

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-3>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/87TVN316.pdf>

Статья опубликована 27.06.2016

Ссылка для цитирования этой статьи:

Копытенкова О.И., Аль маджми Салих сауд якуб Использование метода трехмерного математического моделирования в практике геоэкологических исследований // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/87TVN316.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 004.942

Копытенкова Ольга Ивановна

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
Россия, Санкт-Петербург¹
Доктор медицинских наук, профессор
E-mail: 5726164@mail.ru

Аль маджми Салих сауд якуб

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
Россия, Санкт-Петербург
Аспирант
E-mail: almajmaie@yandex.ru

**Использование метода трехмерного
математического моделирования в практике
геоэкологических исследований**

Аннотация. Необходимость сохранения равновесия во взаимодействии природы и человечества диктует необходимость разработки алгоритмов оценки устойчивости экосистем. В условиях, когда проведение натуральных исследований и экспериментов затруднено или совершенно невозможно, возрастает роль математических методов анализа как наиболее перспективного инструмента исследования геоэкологических систем различного уровня. В статье приведены результаты трехмерного моделирования распределения загрязнителей воды (магний, кальций, нитрат, фосфат, сульфат, кадмий, железо, свинец, медь) реки Дияла (Ирак) по результатам исследования гидродинамических показателей и показателей содержания химических веществ на шести участках реки от истока до дельты. На основании полученных моделей распределения загрязнителей можно сделать вывод, что наибольшие их концентрации достигаются в извилистых частях русла реки.

Моделирование распространения загрязнителей в настоящем исследовании проводилось с использованием модуля программы Floworks Simulation, где движение и теплообмен текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды. На основании полученных моделей распределения загрязнителей сделан вывод, что наибольшие их концентрации достигаются в извилистых частях русла реки. Полученные результаты позволяют обосновать геоэкологический подход к решению проблем использования р. Дияла в качестве источника водоснабжения.

¹ 190031, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 9

Ключевые слова: геоэкология; моделирование; водные объекты; окружающая среда; загрязнители; экосистема; экологическая безопасность; трехмерные модели; фракции

Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду привело к обострению старых и возникновению новых экологических проблем. Перспективы решения связаны с реализацией концепции «устойчивого развития», основным принципом которого является стабильное и гармоничное сосуществование природы и человечества [1].

Сохранение равновесия требует изучения закономерностей динамики экосистем и разработки алгоритмов оценки их устойчивости. Ведущая роль в практической реализации принадлежит количественным методам исследования. В связи с этим возрастает роль математических методов анализа как наиболее перспективного инструмента исследования геоэкологических систем различного уровня, тогда как проведение натуральных исследований и экспериментов зачастую затруднено или совершенно невозможно [2].

В настоящее время для оценки распространения загрязнителей в водном потоке рек используются простые расчеты по стандартизированным методикам. Однако условия выполнения таких расчетов не всегда применимы к определенному водному объекту, так как не учитывают индивидуальных параметров речных акваторий.

Для обеспечения экологической безопасности поверхностных водотоков необходима не только оценка изменения показателей качества воды и содержаний загрязнителей, но также важной задачей является оценка распространения и прогноз загрязнений реки при попадании загрязняющих веществ в водоток. Особенно значимым, является такой прогноз для водоемов, являющихся источниками водоснабжения. Пространственно-временной мониторинг с использованием математического моделирования делает возможным определение фонового уровня загрязнения реки, проведение анализа источников загрязнения и последующее построение математической модели водного объекта [3].

Исследования проведены для реки Дияла. Сточные воды, поступающие в р. Диала, содержат разнообразные загрязняющие вещества, которые способны привести к негативным последствиям для здоровья проживающего рядом с рекой населения. Следовательно, оценка распространения загрязнителей по руслу реки и прогнозирование последствий попадания загрязнителей в реку, в том числе в результате аварийных ситуаций, позволит определить масштабы загрязнения реки с целью разработки мероприятий по снижению негативных последствий загрязнения.

