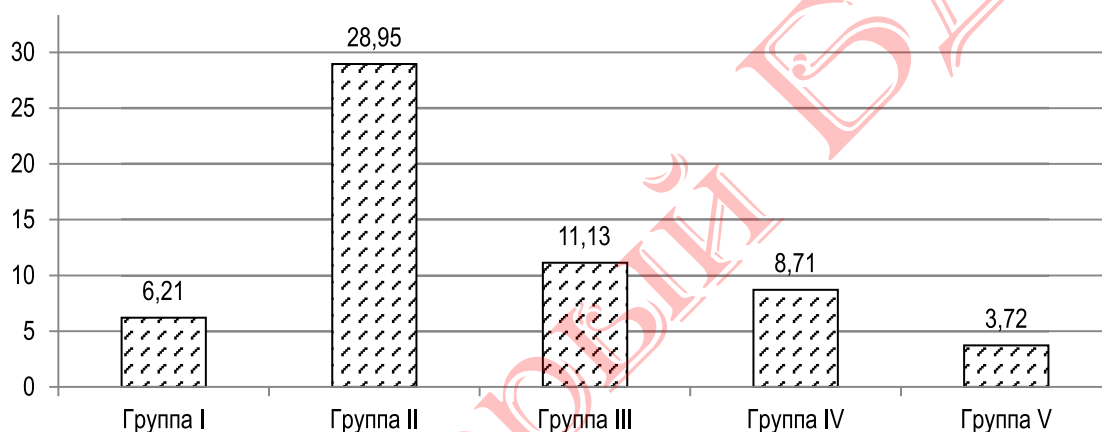


Рисунок 2 – Средний суммарный индекс загрязнения грунтовых вод по группам полигонов

В ГВ полигона г. Молодечно экстремально высокое содержание азота аммонийного (8 ПДК), азота нитратного (7,4 ПДК), хлоридов (5,1 ПДК), сухого остатка (8,6 ПДК), свинца (6,64 ПДК), кадмия (4,49 ПДК), кобальта (1,49 ПДК) и максимальный $SIZ_{ГВ}$ (46,28) (рисунок 1). Полигоны группы II лидируют по среднему суммарному индексу загрязнения (28,95) и представляют наибольшую опасность с точки зрения риска загрязнения грунтовых вод (рисунок 2).

Полигоны группы III (г. Вилейка, Марына Горка, г/п Дружный) также расположены в области развития флювиогляциальных отложений, но в отличие от группы II обустроены противофильтрационными экранами. Как следствие, в грунтовых водах полигона г/п Дружный и г. Вилейки наличие загрязняющих веществ в пределах норматива.

На полигоне ТКО г. Марына Горка одна из скважин показала высокое содержание в грунтовых водах хлоридов, азота аммонийного, сухого остатка, свинца, кадмия, нефте-

продуктов и СПАВ (таблицы 1, 2). По группе III $SIZ_{ГВ}$ (11,13) в 2,6 раза ниже аналогичного показателя полигонов группы II, следовательно, они менее опасны с точки зрения риска загрязнения грунтовых вод (рисунок 2).

В отличие от предыдущих групп полигоны группы IV (г. Столбцы, Заславль) расположены в области развития моренных и конечно-моренных образований, в выработанных карьерах, днища которых слагают супесчаные и суглинистые грунты. Здесь относительно глубокое залегание грунтовых вод (7–20 м). Противофильтрационные экраны отсутствуют. Несмотря на сходные геолого-гидрогеологические условия, грунтовые воды полигона г. Столбцы загрязнены сильнее полигона г. Заславля. Одна из скважин на полигоне г. Столбцы показала высокую концентрацию в пробах азота аммонийного, хлоридов, свинца, кадмия, нефтепродуктов и фенолов (таблицы 1, 2). Содержание загрязняющих веществ в ГВ полигона г. Заславля в пределах ПДК.

Средний суммарный индекс загрязнения грунтовых вод ниже, чем в группах II и III, что свидетельствует о том, что супеси и суглинки моренные служат относительно хорошим барьером на пути проникновения загрязняющих веществ в грунтовые воды.

