



УДК 519.876.5

DOI 10.18413/2411-3808-2018-45-3-510-522

**СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ КЛАСТЕРЕ**

**SYSTEM-OBJECT SIMULATION OF CHEMICAL CONTAMINATION
OF THE UNDERGROUND WATERS IN THE MINING CLUSTER**

**И.А. Егоров, С.И. Маторин, А.Г. Жихарев
I.A. Egorov, S.I. Matorin, A.G. Zhikharev**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Belgorod State University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: zhikharev@bsu.edu.ru, 888615@bsu.edu.ru, matorin@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе рассматривается задача имитационного моделирования процессов фильтрации в почву воды, загрязненной отходами горно-обогатительного комбината. Для разработки имитационной модели используется авторская технология системного объектного имитационного моделирования, в основу которой положен системный подход «Узел-Функция-Объект». Реализация имитационной модели осуществляется с применением программного инструментария «UFOModeler». Построенная имитационная модель представляет собой набор УФО-элементов (Узел-Функция-Объект), которые, в свою очередь, представляют собой подсистемы горно-обогатительного комбината с переработкой руды и отправкой «пустой» породы по пульпопроводу в подсистему хвостохранилища, где складываются химические отходы. В рамках системно-объектной модели были описаны потоковые и узловые объекты в терминах исчисления функциональных объектов. Функциональные узлы определяются с помощью специального языка УФО-скрипт, позволяющего имитировать работу отдельных подсистем. На разработанной модели проводятся эксперименты по моделированию химического загрязнения почвы. На основе полученных модельных данных строятся графические зависимости пропускной способности различных элементов хвостохранилищ.

Abstract

The paper considers the problem of simulation modeling of filtration processes into the soil of water contaminated with waste from the mining and processing plant. To develop the simulation model, the author's technology of system object simulation is used, which is based on the system approach "Node-Function-Object". The implementation of the simulation model is carried out using the software tools "UFOModeler". The constructed simulation model is a set of UFO-elements (Node-Function-Object), which in turn represent subsystems of a mining and processing plant with processing of ore and sending an "empty" rock through a slurry pipeline to the tailings subsystem in which chemical wastes are stored. In the framework of the system-object model, flow and node objects were described in terms of the calculus of functional objects. Functional nodes are defined using a special language UFO-script, which allows to simulate the operation of individual subsystems. On the developed model, experiments are conducted to model chemical contamination of the soil. On the basis of the obtained model data, graphical dependences of the capacity of various elements of the tailing dumps are constructed.

Ключевые слова: функционирующая система; состояние системы; имитационная модель; динамика системы; графоаналитическое моделирование; «UFOModeler».

Keywords: the functioning system; a condition of system; imitating model; dynamics of system; graphic-analytical modeling; «UFOModeler».

Введение

Имитационное моделирование применяется для моделирования экологической ситуации по всему миру, там, где есть потенциальная угроза нанесения вреда экосистеме. В основном задача моделирования экологической ситуации сводится к проведению экспериментов над имитационной моделью с целью определения возможных последствий и последующей оценки нанесенного экосистеме урона.

Для проведения имитационного моделирования процессов и систем авторами разработан системно-объектный метод имитационного моделирования, а также программный инструментарий «UFOModeler», автоматизирующий применение данного метода [Маторин и др., 2013].

На проникновение в почву химических отходов влияют параметры всасывания почвы, структуры грунта, а также особенности климата, погодных условий и др. Скорость процесса проникновения возрастает при условии выпитывания отходов, растворенных в воде.

Рассмотрим влияние техногенного характера на примере модели функционирования горно-обогатительного комбината, который в результате своей работы непригодную к переработке породу (хвосты) смешивает с водой и транспортирует по пульпопроводу в хвостохранилище, где осуществляется их складирование. Вода, используемая для переноса хвостов, подлежит откачке. Современные технологии осушения хвостов позволяют откачивать примерно 80% воды обратно в производственный процесс горно-обогатительного комбината [НЛМК Стойленский ГОК]. Однако оставшиеся 20% воды могут играть роль поставщика химических отходов в почву сквозь защитные слои хвостохранилища. Проникновение в почву хвостов может повлечь их распространение в водоносных слоях, что является источником опасности для населения прилегающих к ГОКу территорий.

Реализация системно-объектной модели

Процесс проникновения воды, загрязненной химическими отходами, в почву можно описать с помощью Закона Дарси (линейный закон фильтрации) (1):

$$Q = k_{\phi} * F * \frac{h_2 - h_1}{\Delta L}, \quad (1)$$

где Q – расход водяного потока, м³/час; k_φ – коэффициент фильтрации, зависящий от свойств жидкости и фильтрующей среды, м/час; F – площадь поперечного сечения потока, м²; h₁ – верхний уровень водяного горизонта, м; h₂ – нижний уровень водяного горизонта, м; ΔL – длина участка фильтрационного потока, м.

Согласно Закону Дарси, количество воды Q, проходящее через трубку, заполненную водовмещающим материалом, прямо пропорционально разности уровней h₁ и h₂ в крайних сечениях трубки, прямо пропорционально площади поперечного сечения трубки F, обратно пропорционально длине пути фильтрации L и прямо пропорционально постоянному для данного материала коэффициенту фильтрации k_φ материала [Шварцев, 1996].

Согласно формуле (1) площадь поперечного сечения потока воды представлена в виде:

$$F = \frac{Q * \Delta L}{k_{\phi} (h_2 - h_1)}. \quad (2)$$

Направление движения водяного потока определено формулой:

$$\vec{v} = k_{\phi} * \frac{h_2 - h_1}{\Delta L}. \quad (3)$$

При этом положительное значение вектора v означает движение воды от первого водозабора ко второму, отрицательное значение вектора v – от второго к первому.

Отразим процесс загрязнения через системно-объектную имитационную модель технологического процесса горно-обогатительного комбината и проникновения хвостов сквозь

слои хвостохранилища с применением программного инструментария «UFOModeler» [Маторин и др., 2005; Жихарев и др., 2014; Жихарев и др., 2015].

