



УДК 004.822

**МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОГО ПОДХОДА****METHOD OF EXTRACTION OF KNOWLEDGE ABOUT THE PECULIARITIES OF  
UNDERGROUND WATER DISTRIBUTION ON THE BASIS  
OF THE SYSTEM-OBJECT APPROACH****А.Г. Жихарев<sup>1</sup>, И.А. Егоров<sup>2</sup>, С.И. Маторин<sup>3</sup>, Е.В. Болгова<sup>1</sup>, М.А. Петина<sup>1</sup>  
A.G. Zhikharev<sup>1</sup>, I.A. Egorov<sup>2</sup>, S.I. Matorin<sup>3</sup>, E.V. Bolgova<sup>1</sup>, M.A. Petina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

<sup>2</sup>) ОА НПП «СПЕЦ-РАДИО», Россия, 308023, г. Белгород, ул. Промышленная, д. 4

<sup>3</sup>) Белгородский университет кооперации, экономики и права,  
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, д. 116а

<sup>1</sup>) Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

<sup>2</sup>) ST RPE "SPEC-RADIO", 4 Promyshlennaya St., Belgorod, 308023, Russia

<sup>3</sup>) Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,  
116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia

E-mail: zhikharev@bsu.edu.ru

**Аннотация**

Рассматривается задача разработки системно-объектного метода извлечения знаний об особенностях распространения подземных вод на примере Старооскольско-Губкинского горнопромышленного узла. Предлагаются формальные основы исчисления функциональных объектов, а также языка описания функциональных объектов в контексте вышеуказанного исчисления. С применением предложенных формальных основ строится модель знаний о динамике распространения подземных вод в окрестностях Старооскольского и Губкинского горно-обогатительных комбинатов. На разработанной модели проводятся ряд экспериментов по прогнозированию динамики уровня подземных вод в отдельных водоносных горизонтах.

**Abstract**

The task of developing a system-object method for extracting knowledge about the features of groundwater distribution on the example of the Starooskolsko-Gubkinsky mining hub is considered. The formal bases of the calculation of functional objects, as well as the language of the description of functional objects in the context of the above calculus, are proposed. With the application of the proposed formal foundations, a model of knowledge about the dynamics of the distribution of ground waters in the vicinity of the Starooskolsky and Gubsky Mining and Concentrating Complexes is being built. On the developed model, a number of experiments are conducted to predict the dynamics of the groundwater level in individual aquifers.

**Ключевые слова:** функционирующая система; состояние системы; имитационная модель; динамика системы; графоаналитическое моделирование; «UFOModeler»; уровень подземных вод, хвостохранилище, водозабор.

**Keywords:** functioning system; state of the system; simulation model; dynamics of the system; graphoanalytic modeling; "UFOModeler"; groundwater level, tailing dump, water intake.

**Введение**

Рассмотрим основные концептуальные положения системного подхода, в рамках которого строится модель знаний о динамике уровня подземных вод. Во-первых, система



рассматривается как функциональный объект, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса (т.е. надсистемы) [Маторин и др., 2016; Zhikharev and other, 2015]. Во-вторых, любая система обязательно связана с другими системами и эти связи представляют собой потоки элементов глубинного яруса связанных систем [Жихарев и др., 2015; Жихарев и др., 2014]. При этом, связи данной системы с другими системами – функциональные, связи между подсистемами данной системы – поддерживающие. В-третьих, следствием упомянутого выше определения системы и понимания связи между системами является представление системы в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» [Маторин и др., 2005; Маторин и др., 2002] (УФО-элемента).

В соответствии с положениями исчисления функциональных объектов, множество потоковых объектов  $L$ , соответствует множеству связей системы и имеет вид:

$$L = \{l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n\}, \tag{1}$$

где  $n$  – количество потоковых объектов (связей системы). Каждый  $n$ -й элемент множества  $L$  представляет собою специальный потоковый объект (соответствующий конкретной связи системы), который, в соответствии с теорией объектов Аббади-Кардели [Abadi, Cardelli, 1996], состоит из полей и не содержит методы и имеет следующий вид:

$$l_n = [r^1, r^2, \dots, r^k], \tag{2}$$

где:  $l_n \in L$ ;  $k$  – количество полей потокового объекта  $l_n$ ;  $r^1, r^2, \dots, r^k$  – поля потокового объекта, представляющие собой пару «идентификатор-значение». В дальнейших формулировках при обращении к полям потоковых и узловых объектов будем использовать стандартную запись вида  $l_n.r^1$ . Множество  $L$  при этом примет следующий вид:

$$L = \{l_1 = [r_1^1, r_1^2, \dots, r_1^{k1}], l_2 = [r_2^1, r_2^2, \dots, r_2^{k2}], \dots, l_n = [r_n^1, r_n^2, \dots, r_n^{kn}]\}, \tag{3}$$