В группу V вошли полигоны г. Жодино и Смолевичи, также расположенные в области развития моренных и конечно-моренных образований, но в отличие от предыдущей группы оборудованные противодиффузионными экранами. Средний суммарный индекс загрязнения по группе самый низкий (3,7), и эти полигоны представляют наименьший риск загрязнения ГВ.

Представление о потенциальной опасности загрязнения грунтовых вод дают ряды приоритетности, рассчитанные нами способом средневзвешенного. Среди макрокомпонентов к числу приоритетных загрязняющих веществ относятся азот аммонийный (2-й класс опасности), хлориды (3-й класс опасности) и сухой остаток (с.о.). Содержание сульфатов (4-й класс опасности), азота нитратного и полифосфатов (3-й класс опасности), завершающих ряд приоритетности, в пределах десятых и даже тысячных долей ПДК. Относить их к основным загрязняющим веществам, видимо, не целесообразно.

$$\frac{NH_4}{2,82} > \frac{Cl}{1,77} > \frac{с. о.}{1,73} > \frac{NO_3}{0,878} > \frac{SO_4}{0,199} > \frac{PO_4}{0,007}$$

Сухому остатку, представленному, главным образом, гидрокарбонатами кальция, магния и натрия, реже сульфатами и хлоридами, класс опасности не определен, однако, по мнению специалистов, он тоже должен учитываться при оценке геоэкологических рисков от полигонов ТКО [2, с. 68]. Однако если учесть, что для нецентрализованного водоснабжения ПДК увеличен до 1500 мг/дц³, относить сухой остаток к приоритетным загрязняющим веществам следует с определенной долей условности [3].

Ряд исследователей при оценке рисков загрязнения грунтовых вод от полигонов рекомендуют использовать окисляемость и жесткость [2]. Классы опасности им также не определены, и они не включены в перечень обязательных показателей при мониторинге грунтовых вод. Однако окисляемость иллюстрирует содержание в воде всех видов органических веществ, тем самым являясь существенным показателем загрязнения ГВ, а жесткость – наличие в воде кальция и магния, которые в определенных условиях могут образовывать фосфаты и хлораты, отно-

симые к 3–4 классам опасности [2]. С этих позиций игнорировать определение этих показателей, по нашему мнению, не следует.

Анализ ряда приоритетности микроэлементов показывает, что приоритетным загрязняющим веществом является свинец, содержание которого 1,52 ПДК, замыкают ряд приоритетности цинк и медь, индекс загрязнения которыми сотые доли ПДК.

$$\frac{свинец}{1,52} > \frac{кадмий}{0,86} > \frac{кобальт}{0,31} > \frac{цинк}{0,078} > \frac{медь}{0,022}$$

Свинец, кадмий, кобальт относятся ко 2-му классу опасности, цинк и медь – 3-му классу опасности. Даже без учета ртути (1-й класс опасности) и мышьяка (2-й класс опасности), индекс которых нами не рассчитывался в силу отсутствия точных данных по их содержанию, $SIZ_{ГВ}$ тяжелыми металлами 2-го класса опасности составляет 2,69.

Наши расчеты показывают, что особенно неблагоприятная обстановка сложилась в окрестностях полигонов г. Молодечно, Марьиной Горки, Столбцов, где $SIZ_{ГВ}$ тяжелыми металлами 2-го класса опасности составляет 12,6, 4,7 и 4,2 соответственно. Превышает единицу этот показатель и в ГВ полигонов г. Борисова (1,2) и Солигорска (1,3). С этих позиций, полигоны Минской области представляют серьезную экологическую опасность для ГВ.

Сопоставление глубины залегания грунтовых вод в районе размещения полигонов с $SIZ_{ГВ}$ позволяет установить отсутствие прямой зависимости между данными показателями, однако в целом по группам полигонов зависимость все же прослеживается. Чем глубже залегают грунтовые воды, тем ниже степень их загрязнения.

Заключение. Таким образом, на примере Минской области установлено, что степень влияния полигонов ТКО на грунтовые воды прилегающей территории находится в прямой зависимости от геолого-гидрогеологических условий и наличия (отсутствия) противодиффузионного экрана. С этих позиций объекты захоронения отходов следует рассматривать как геоэкологическую систему, включающую геологическое тело природно-техногенного генезиса (полигон), подстилающие горные породы и прилегающие территории. В рамках этой системы алгоритм миграции загрязняющих веществ в грунтовые воды представлен на рисунке 3.