Создаваемая модель может рассматриваться как подсистема объекта более высокого яруса в общей иерархии объектов системы [Abadi, Cardelli, 1996]. При этом связи данной системы с другими системами являются функциональными, связи между подсистемами данной системы – поддерживающими [Алексеева, 2014; Жихарев и др., 2016; Kondratenko et al., 2017].

Произведем описание связей разрабатываемой модели через множество потоковых объектов L , которое состоит из элементов l_n , где l_n – потоковые объекты (связи), а множество R содержит элементы r_n , обозначающие поля потоковых объектов согласно положениям исчисления функциональных объектов [Жихарев и др., 2013; Zhikharev et al., 2015; Маторин и др., 2017]. Множество основных связей L при этом примет вид:

$$L = \{l_1 = [r_1^1, r_1^2], l_2 = [r_2^1, r_2^2], l_3 = [r_3^1], l_4 = [r_4^1, r_4^2]\}, \quad (4)$$

где:

- l_1 – потоковый объект «Пульпа1»;
- l_2 – потоковый объект «Пульпа2»;
- l_3 – потоковый объект «Химотходы»;
- l_4 – потоковый объект «Вода».

Обозначим элементы множества R в виде пар: $r_n^{kn} = [\text{идентификатор, значение}]$. Тогда множество R примет следующий вид:

$$R = \left\{ \begin{array}{l} r_1^1 = [\text{колво, 20000}], r_1^2 = [\text{доляводы, 0.0679}], r_2^1 = [\text{колво, 24000}], \\ r_2^2 = [\text{доляводы, 0.0679}], r_3^1 = [\text{колво, 35.69}], r_4^1 = [\text{колво, 2390.08}], \\ r_4^2 = [\text{производительность, 44000}] \end{array} \right\}. \quad (5)$$

Системно-объектная модель представляет систему, состоящую из специальных узловых объектов, в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемента), где:

- узел – структурный элемент надсистемы в виде перекрестка связей данной системы с другими системами;
- функция – динамический элемент надсистемы, выполняющий определенную роль с точки зрения поддержания надсистемы путем балансирования связей данного узла;
- объект – субстанциальный элемент надсистемы, реализующий данную функцию в виде некоторого материального образования, обладающий конструктивными, эксплуатационными и т.д. характеристиками [Маторин и др., 2013; Жихарев, Маторин, 2014; Бузов и др., 2016].

Функционально модель состоит из трех подсистем: «ГОК», «хвостохранилище», «водозабор». Подсистема «ГОК» содержит узловые объекты «производство железорудного сырья», «насосы откачки водоносных слоев», «сгуститель1», «сгуститель2». Подсистема представлена входящим потоковым объектом «Вода», в качестве исходящих потоковых объектов выступают связи «Пульпа1», «Пульпа2». Объектом подсистемы выступает технологический процесс ГОКа. Подсистема «ГОК» выполняет функции отбора пустой породы, откачки воды из водоносных горизонтов, пустая порода перемешивается с водой в двух сгустителях, которые образуют пульпу.

Подсистема «хвостохранилище» содержит узловые объекты «прудок-отстойник», «защитный слой (песок, гравий)», «защитный слой (пленка)», «подстилающий грунт», «переходный слой», «вскрышная порода», «дренажная песчаная призма», «скальное основание». В качестве входящих потоковых объектов имеет связи «Пульпа1», «Пульпа2», в качестве исходящих – «Химотходы», «Вода». Объектом подсистемы выступает технологический процесс хранения химических отходов. Подсистема «хвостохранилище» принимает пульпу в прудок-отстойник, где складываются и осушаются хвосты, и откаченная вода возвращается в технологический процесс горно-обогательного комбината. При этом защитные слои препятствуют проникновению химических отходов, находящихся в хвостохранилище.

В качестве примера приведем программный код функции узлового объекта «защитный слой (песок, гравий)» с применением Закона Дарси (рис. 1).

Свойства узла	
Параметр	Значение
Наименование узла	защитная пленка
Описание узла	
Стиль	По умолчанию
Позиция X	393
Позиция Y	238
Ширина	83
Высота	61

Свойства объекта			
Наименование	Описание	Тип данных	Значение
shir	ширина ...	веществе...	
dl	длина	веществе...	
k	коэф фи...	веществе...	
h1max	значени...	веществе...	
h2	значени...	веществе...	
L	высота ...	веществе...	


```

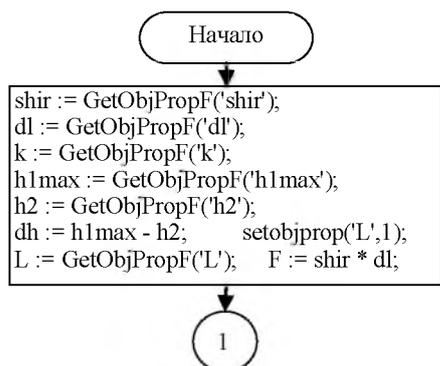
Скрипт
var q, // колво воды проникавшей в почву через хвостохранилище (м3/час);
k, // коэф фильтрации (м/час)
L, // защитный слой хвостохранилища (м)
F, // площадь хвостохранилища (м2)
dh, // разность давлений "по пьезометру" (м)
h1max, // значение давления "по пьезометру" выше защитного слоя (м)
h2, // значение давления "по пьезометру" ниже защитного слоя (м)
v, // скорость течения (м/час)
shir, // ширина хвостохранилища (м)
dl, // длина хвостохранилища (м)
othody, // количество отколов содержащееся в данном слое(м3)
sumSendOth, // сумма проникнувших далее отколов
sendOth, // количество отколов проникнувших далее в час
othodyAnHour, // максимальное колво отколов в час
:real;
buzy:integer; // доля сдерживания химических отколов сквозь слой
begin
shir := GetObjPropF('shir');
dl := GetObjPropF('dl');
k := GetObjPropF('k');
h1max := GetObjPropF('h1max');
h2 := GetObjPropF('h2');
dh := h1max - h2;
setobjprop('L', 0.002); // толщина защитной стенки хвостохранилища
L := GetObjPropF('L');
F := shir ^ dl; // площадь поперечного сечения хвостохранилища // (грубое вычленение)

while true do
if GetLinkInb('Qхимотходы.час') then
begin
q := k * F ^ dh / L;
v := k * dh / L; // скорость потока
othody := othody + GetLinkInF('Qхимотходы.колво');
if othody > q then
sendOth := q
else
sendOth := othody;
othodyAnHour := GetLinkInF('Qхимотходы.производительность');
setlinkout('Qхимотходы.производительность', othodyAnHour);
buzy := round((sendOth / othodyAnHour) * 100);
setobjprop('#buzy', buzy);
if buzy = 100 then
setobjprop('#active', true)
else
setobjprop('#active', false);
sumSendOth := sumSendOth + sendOth;
setlinkout('Qхимотходы.колво', sendOth);
setlinkout('Qхимотходы.скорость', v);
setlinkout('Qхимотходы.час', true);
othody := othody - sendOth;
setlinkin('Qхимотходы.час', false);
end;
end.
    
```