где нижние индексы полей  $r$  – представляют собою номер потокового объекта – родителя, а верхние индексы полей  $r$  – это порядковый номер поля в рамках родительского потокового объекта, причем  $kn$  – количество полей потокового объекта  $l_n$ . Обозначим множество полей потокового объекта  $l_n$  переменной  $R_n$ , тогда:

$$R_n = \{r_n^{kn} \mid r_n^{kn} = [\text{идентификатор}, \text{значение}]\} \tag{4}$$

Таким образом, множество  $L$  потоковых объектов (связей системы) можно определить следующим образом:

$$L = \{l_n \mid l_n = [R_n]\} \tag{5}$$

Множество узловых объектов  $S$ , соответствует множеству систем как УФО-элементов, согласно основным положениям СОМПЗ [Zhikharev and other, 2016] и имеет следующий вид:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_j\}, \tag{6}$$

где  $j$  – количество узловых объектов (систем). Каждый  $j$ -й элемент множества  $S$  представляет собою специальный узловой объект (соответствующий конкретной системе/УФО-элементу), который в соответствии с теорией объектов Аббади-Кардели [Abadi, Cardelli, 1996] состоит из полей и метода и имеет следующий вид:

$$s_j = [U, f, O], \tag{7}$$

где:  $U$  – представляет собою множество полей для описания интерфейсных потоковых объектов узлового объекта  $s_j$ , соответствующих множеству функциональных связей данной системы. Множество  $U = L_2 \cup L_1$ , где  $L_2$  – представляет собою множество входящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих входящим связям системы,  $L_1$  – представляет собою множество исходящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих выходящим связям системы. Индексы «?» и «!» потоковых объектов в



работе применяются как обозначение входящего - «?» и исходящего «!» потокового объекта по отношению к узловому объекту. Причем:  $L_? \subset L$ ;  $L_! \subset L$ .

$f$  – представляет собой метод узлового объекта  $s_j$ , описывающий функцию, преобразующую входящие интерфейсные потоковые объекты (входящие связи системы)  $L_?$  в выходящие -  $L_!$ . Далее метод узлового объекта будем представлять в следующем виде:

$$f(L_?)L_!, \quad (8)$$

$O$  - представляет собою множество полей для описания объектных характеристик узлового объекта (системы)  $s_j$ , элементы которого имеют следующий формат:

$$O = \{o_i \mid o_i = [\text{идентификатор}, \text{значение}]\}, \quad (9)$$

где  $i$  – представляет собой количество полей узлового объекта  $s_j$ . Множество полей для описания объектных характеристик системы состоит из трех подмножеств:

$$O = O_? \cup O_! \cup O_f \quad (10)$$

Множество полей  $O_?$  содержит интерфейсные входные характеристики узлового объекта. Для каждого поля каждого входного потокового объекта в множестве  $O_?$  содержится соответствующий экземпляр вида (9).

Если набор входящих потоковых объектов  $L_? = [l_{?1}, l_{?2}, \dots, l_{?n}]$ , а набор исходящих потоковых объектов  $L_! = [l_{!1}, l_{!2}, \dots, l_{!m}]$ , тогда функция узлового объекта будет соответствовать выражению:

$$f(L_?, t)L_! = \begin{cases} l_{!1}.r^*; l_{!1}.r^* = \varphi_1(L_?); \text{delay} = t_1; \\ l_{!2}.r^*; l_{!2}.r^* = \varphi_2(L_?); \text{delay} = t_2; \\ \dots \\ l_{!m}.r^*; l_{!m}.r^* = \varphi_m(L_?); \text{delay} = t_m; \end{cases} \quad (11)$$

где, оператор *delay* – моделирует временную задержку на преобразование входа в выход продолжительностью  $t_m$ , а функция  $\varphi_m$  представляет собой однозначную математическую зависимость поля выходного потокового объекта  $l_{!1}.r^*$  от набора входных значений  $L_?$ .