Для определения распространения загрязнителей в акваториях успешно применяется математическое моделирование [4]. Перенос загрязняющих примесей в воде является результатом комбинированного процесса конвекции, вызванной движением воды, молекулярной и турбулентной диффузией веществ. Русла рек характеризуются сложной геометрической формой, внутри них могут располагаться острова, которые приводят к деформации направления и скорости потока воды, ввиду чего применение аналитических решений уравнений переноса примесей невозможно. Для этих целей используются методы численного моделирования.

Модели распространения загрязнителей основаны на применении уравнений гидродинамики (расчет поля скорости течения) и уравнений переноса примесей (транспортная модель) [5]. Гидродинамические модели основаны на уравнениях Навье-Стокса и учитывают такие параметры, как геометрическая форма русла реки, наличие островов, притоков и других особенностей, которые оказывают серьезное влияние на процесс переноса примеси в реке. Для решения гидродинамических уравнений необходимо знать такие параметры, как диффузия, скорость жидкости, их изменение во времени и пространстве.

Нормативные документы определяют контрольный створ для реки на расстоянии в 500 м от источника загрязнения. Для больших рек характерна ширина примерно того же порядка. Следовательно, для больших рек пространственная модель должна быть, по крайней мере, двухмерной, а при моделировании с учетом вертикальной структуры, трехмерной [6]. Одной из эффективных численных моделей прогноза распространения примесей в водотоках является рассмотрение распространения загрязнителя в двухмерной постановке с учетом геометрической формы реки [7]. Процесс расчета переноса загрязнителя в русле в данном случае рассчитывается в два этапа: 1) определение поля скорости водного потока с учетом геометрической формы русла и особенностей акватории реки, 2) решение задачи о переносе загрязнителя в потоке реки. В модели применяются метод маркирования расчетной области, позволяющий формировать любую геометрическую форму русла реки с учетом островов и других особенностей.

Трехмерные модели основаны на решении полных нестационарных трехмерных уравнений гидродинамики с учетом граничных условий на дне и свободной поверхности [8]. Но исследования окружающей среды на основе решения трехмерных уравнений не всегда оправданы в виду существенного различия в масштабах происходящих процессов, значительных размеров расчетной области и сложности ее границы, привлечения большого количества сведений и допущений. Кроме того, стоимость таких расчетов слишком велика. Численные расчеты течения в реке с применением даже простейших моделей турбулентности представляют значительную вычислительную сложность.

Более простыми являются уравнения на основе уравнений мелкой воды [9] поэтому одномерные модели для моделирования распространения примесей остаются более актуальными. Одномерные модели могут применяться в сочетании с двумерными моделями, когда расчеты по одномерной модели служат для задания граничных условий для расчетов по двумерной или трехмерной модели [10].

Наиболее простыми являются одномерные модели, использующие усредненные по поперечному сечению реки характеристики скорости течения. Роль одномерных моделей наряду с двумерными также важна, так как они позволяют проводить простые аналитические исследования и применимы для качественного анализа малых рек [11].

Применение одномерного моделирования может быть использовано также в отношении теплопроводности воды. Определение точности математических расчетов через измерение и расчет общей электропроводности воды в разных точках створа реки является одним из экспрессных методов оценки загрязнения. Сравнение измеренных и расчетных данных по электропроводности позволяет говорить о точности математических расчетов [12].

Моделирование распространения загрязнителей а настоящем исследовании проводилось с использованием модуля программы Flowworks Simulation, где движение и теплообмен текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды [13].