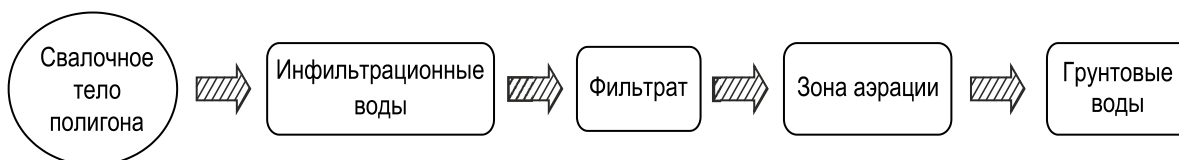


Рисунок 3 – Геохимическая модель загрязнения грунтовых вод полигонами ТКО

Рекомендации по минимизации степени воздействия полигонов на компоненты окружающей среды нами разработаны [5]. Предложенные научно-методические основы по повышению геоэкологической защиты позволили сформулировать требования к организационно-техническим мероприятиям по захоронению ТКО:

- выбор безопасного района размещения площадки проектируемого полигона;
- организация экологического мониторинга при создании, эксплуатации полигона и в постэксплуатационный период;
- управление эмиссией полигона путем совершенствования раздельного сбора, сортировки и использования отходов, их термической или биологической обработки;
- организация противофильтрационной защиты основания полигона путем использования естественного геологического барьера, устройства искусственного противофильтрационного экрана, системы сбора и дренажа фильтрата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиенические нормативы 2.1.5.10-20-2003 Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
2. Ерошина, Д. М. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д. М. Ерошина, В. В. Ходин, В. С. Зубрицкий. – Минск : РУП «БелНИЦ «Экология», 2010. – 150 с.
3. СанПиН 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
4. Чернова, И. В. Методика оценки риска воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на подземные воды / В. И. Чернова, М. Г. Ясоевев, З. Н. Шуканова // Актуальные проблемы экологии : материалы X междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 21–23 октября 2014 г. / ГрГУ; редкол.: В. Н. Бурдь [и др.]. – Гродно, 2014. – С. 71–73.
5. Чернова, И. В. Разработка Модели геоэкологической защиты при захоронении твердых коммунальных отходов (на примере Минской области) / В. И. Чернова // Актуальныя пытанні сучаснай навукі: зб. арт. / БДПУ; редкал. Г. В. Толкаш [і інш.]. – Мінск, 2014. – С. 323–330.

REFERENCES

1. Gigiyenicheskiye normativy 2.1.5.10-20-2003 Oriyentirovochnyye dopustimyye urovni (ODU) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obyektov khozyaystvenno-pityevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya.
2. Yeroshina, D. M. Ekologicheskkiye aspekty zakhoroneniya tvyordykh kommunalnykh otkhodov na poligonakh / D. M. Yeroshina, V. V. Khodin, V. S. Zubritskiy. – Minsk : RUP "BelNITs "Ekologiya", 2010. – 150 s.
3. SanPiN 10-124 RB 99. Pityevaya voda. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh system pityevogo vodosnabzheniya. Kontrol kachestva.
4. Chernova, I. V. Metodika otsenki riska vozdeystviya poligonov tvyordykh kommunalnykh otkhodov na podzemnyye vody / V. I. Chernova, M. G. Yasoveyev, Z. N. Shukanova // Aktualnyye problemy ekologii : materialy X mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Grodno, 21–23 oktyabrya 2014 g. / GrGU; redkol.: V. N. Burdz [i dr.]. – Grodno, 2014. – S. 71–73.
5. Chernova, I. V. Razrabotka Modeli geoekologicheskoy zashchity pri zakhoroneniі tvyordykh kommunalnykh otkhodov (na primere Minskoy oblasti) / V. I. Chernova // Aktualnyya pytanni suchasnay navuki: zb. art. / BDPY; redkal. G. V. Tolkash [i insh.]. – Minsk, 2014. – S. 323–330.