### Реализация имитационной модели

Рассмотрим иерархию потоковых объектов модели знаний о динамике уровня подземных вод. Как было описано выше, потоковый объект представляет собою именованное множество, состоящее из полей. Выделим в модели вещественный потоковый объект, представляющий собою водную массу, протекающую между точками маршрута в единицу времени. Данный потоковый объект будет иметь следующую форму:

$$Q = [q_1, q_2, q_3, q_4], \quad (12)$$

где:  $q_1$  – объем воды, в кубических метрах;  $q_2$  – верхняя граница потока (расстояние от поверхности земли до водяного зеркала в скважине, в метрах);  $q_3$  – нижняя граница потока (расстояние от поверхности земли до нижней границы водоносного горизонта, в метрах);  $q_4$  – скорость движения подземных вод (скорость фильтрации), в метрах в секунду. Данный потоковый объект имеет вещественный тип в иерархии потоковых объектов модели. Фактически это ключевой потоковый объект, который моделирует движение воды в определенной области. Для моделирования процессов водозабора из скважин, определим отдельный потоковый объект следующего вида:

$$\text{Водоотбор} = [q, q_{max}], \quad (13)$$

где:  $q$  – объем воды, отобранный из скважины за сутки, в кубических метрах;  $q_{max}$  – максимальный возможный объем отбора воды из скважины в сутки, в кубических метрах. Для данного потокового объекта введем потоковые объекты, которые соответствуют водозаборам для каждого отдельного технологического объекта, как показано на рисунке 1.



На рисунке 1 представлен фрагмент модели для отдельного водозабора, который имеет в своей структуре 19 скважин, таким образом, для каждой скважины предназначен отдельный потоковый объект вида (13). Для моделирования влияния климатических условий, введем в модель управляющий потоковый объект, моделирующий изменение климатических условий следующего вида:

$$\text{Климат} = [\text{осадки}, \text{засуха}, \text{сезон}], \tag{14}$$

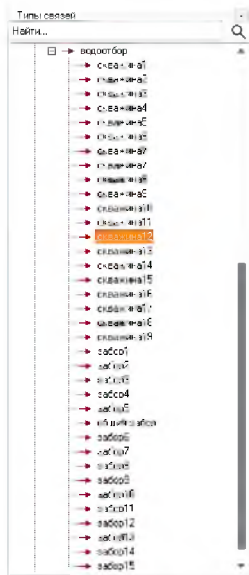


Рис. 1. Фрагмент иерархии потоковых объектов для Ильинского водозабора  
 Fig. 1. Fragment of the hierarchy of streaming objects for the Ilyinsky water intake

Поля *Климат.осадки* и *Климат.засуха* хранят значение логического типа данных, а поле *Климат.сезон* принимает целое значение от 1 до 4, где 1- зима, 2-весна, 3-лето, 4- осень.

Далее рассмотрим узловые объекты модели. В качестве узловых объектов будем рассматривать следующие техногенные сооружения:

1. Водозаборы, находящиеся в окрестностях Старооскольского и Губкинского горно-обогатительных комбинатов:
  - 1) Ильинский водозабор.
  - 2) Воротниковский водозабор.
  - 3) Незнамовский водозабор.
  - 4) Бор-Анпиловский водозабор.
  - 5) Гуменский водозабор.
  - 6) Водозабор северной промкомзоны.
  - 7) Водозабор МУП «ОЖКХ».
  - 8) Водозабор «Лебеди».
  - 9) Водозабор п. Троицкий.
  - 10) Водозабор «Теплый колодезь».
  - 11) Водозабор «Парковый».
  - 12) Водозабор «Городской парк».
  - 13) Водозабор «Яр-Кучугуры».
2. Техногенные сооружения, относящиеся к инфраструктуре Старооскольского и Губкинского горно-обогатительных комбинатов:
  - 1) СГОК.
  - 2) ЛГОК.
  - 3) Хвостохранилище СГОКа.
  - 4) Хвостохранилище ЛГОКа.



## 3. Управляющие узловые объекты:

- 1) Климатический фактор.
- 2) Забор воды.