Система уравнений, используемая для моделирования, имеет следующий вид (1) в рамках подхода Эйлера в декартовой системе координат $\mathbf{r} = (x, y, z)$, вращающейся с угловой скоростью ω вокруг оси, проходящей через ее начало:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dt} + \frac{d}{dx_k}(\rho u_k) &= 0 \\ \frac{d(\rho u_k)}{dt} + \frac{d}{dx_k}(\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{dP}{dx_i} &= S_i \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{d(\rho E)}{dt} + \frac{d}{dx_k} ((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik}u_i) = S_k u_k + Q_H$$

где: t – время;

u – скорость текучей среды;

ρ – плотность текучей среды;

P – давление текучей среды;

S_i – внешние массовые силы, действующие на единичную массу текучей среды: $S_{iporous}$ – действие сопротивления пористого тела, $S_{igravity}$ – действие гравитации, $S_{irotation}$ – действие вращения системы координат, т.е. $S_i = S_{iporous} + S_{igravity} + S_{irotation}$;

E – полная энергия единичной массы текучей среды;

Q_H – тепло, выделяемое тепловым источником в единичном объеме текучей среды;

τ_{ik} – тензор вязких сдвиговых напряжений;

q_k – диффузионный тепловой поток.

Нижние индексы означают суммирование по трем координатным направлениям.

Двухфазные течения текучей среды с жидкими или твердыми частицами моделируются как движение этих частиц в установившемся потоке текучей среды, т.е. предполагается, что силовое и тепловое воздействие частиц на течение газовой фазы пренебрежимо мало.

Исходя из континуальной модели двухфазного течения, т.е. течения взаимопроникающих континуумов газовой фазы и частиц различных фракций (все частицы разделяются на фракции по какому-либо признаку, позволяющему однозначно задавать начальные условия движения частиц в сечении, от которого это движение рассчитывается), При попадании частиц на стенку определяется суммарная по всем поверхностям, на которые выпали частицы, интенсивность налипания частиц на эти поверхности по формуле:

$$R_{\Sigma accretion} = \sum_{i=1}^N M_{pi}, \quad (2)$$

где: N – число фракций частиц;

M_{pi} – расход частиц i -той фракции, выпавших на эту поверхность.

Определяется также интенсивность уноса материала от стенок, на которые выпали частицы, по формуле:

$$R_{\Sigma erosian} = \sum_{i=1}^N \int_{M_{pi}} K_i \cdot V_{pi}^b \cdot f_{1i}(\alpha_{pi}) \cdot f_{2i}(d_{pi}) dm_{pi} \quad (3)$$

где: K_i – заданный пользователем коэффициент эрозии материала поверхности;

V_{pi} – скорость частиц непосредственно перед соударением;

b – заданный показатель степени;

$f_{1i}(\alpha_{pi})$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние на эрозию угла α_{pi} подлета частиц к поверхности выпадения (относительно нормали к поверхности);

$f_{2i}(d_{pi})$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние на эрозию диаметра d частиц.

По каждой из исследуемых станций были проведены расчеты по веществам: 1 – магний, 2 – кальций, 3 – нитрат, 4 – фосфат, 5 – сульфат, 6 – кислород, 7 – кадмий, 8 – железо, 9 – свинец, 10 – медь. Примеры результатов расчета представлены на рис. 1 и 2. На основании полученных моделей распределения загрязнителей можно сделать вывод, что наибольшие их концентрации достигаются в извилистых частях русла реки. Эти участки не рекомендуется использовать для организации мест забора воды для целей питьевого водоснабжения.