Рис. 1. Программный код функции защитного слоя хвостохранилища
 Fig. 1. Protective layer release function code

Блок-схема метода узла «защитный слой (песок, гравий)» представлена следующим образом (рис. 2).

Подсистема «водозабор» в качестве входного потокового объекта получает «Qхимотходы», в качестве исходящего – «Qвода». Объектом является скважина для забора воды. Функция объекта выполняет откачивание воды из скважины, которая подвержена загрязнению химическими отходами.



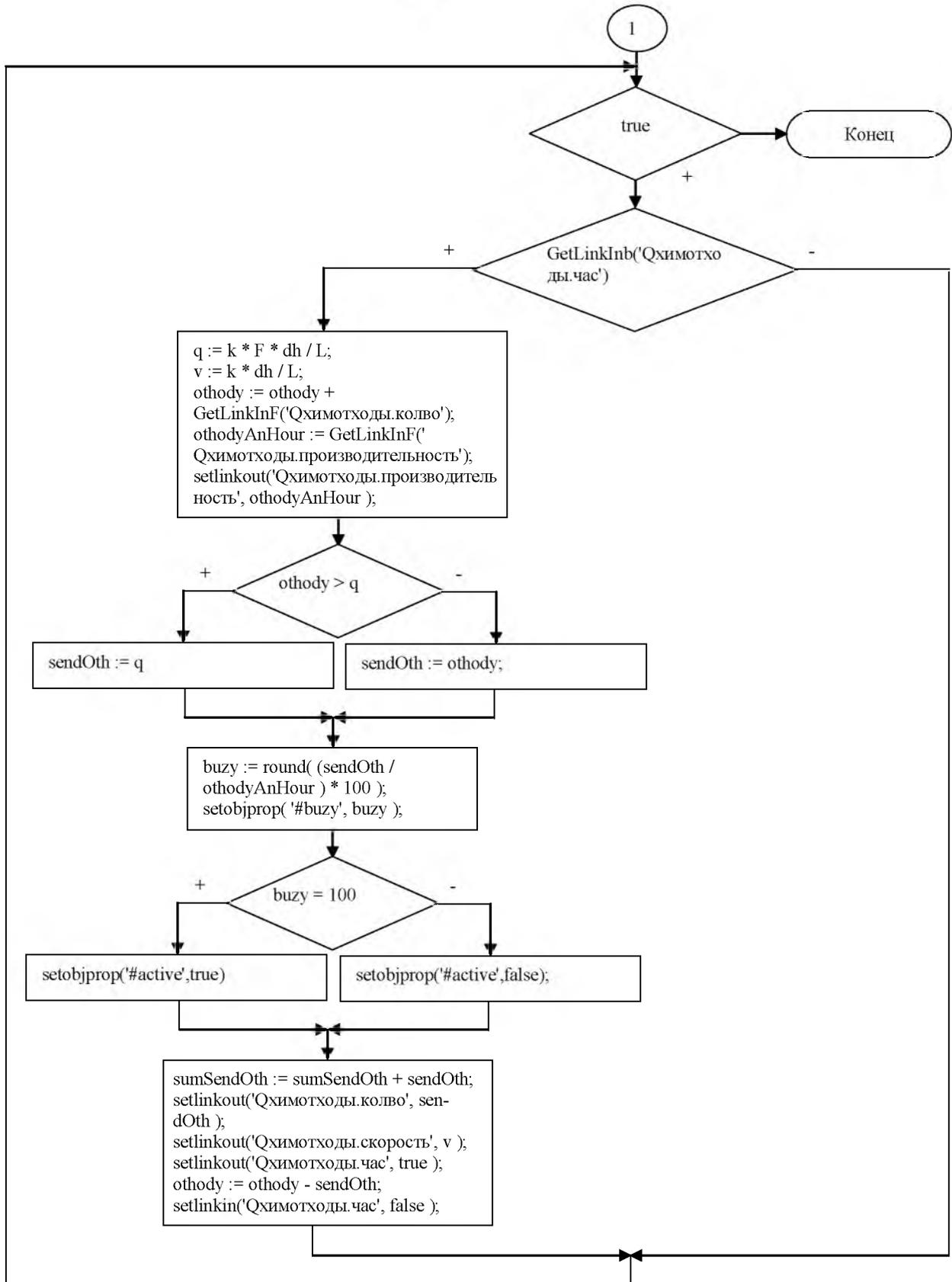


Рис. 2. Блок-схема алгоритма защитного слоя
Fig. 2. Block diagram of the protective layer algorithm

Опишем УФО-элементы, входящие в подсистемы разрабатываемой модели s_n через множество S , согласно положениям системно-объектного подхода [Маторин и др., 2016; Zhikharev et al., 2016; Маторин и др., 2017]:



$$S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}, s_{15}\} \quad (6)$$

где: s_1 – узловой объект «производство железорудного сырья»; s_2 – узловой объект «насосы откачки водоносных слоев»; s_3 – узловой объект «сгуститель 1»; s_4 – узловой объект «сгуститель 2»; s_5 – узловой объект «чаша хвостохранилища»; s_6 – узловой объект «защитный слой (песок, гравий)»; s_7 – узловой объект «защитная пленка»; s_8 – узловой объект «подстилающий грунт»; s_9 – узловой объект «переходный слой»; s_{10} – узловой объект «подстилающий грунт»; s_{11} – узловой объект «вскрышная порода»; s_{12} – узловой объект «скальное основание»; s_{13} – узловой объект «прудук-отстойник»; s_{14} – узловой объект «дренажная песчаная призма»; s_{15} – узловой объект «водозабор».