Представленные выше узловые объекты, опишем с помощью формальных основ исчисления функциональных объектов. Рассмотрим узловой объект «Климатический фактор», который в модели играет роль генератора погодных условий. Формально, данный узловой объект представляет собою следующее выражение:

$$\langle \text{«Климатический фактор»} \rangle = [L_?, L; f(L_?)L; O_?, O; O_f], \quad (15)$$

где:  $L_? = \emptyset$ ;  $L = [\text{кл. усл. 1}, \text{кл. усл. 2}, \dots, \text{кл. усл. } n]$ ;  $O_? = \emptyset$ ;  $O = \emptyset$ ;  $O_f = \emptyset$  Множество входных потоковых объектов данного узлового объекта равно пустому множеству. Множество выходных потоковых объектов содержит  $n$  выходящих потоковых объектов вида (14), где  $n$  – количество водозаборов. Т.е. узловой объект «Климатический фактор» генерирует погодные условия для каждого узлового объекта, моделирующего техногенные водозаборы. Объектные характеристики в данном случае не используются. Рассмотрим подробнее метод данного узлового объекта.

$$f(t)L_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{кл. усл. 1. сезон: кл. усл. 1. сезон} = 1; \text{ delay} = t; \\ \dots \\ \text{кл. усл. } n. \text{ сезон: кл. усл. } n. \text{ сезон} = 1; \text{ delay} = t; \\ \text{кл. усл. 1. сезон: кл. усл. 1. сезон} = 2; \text{ delay} = t; \\ \dots \\ \text{кл. усл. } n. \text{ сезон: кл. усл. } n. \text{ сезон} = 2; \text{ delay} = t; \\ \text{кл. усл. 1. сезон: кл. усл. 1. сезон} = 3; \text{ delay} = t; \\ \dots \\ \text{кл. усл. } n. \text{ сезон: кл. усл. } n. \text{ сезон} = 3; \text{ delay} = t; \\ \text{кл. усл. 1. сезон: кл. усл. 1. сезон} = 4; \text{ delay} = t; \\ \dots \\ \text{кл. усл. } n. \text{ сезон: кл. усл. } n. \text{ сезон} = 4; \text{ delay} = t; \\ t = 7776000; n \in [1:15]; \end{array} \right. \quad (16)$$

Таким образом, метод данного узлового объекта будет по истечении одного месяца (среднее количество дней – 30, в секундах – 7776000) изменять номер сезона в выходящих потоковых объектах от 1 до 4, что моделирует смену сезона, от которого зависит вероятность осадков или засухи.

Далее рассмотрим узловой объект соответствующий Ильинскому водозабору. Данный узловой объект на вход принимает управляющий потоковый объект «кл. усл. 1» на выходе экземпляр потокового объекта – « $Q$ » и «Водоотбор». Таким образом, формально, узловой объект, соответствующий Ильинскому водозабору имеет следующий вид:

$$\langle \text{«Ильинский водозабор»} \rangle = [L_?, L; f(L_?)L; O_?, O; O_f], \quad (17)$$

где:  $L_? = [\text{кл. усл. 1}]$ ;  $L = [Q, \text{ водоотбор}_1]$ ;  $O_? = \emptyset$ ;  $O = \emptyset$ ;  $O_f = \emptyset$ . Метод узлового объекта является композицией узловых объектов нижнего уровня. Как говорилось выше, каждый водозаборный комплекс состоит из нескольких скважин с различными параметрами, рассмотрим структуру узлового объекта, соответствующего скважине Ильинского водозабора. Формально такой узловой объект имеет следующий вид:

$$\langle \text{«Скважина 1»} \rangle = [L_?, L; f(L_?)L; O_?, O; O_f], \quad (18)$$

где:  $L_? = [\text{кл. усл. 1}]$ ;  $L = [Q, \text{ водоотбор}_1]$ ;  $O_? = \emptyset$ ;  $O = \emptyset$ ;  $O_f = [q, h1, h2, h1_{max}, q_{max}, n, k, l, \text{debit}_{max}]$ . Рассмотрим подробнее объектные характеристики данного узлового объекта:

- $q$  – количество воды, протекающей за сутки в текущей скважине ( $\text{м}^3/\text{сут.}$ );
- $h1$  – верхняя граница водоносного горизонта в текущей скважине (м);
- $h2$  – нижняя граница водоносного горизонта в текущей скважине (м);
- $h1_{max}$  – максимальный уровень подземных вод (м);
- $q_{max}$  – максимальный запас водоносного горизонта ( $\text{м}^3$ );



- $n$  – порядковый номер скважины текущего водозаборного комплекса;
- $k$ – коэффициент фильтрации;
- $l$ – расстояние от скважины до ближайшего горно-обогатительного комбината;
- $debit_{max}$  – максимальное количество откачиваемой воды.