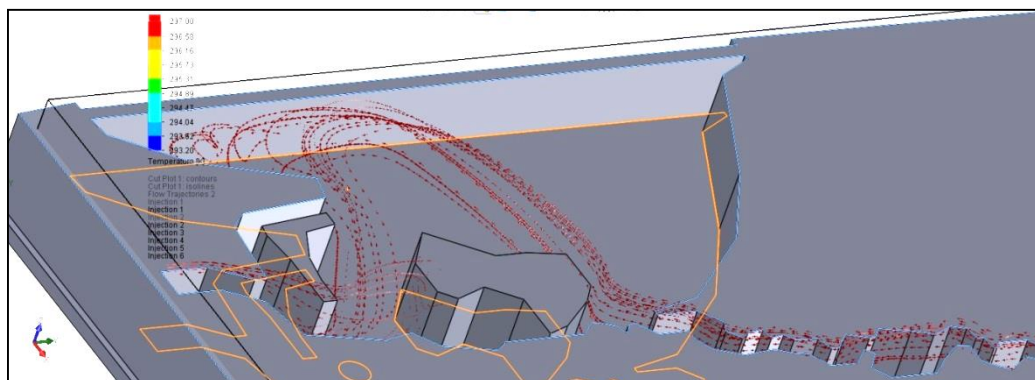


Рисунок 1. Модель распределения одного вида загрязнителя в реке Диала от всех станций (составлено автором)

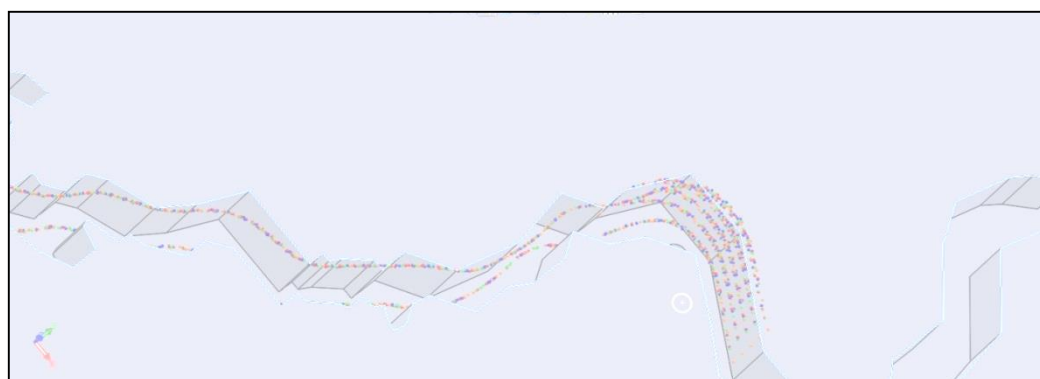


Рисунок 2. Модель распределения загрязнителей в реке Диала от всех станций (составлено автором)

Статистические расчеты, выполненные с использованием модуля программы Floworks Simulation показывают расстояние, которое пробежала каждая частица загрязнителя от каждой фракции до того, как ее поглотило дно или она прошла насквозь все течение реки.

Таким образом, использование программного комплекса Solid Works 2007/2008 позволяет выполнить моделирование и визуализировать результаты расчетов для решения геоэкологических проблем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леванчук, А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных дорог // Интернет-журнал «Науковедение», 2014. №1 (20) [Электронный ресурс] – М.: Науковедение, 2014 – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/102TVN114.pdf>.