В качестве примера представим элемент s_5 (узловой объект «чаша хвостохранилища») в виде совокупности множеств:

$$s_5 = [L_?, L_?, f(L_?)L_?, O_?, O_?, O_f] \quad (7)$$

где:

– $L_?$ – множество входящих потоковых объектов $L_? = \{l_1, l_2\}$, где l_1 – «Пульпа1», l_2 – «Пульпа2»;

– $L_?$ – множество исходящих потоковых объектов $L_? = \{l_1, l_2\}$, где l_1 – «Химотходы», l_2 – «Вода»;

– $f(L_?)L_?$ – метод преобразования входящих потоковых объектов в исходящие;

– $O_?$ – множество полей интерфейсных входных характеристик объекта (параметров связей) $O_? = \{o_1 = [\text{Пульпа1.колво}, 20000], o_2 = [\text{Пульпа1.доляводы}, 0.0679], o_3 = [\text{Пульпа1.час}, \text{true}], o_4 = [\text{Пульпа2.колво}, 24000], o_5 = [\text{Пульпа2.доляводы}, 0.0679], o_6 = [\text{Пульпа2.час}, \text{true}]\}$;

– $O_!$ – множество полей интерфейсных выходных характеристик объекта (параметров связей) $O_! = \{o_1 = [\text{Химотходы.колво}, 41609], o_2 = [\text{Химотходы.скорость}, 2.08], o_3 = [\text{Химотходы.час}, \text{true}], o_4 = [\text{Химотходы.производительность}, 41609], o_5 = [\text{Вода.колво}, 0], o_6 = [\text{Вода.час}, \text{true}]\}$;

– O_f – множество свойств объекта, реализуемых в методе: «долявозвратаводы» – процентное содержание воды, откачиваемое из хвостохранилища в технологический процесс горно-обогатительного комбината.

Запустим модель на выполнение. Горно-обогатительный комбинат при разработке месторождения откачивает воду от месторождения, производит железорудное сырье, при этом пустую породу смешивает с водой в сгустителях, образуя пульпу и отправляя ее в хвостохранилище. Общая производительность сгустителей 20000 м³/час и 24000 м³/час [Вопросы сгущения хвостов...]. Состав пульпы представлен следующей концентрацией химических веществ: Fe_{общ} (9,81%), SiO₂ (70,07%), а также оксиды магния, кальция, алюминия (13,33%) [Немировский А.В., 2016]. Загруженность сгустителей отражена в узлах индикаторной полосой (рис. 3).

В хвостохранилище происходит сбор воды в прудке-отстойнике и ее осветление через дренажную призму. При этом отражено, как химические отходы фильтруются сквозь защитные слои в почву. Индикаторной полосой в узлах отображается доля от общего количества пропущенных слоев химических отходов (рис. 4). На рисунке видно, что слой песка и гравия играет роль посредника между хвостами и основной защитой. Максимальную эффективность от загрязнения почвы проявляет слой «Защитная пленка» (доля проникновения отходов от общего количества ~0%). Последующие защитные слои также сдерживают химическое загрязнение и выполняют роль усилителя защитной пленки. Общая модель взаимодействия горно-обогатительного комбината выглядит следующим образом (рис. 5).

В качестве эксперимента отразим роль защитных слоев хвостохранилища для сдерживания проникновения химических отходов в почву. Изменим значение давления в метрах выше защитного слоя хвостохранилища $h1_{\max}$ в свойствах объекта «защитная пленка» с 47.0000001 на 47.00009. Запустим модель на выполнение (рис. 6).