Все представленные выше показатели характеризуют отдельную скважину. Рассмотрим подробнее показатель – коэффициент фильтрации. Данный коэффициент, в соответствии с законом Дарси [Бочеревер и др, 1969] показывает скорость фильтрации при градиенте напора равном единице. Данный показатель зависит от типа почв, из которых состоит водоносный горизонт. Объектные характеристики скважины используются в описании метода данного узлового объекта, который в свою очередь, определяет процесс перетекания подземных вод через текущую точку. Рассмотрим метод узлового объекта «Скважина 1» подробнее. В соответствии с законом Дарси (линейное распределение) метод данного узлового объекта можно представить в виде выражения:

$$f(t, \text{кл. усл. 1}) Q, \text{ водоотбор}_1 = \begin{cases} \text{водоотбор.} q = (random * 30) + 1228; \\ Q. q_1 = q - \text{водоотбор.} q; \\ Q. q_2 = Q. q_2 + \frac{\text{водоотбор.} q}{\frac{k \cdot F}{l}}; \\ Q. q_3 = h_2; \\ Q. q_4 = \frac{k \cdot (Q. q_3 - Q. q_2)}{l}; \\ t = 7776000; \end{cases} \quad (19)$$

Выражение представленное выше, показывает логику функционирования метода узлового объекта – скважина. Оператор *random* – генерирует случайное число в промежутке от нуля до единицы. Первый оператор метода узлового объекта позволяет рассчитать объем суточный объем воды, откачиваемый из скважины в кубических метрах. Согласно исходным данным, в данной скважине суточный объем откачиваемой воды варьируется в пределах от 1228 до 1258 кубических метров. Второй оператор рассчитывает верхнюю границе водоносного горизонта. Здесь переменная  $F$ –представляет собой площадь поперечного сечения скважины в квадратных метрах. Третий оператор записывает нижнюю границу водоносного горизонта, причем для конкретной скважины данный показатель неизменен. Четвертый оператор позволяет рассчитать, в соответствии с законом Дарси скорость движения подземной воды. Далее осуществляется задержка, равная одним суткам реального времени. Таким образом, данный метод будет срабатывать один раз в сутки модельного времени и осуществлять перерасчет интересующих показателей. Остальные скважины всех водозаборов будут иметь подобную структуру за исключением значений объектных характеристик. Визуально контекстная модель распространения подземных вод будет выглядеть, как показано на рисунке ниже. Как видно из модели, на контекстной диаграмме были расположены: управляющий блок для генерации климатических условий, а также блоки, моделирующие техногенные сооружения, влияющие на уровень подземных вод. Блок «Климатический фактор» является генератором и одновременно генерирует на все водозаборы номер сезона. Климатические условия влияют на уровень подземных вод посредством соответствующего потокового объекта (см. рисунок 2).