2. Копытенкова О.И., Леванчук А.В. Методические аспекты гигиенической оценки атмосферного воздуха в городах с развитой транспортной инфраструктурой. Сборник трудов НИИ Атмосфера. СПб: НИИ Атмосфера, №4. – 2010 г. - С. 19-21.
3. Кольцов, В.Б. Модель мониторинга распространения примесей при оценке качества вод [Текст] / В.Б. Кольцов, В.Б. Барсукова, К.С. Дятлова // Водоочистка. – 2008. – №8. – С. 64-66.
4. Марчук, Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
5. Численное моделирование процессов загрязнения поверхностных и подземных вод [Текст] / Л.И. Антошкина и др. – Д.: Изд-во ЧП Свидлера А.Л., 2004. – 168 с.
6. Игнатов, А.В. Информационное моделирование загрязнения водных объектов [Текст] / А.В. Игнатов, В.В. Кравченко // География и природные ресурсы. – 2008. – №1. – С. 144-150.
7. Набиева, О.Р. Применение численной модели для расчета гидрохимического загрязнения реки Обь при аварийном сбросе городских сточных вод / О.Р. Набиева // Труды международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2006 / Изд-во ФГУ "Томский ЦНТИ". – 2006.
8. Чуруксаева, В.В. Математическая модель и численный метод для расчета турбулентного течения в русле реки / В.В. Чуруксаева, А.В. Старченко // Вестник Том.гос. ун-та. Математика и механика. – 2015. – №6 (38). – С. 100-114.
9. Роди, В. Модели турбулентности окружающей среды / В. Роди // Методы расчета турбулентных течений. – М.: Мир, 1984. – С. 276–278.
10. Finaud-Guyot, P., 1D–2Dcouplingforriverflowmodeling / P. Finaud-Guyot, C. Delenne, V. Guinot, C. Llovel // ComptesRendusMecanique. – 2011. – №339. – P. 226–234.
11. Петрухин, Н.С. Моделирование водного потока в рамках одномерных уравнений мелкой воды / Н.С. Петрухин, Е.Н. Пелиновский // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2011. – №4 (91). – С. 60-69.
12. Finaud-Guyot, P., 1D–2D coupling for river flow modeling / P. Finaud-Guyot, C. Delenne, V. Guinot, C. Llovel // ComptesRendusMecanique. – 2011. – №339. – P. 226–234.
13. Алямовский, А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
14. Кузьмицкий А.М. Практические аспекты автоматизации расчетов транспортного шума в программе АРМ «Акустика» 3D / А.М. Кузьмицкий, А.В. Никифоров, А.В. Иванов, Курепин Д.Е. // Материалы конференции «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте». : СПб. – 2014. С. – 96-100.
15. Курепин Д.Е. Метод определения критических акустических нагрузок на антропогенную среду при освоении месторождений твердых полезных ископаемых // Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/> Том 7, №5 (2015).

Kopytenkova Olga Ivanovna

St. Petersburg state transport university of Emperor Alexander I, Russia, Saint-Petersburg
E-mail: 5726164@mail.ru

Al' majmai Salih saud jakub

St. Petersburg state transport university of Emperor Alexander I, Russia, Saint-Petersburg
E-mail: almajmaie@yandex.ru

The use of three dimensional mathematical modeling in the practice of geo-ecological research

Abstract. The need to maintain a balance in the interaction of nature and humanity dictates the necessity of developing algorithms to assess the sustainability of ecosystems. In conditions when conducting field studies and experiments is difficult or absolutely impossible, the role of mathematical methods of analysis as the most promising research tool of geoecological systems of different levels. The article presents the results of three-dimensional modeling of distribution of pollutants water (magnesium, calcium, nitrate, phosphate, sulfate, cadmium, iron, lead, copper) Diyala river (Iraq) on the results of the study of the hydrodynamic performance and the maintenance of chemical substances in the six sections of the river from source to delta. On the basis of the obtained distribution models of pollutants can be concluded that the highest concentrations are achieved in the winding parts of the river bed.

Modelling of distribution of pollutants in this study were carried out using the program module Floworks simulation, where motion and heat transfer fluid is modeled using the Navier-Stokes equations describing unsteady formulation of the conservation laws of mass, momentum and energy of this environment. On the basis of the obtained distribution models of pollutants concluded that the greatest concentration is achieved in the winding parts of the river bed. The obtained results allow to substantiate geoecological approach to solving problems using R. In Diyala as a source of water supply.