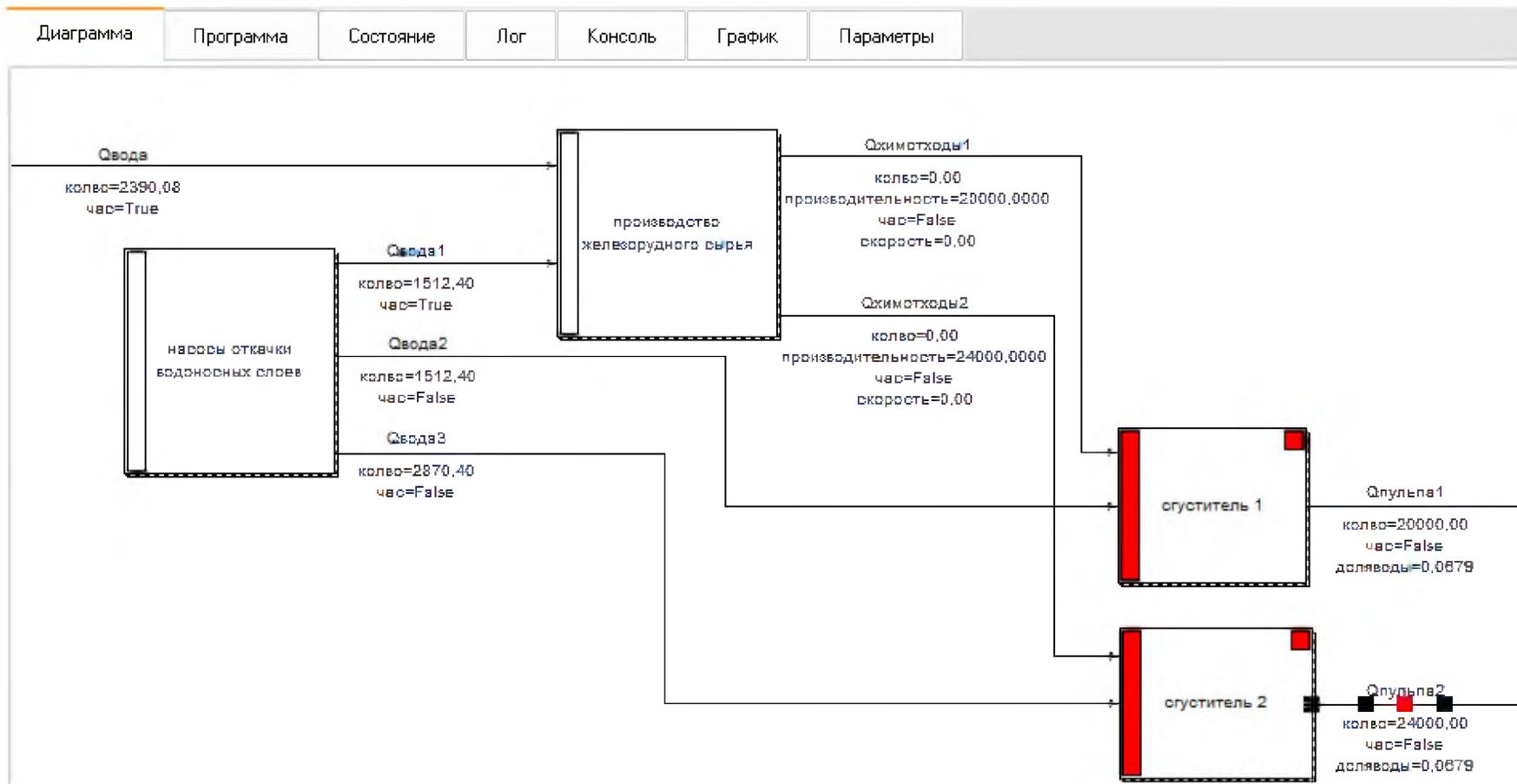


Рис. 3. Результат работы подсистемы ГОК
 Fig. 3. The result of the subsystem mining and processing plant

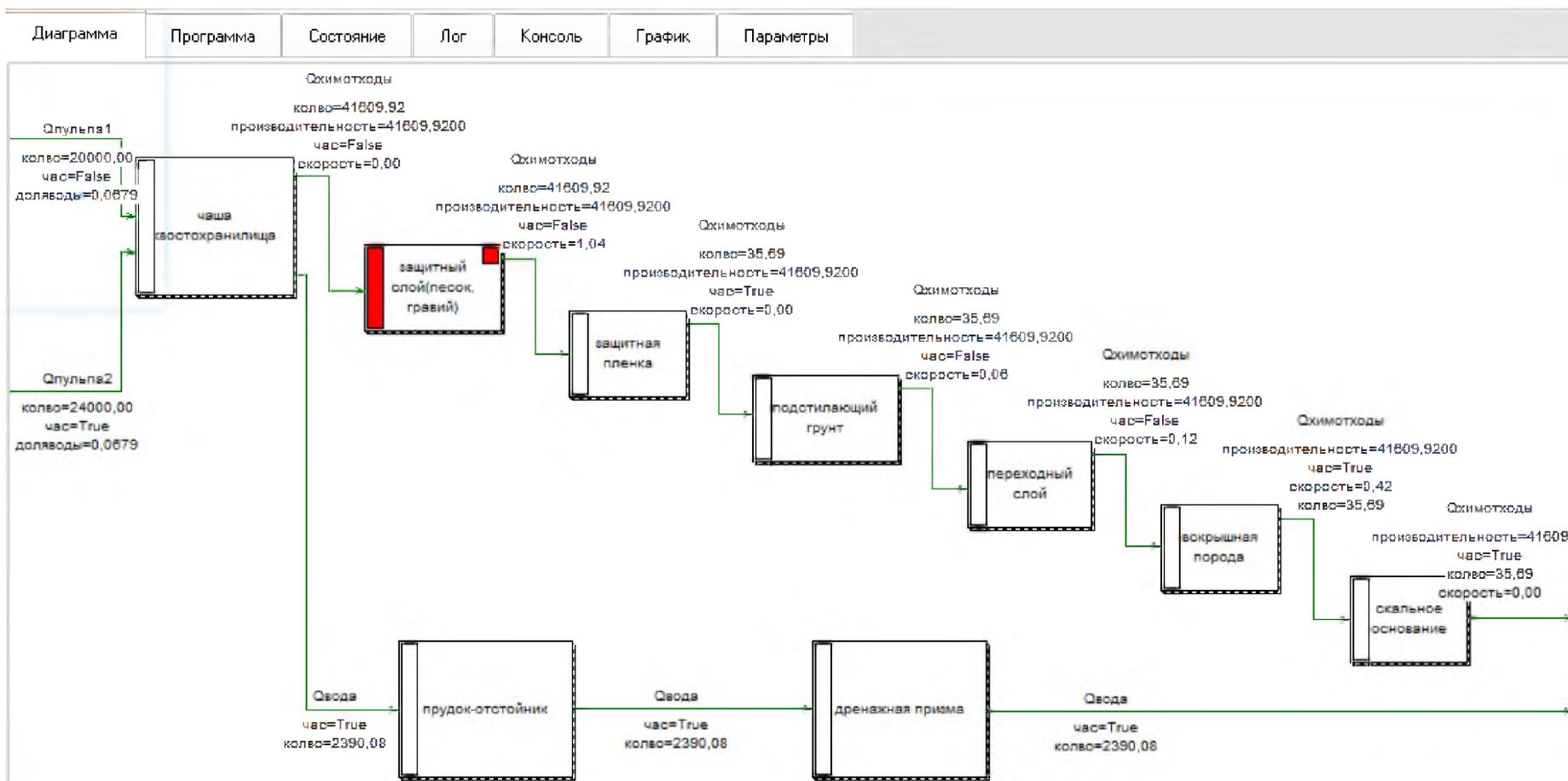


Рис. 4. Результат работы подсистемы хвостохранилища
 Fig. 4. The result of the operation of a subsystem of the tailings

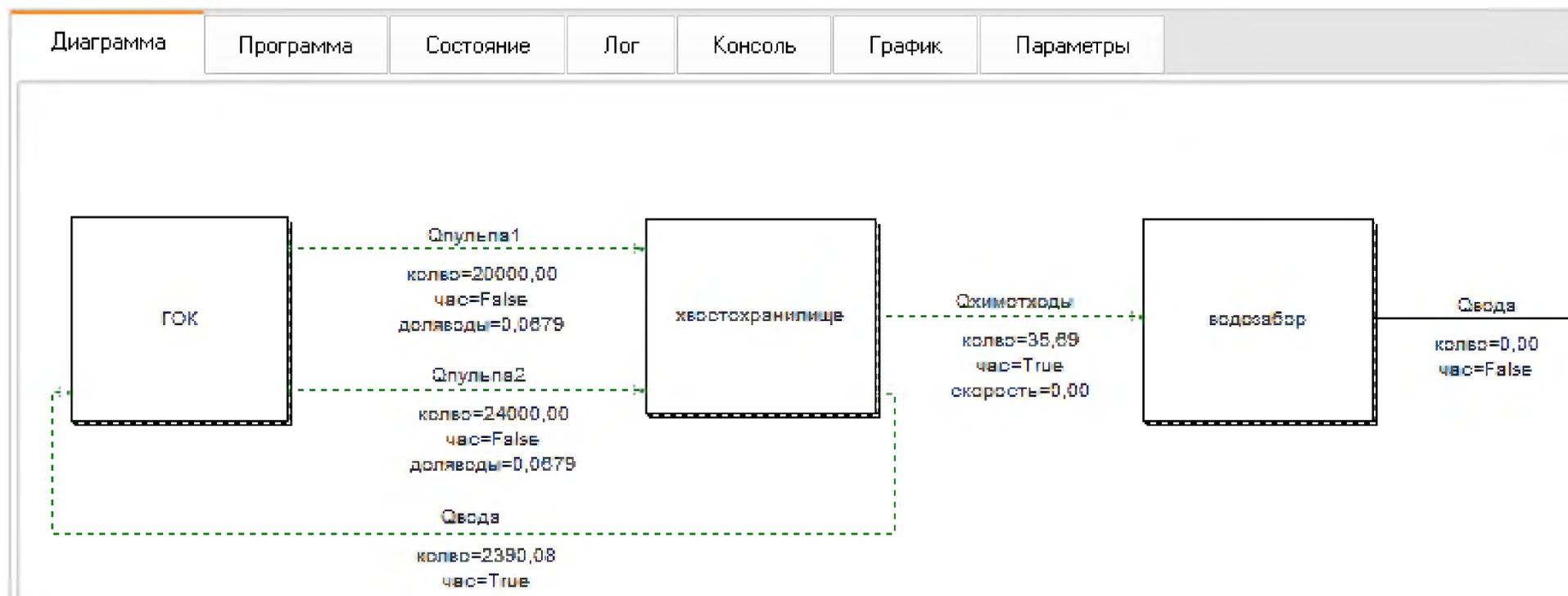


Рис. 5. Результат работы модели
 Fig. 5. The result of the operation of the model