Keywords: geoecology; mathematical simulation; water bodies; environment; pollutants; ecosystem; environmental safety; three dimensional model; fraction

REFERENCES

1. Levanchuk, A.V. Zagryaznenie okruzhayushchey sredy produktami ekspluatatsionnogo iznosa avtomobil'nykh dorog // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014. №1 (20) [Elektronnyy resurs] – M.: Naukovedenie, 2014 – Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/102TVN114.pdf>.
2. Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V. Metodicheskie aspekty gigienicheskoy otsenki atmosfernogo vozdukha v gorodakh s razvitoy transportnoy infrastrukturoy. Sbornik trudov NII Atmosfera. SPb: NII Atmosfera, №4. – 2010 g. - S. 19-21.
3. Kol'tsov, V.B. Model' monitoringa rasprostraneniya primesey pri otsenke kachestva vod [Tekst] / V.B. Kol'tsov, V.B. Barsukova, K.S. Dyatlova // Vodoochistka. – 2008. – №8. – S. 64-66.
4. Marchuk, G.I. Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushchey sredy [Tekst] / G.I. Marchuk. – M.: Nauka, 1982. – 316 c.
5. Chislennoe modelirovanie protsessov zagryazneniya poverkhnostnykh i podzemnykh vod [Tekst] / L.I. Antoshkina i dr. – D.: Izd-vo ChP Svidlera A.L., 2004. – 168 s.

6. Ignatov, A.V. Informatsionnoe modelirovanie zagryazneniya vodnykh ob"ektov [Tekst] / A.V. Ignatov, V.V. Kravchenko // Geografiya i prirodnye resursy. – 2008. – №1. – S. 144-150.
7. Nabieva, O.R. Primenenie chislennykh modeli dlya rascheta gidrokhimicheskogo zagryazneniya reki Ob' pri avariynom sbrose gorodskikh stochnykh vod / O.R. Nabieva // Trudy mezhdunarodnoy konferentsii po izmereniyam, modelirovaniyu i informatsionnym sistemam dlya izucheniya okruzhayushchey sredy: ENVIROMIS-2006 / Izd-vo FGU "Tomskiy TsNTI". – 2006.
8. Churuksaeva, V.V. Matematicheskaya model' i chislennyy metod dlya rascheta turbulentnogo techeniya v rusle reki / V.V. Churuksaeva, A.V. Starchenko // Vestnik Tom.gos. un-ta. Matematika i mekhanika. – 2015. – №6 (38). – S. 100-114.
9. Rodi, V. Modeli turbulentnosti okruzhayushchey sredy / V. Rodi // Metody rascheta turbulentnykh techeniy. – M.: Mir, 1984. – S. 276–278.
10. Finaud-Guyot, P., 1D–2Dcouplingforriverflowmodeling / P. Finaud-Guyot, C. Delenne, V. Guinot, C. Llovel // ComptesRendusMecanique. – 2011. – №339. – P. 226–234.
11. Petrukhin, N.S. Modelirovanie vodnogo potoka v ramkakh odnomernykh uravneniy melkoy vody / N.S. Petrukhin, E.N. Pelinovskiy // Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva. – 2011. – №4 (91). – S. 60-69.
12. Finaud-Guyot, P., 1D–2D coupling for river flow modeling / P. Finaud-Guyot, C. Delenne, V. Guinot, C. Llovel // ComptesRendusMecanique. – 2011. – №339. – P. 226–234.
13. Alyamovskiy, A.A. SolidWorks 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoy praktike [Tekst] / A.A. Alyamovskiy, A.A. Sobachkin, E.V. Odintsov, A.I. Kharitonovich, N.B. Ponomarev. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2008. – 1040 s.
14. Kuz'mitskiy A.M. Prakticheskie aspekty avtomatizatsii raschetov transportnogo shuma v programme ARM «Akustika» 3D / A.M. Kuz'mitskiy, A.V. Nikiforov, A.V. Ivanov, Kurepin D.E. // Materialy konferentsii «Tekhnosfermaya i ekologicheskaya bezopasnost' na transporte»: SPb. – 2014. S. – 96-100.
15. Kurepin D.E. Metod opredeleniya kriticheskikh akusticheskikh nagruzok na antropogennuyu sredu pri osvoenii mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh // Internet-zhurnal «Naukovedenie» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/> Tom 7, №5 (2015).