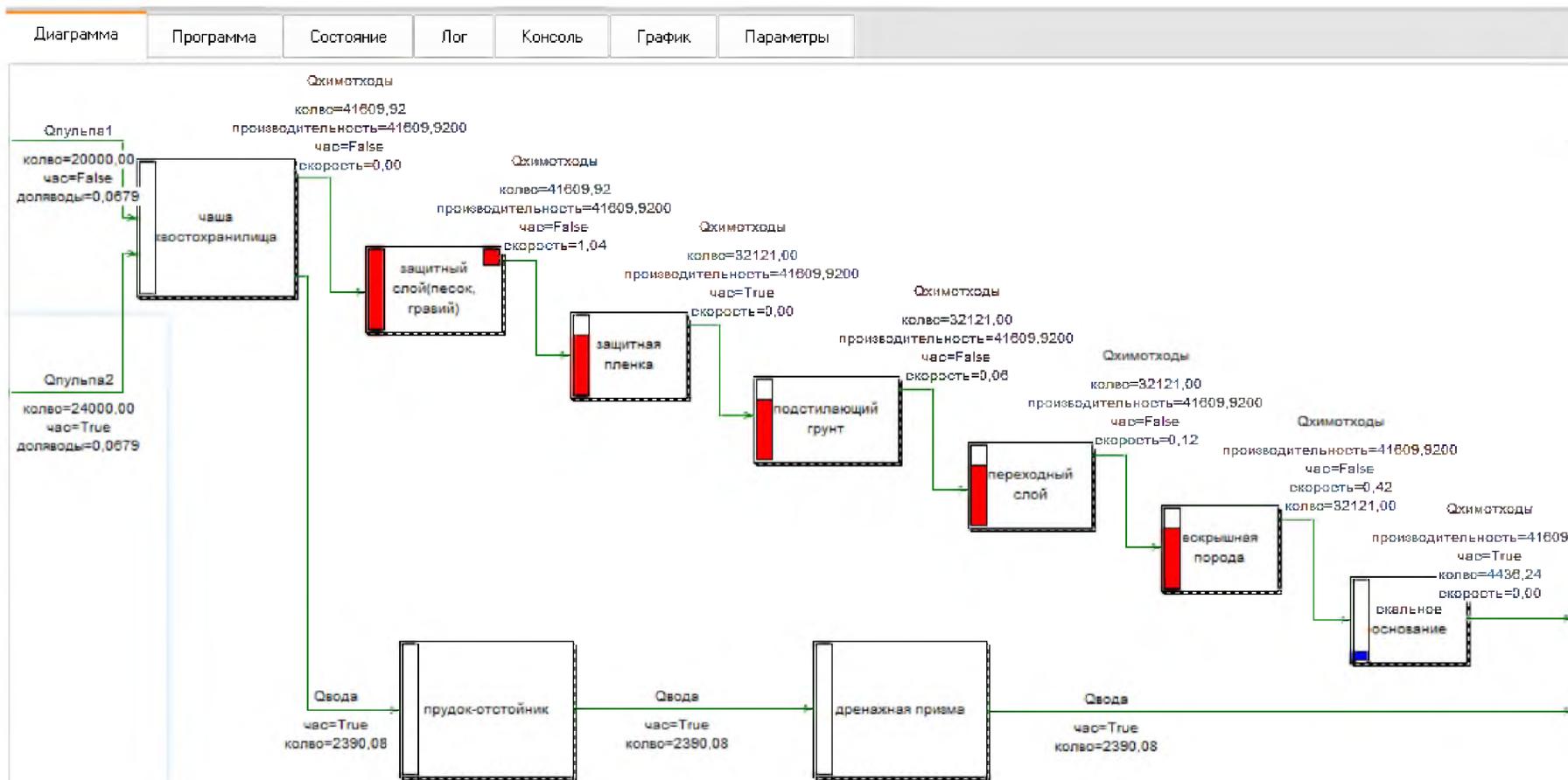


Рис. 6. Результат увеличения давления на защитную пленку
 Fig. 6. The result of increasing the pressure on the protective layer

В случае если слой «защитная пленка» не справляется со значительным увеличением давления (см. рис. 6), роль барьера для химических отходов создаст слой «скальное основание» (доля проникновения отходов от общего количества 11%).

Построим график проникновения химических отходов в почву (в кубических метрах). Зеленым цветом показано количество отходов, проникнувшее в почву при нормативном давлении на защитную пленку. Синим цветом показано количество отходов, проникнувшее сквозь скальное основание при увеличенном давлении на защитную пленку. Количество отходов указано по оси ординат (рис. 7).

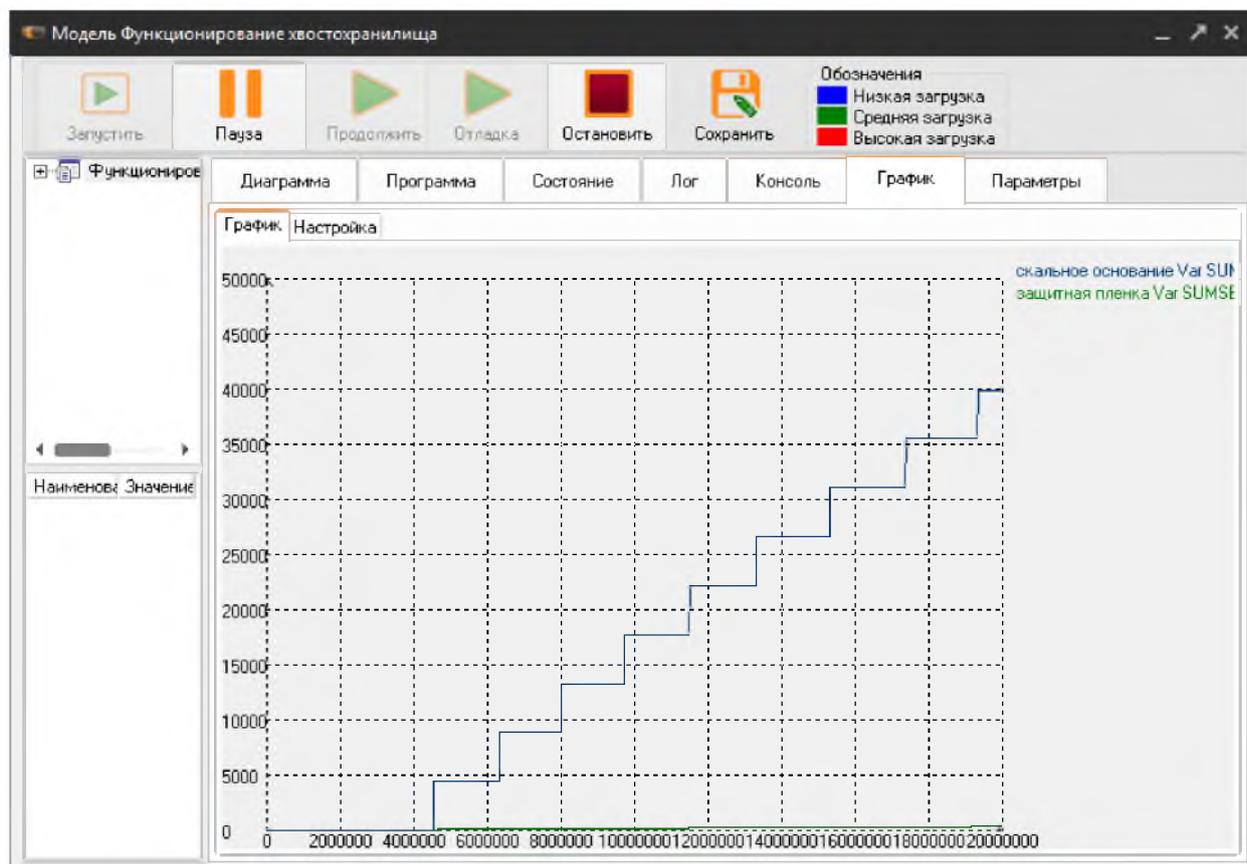


Рис. 7. Сравнение устойчивости защитных слоев к проникновению хвостов
Fig. 7. A Comparison of the stability of protective layers to the penetration of the tailings

Из графика следует, что эффективность естественного природного барьера не столь высока, как специальная защитная пленка.

Заключение

Стоит отметить, что использование ландшафта местности при создании хвостохранилищ приоритетно, однако динамика проникновения химических отходов даже в малопроницаемых горных породах значительно выше, чем у специально разработанных защитных пленок. Поэтому необходимо использование современных технологий, повышающих уровень эффективности в сдерживании химического загрязнения почвы. Таким образом, созданная имитационная системно-объектная модель позволяет осуществлять прогнозирование проникновения химических отходов в почву, однако не претендует на точность описания исследуемого объекта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00451.

Список литературы
References

1. Abadi M., Cardelli L. 1996. A Theory of Objects, Springer, Verlag.
2. Алексеева О.А. 2014. Теория систем и системный анализ: учебно-методическое пособие. Челябинск, НОУВПО РБИУ, 245.
Alekseeva O.A. 2014. Theory systems and system analysis: textbook. Chelyabinsk, NOUVPORBIU, 245. (in Russian)
3. Бузов П.А., Жихарев А.Г., Корчагина К.В. 2016. О перспективах имитационного моделирования функционирования систем. Сборник тезисов докладов XLII Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения-2016», Том 1, Москва, 398.
Buzov P.A., Zhikharev A.G., Korchagina K.V. 2016. On the prospects of simulation of the functioning of systems. Collected theses of the reports of the XLII International Youth Scientific Conference "Gagarin Readings-2016", Volume 1, Moscow, 398 (in Russian).
4. Вопросы сгущения хвостов. Mining World Russia. URL: <http://www.miningworld.ru/ru-RU/images/files/16-Nechaeva.aspx> (дата обращения: 01.07.2018).
Tailings thickening issues. Mining World Russia. Available at: <http://www.miningworld.ru/ru-RU/images/files/16-Nechaeva.aspx> (accessed: 10.07.2018). (in Russian)
5. Жихарев А.Г., Болгова Е.В., Гурьянова И.В., Маматова О.П. 2014. О перспективах развития системно-объектного метода представления организационных знаний. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 1(172): 110–114.
Zhikharev A.G., Bolgova E.V., Guryanova I.V., Mamatova O.P. 2014. On the perspectives of the development of the system-object method of representing organizational knowledge. Scientific bulletins of the Belgorod State University. Ser. History. Political science. Economy. Information technologies, 1(172): 110–114 (in Russian).
6. Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Маторин С.И. 2013. О новом графоаналитическом методе имитационного моделирования. В кн.: Материалы научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии 21 века» (С&Т*2013), (14-15 мая 2013 г.), 1: 404.
Zhikharev A.G., Zaitseva N.O., Matorin S.I. 2013. On the new graphoanalytical method of imitating modeling. In: Materials of the scientific and technical conference "Cybernetics and High Technologies of the 21st Century" (C & T * 2013), (14-15 May 2013), 1: 404. (in Russian)
7. Жихарев А.Г., Корчагина К.В., Бузов П.А., Акулов Ю.В., Жихарева М.С. 2016. Об имитационном моделировании производственно-технологических систем. Сетевой журнал Научный результат, серия Информационные технологии, 3 (3): 25–31.
Zhikharev A.G., Korchagina K.V., Buzov P.A., Akulov Yu.V., Zhikhareva M.S. 2016. On the simulation of production and technological systems. Network Journal Reserch Result. Information Technology, 3 (3): 25–31. (in Russian)
8. Жихарев А.Г., Маторин С.И. 2014. Системно-объектное моделирование технологических процессов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 21 (192): 137–141.
Zhikharev A.G., Matorin S.I. 2014. System-object modeling of technological processes. Scientific bulletins of Belgorod State University. Ser. History. Political science. Economy. Information technologies, 21 (192): 137–141. (in Russian)
9. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. 2015. Системно-объектное имитационное моделирование транспортных и технологических процессов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 7 (204): 159–169.
Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zaitseva N.O. 2015. System-object simulation of transport and technological processes. Scientific bulletins of the Belgorod State University. History. Political science. Economy. Information technologies, 7 (204): 159–169. (in Russian)
10. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Брусенская И.Н. 2013. Имитационное моделирование транспортных потоков с применением УФО-подхода. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 22 (165): 148–153.
Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zaitseva N.O., Brusenskaya I.N. 2013. Simulation modeling of transport streams with application of the UFO approach. Scientific bulletins of Belgorod State University. Ser. History. Political science. Economy. Information technologies, 22 (165): 148–153. (in Russian)
11. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. 2017. Исчисление объектов в системно-объектном методе представления знаний. Искусственный интеллект и принятие решений. М., Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, 3: 104–115



Matorin S.I., Zhikharev A.G., O.A. Zymovets. 2017. Calculation objects in a system-object method of knowledge representation. Artificial intelligence and decision-making. M., Federal research center "Informatics and management" of RAS, 3: 104–115

12. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. 2016. Системно-объектное моделирование адаптации эволюции экономических систем. Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права, 4 (60): 81–92.

Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zimovets O.A. 2016. System-object modeling of the adaptation of the evolution of economic systems. Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 4 (60): 81–92. (in Russian)

13. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. 2005. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект». НТИ. Сер. 2, 1: 1–8.

Matorin S.I., Popov A.S., Matorin V.S. 2005. Modeling of organizational systems in the light of the new "Node-Function-Object" approach. STI. Ser. 2, 1: 1–8 (in Russian)

14. Маторин С.И., Попов Э.В. 2002. Анализ и моделирование бизнес-систем: системологическая объектно-ориентированная технология. Харьков, ХНУРЭ, 322.

Matorin S.I., Popov E.V. 2002. Analysis and modeling of business systems: a systemological object-oriented technology. Kharkov. KHNURE, 322. (in Russian)

15. Немировский А.В. 2016. Разработка метода формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым потокам: дис. ... канд. техн. наук. М., 122.

Nemirovskiy A.V. 2016. Development of a method of forming the alluvial tallings, resistant to the wind flow: dis. kand. technical Sciences. M., 122.

16. НЛМК Стойленский ГОК. URL: <https://sgok.nlmk.com/ru/media-center/press-releases/gruppa-nlmk-rasshiryayet-infrastrukturnye-vozmozhnosti-dlya-rosta-proizvodstva-na-stoylenskom-goke/> (дата обращения: 10.07.2018).

NLMK's Stoilensky. Available at: <https://sgok.nlmk.com/ru/media-center/press-releases/gruppa-nlmk-rasshiryayet-infrastrukturnye-vozmozhnosti-dlya-rosta-proizvodstva-na-stoylenskom-goke/> (accessed: 10.07.2018). (in Russian)

17. Шварцев С.Л. 1996. Общая гидрогеология: учебное пособие. М., Недра, 425.

Shvartcev S.L. 1996. General hydrogeology: textbook. M., the Nedra Publishing group, 425.