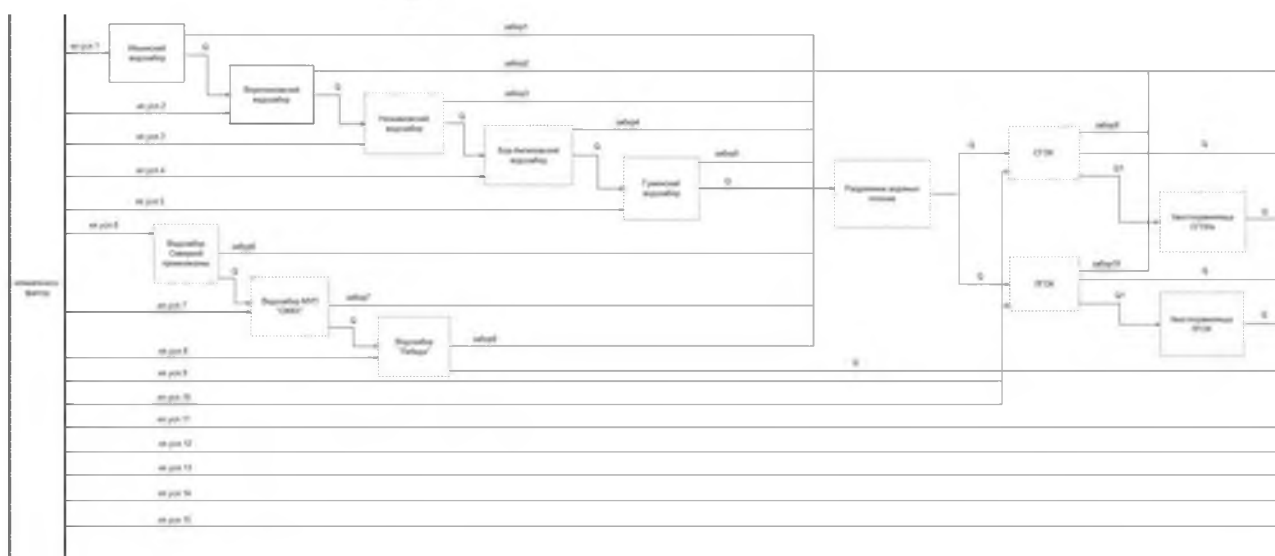


Рис. 2. Контекстная модель распространения подземных вод  
Fig. 2. Context model of groundwater distribution

Так же данный блок моделирует естественное пополнение подземных вод осадками, просочившимися через почву. Последовательность расположения техногенных сооружения на модели отражает действительное расположение водозаборов, скважин, хвостохранилищ и др. Поток подземных вод, как было описано выше, на модели представлен в виде потокового объекта « $Q$ ». Данный потоковый объект моделирует направление движения подземных вод от Ильинского водозабора к Воротниковскому забору и т.д. Как видно из модели, из каждого блока, представляющего собою техногенный узел, выходит потоковый объект, моделирующий водозабор. Данный потоковый объект позволяет в модели учесть откачку воды из скважин в соответствии статистическими данными о средних отборах воды на отдельных участках водозаборов и горно-обогатительных комбинатов. Контекстная модель знаний представлена на рисунке ниже:

Каждый водозабор состоит из нескольких скважин, которые, собственно, и являются ключевым техногенным сооружением влияющим на уровень подземных вод. Рассмотрим структуру Ильинского водозабора, состоящего из 19 скважин. Причем все скважины расположены последовательно по ходу течения подземных вод в рассматриваемом водоносном горизонте. Для удобства скважины пронумерованы в порядке их монтажа по ходу движения подземных вод.

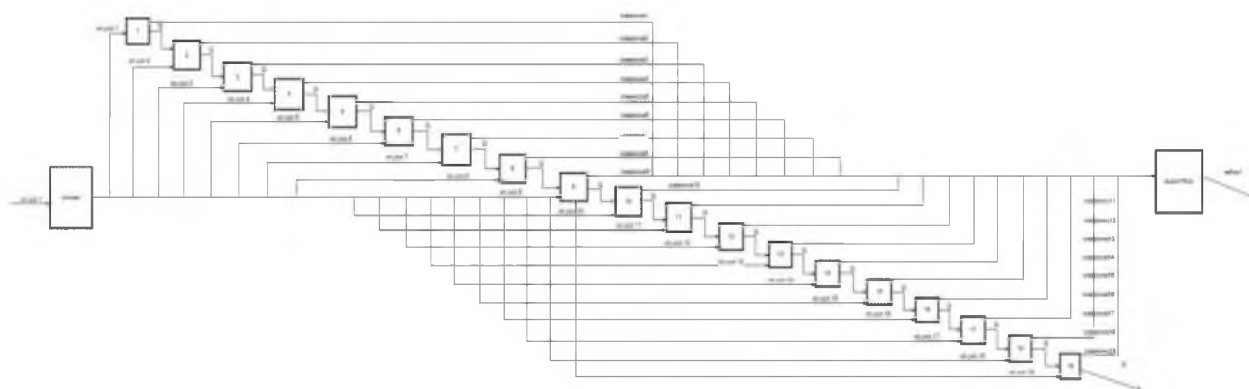


Рис. 3. Модель Ильинского водозабора  
Fig. 3. Model of the Ilyinsky water intake



Как видно из рисунка 3, все скважины имеют одинаковую структуру: в качестве входных потоковых объектов выступают водный поток и климатические условия, в качестве исходящих – водозабор и водный поток. Также на модели расположены два дополнительных блока. Первый блок – генерирует погодный условия в соответствие с текущим сезоном. Метод узлового объекта данного блока в соответствии с статистическими значениями вероятностей появления осадков или засухи в определенные сезоны, генерирует погодные условия в области Ильинского водозабора. Блок «Водоотбор» является блоком-сумматором, задача которого состоит в суммировании объемов откаченной воды в сутки со всех 19 скважин. Рассмотрим имитацию процесса распространения подземных вод с применением разработанной модели. Для этого запустим модель с масштабom времени: 1 секунда реального времени равна 1 суткам модельного времени. На рисунке 4 показан процесс симуляции распространения подземных вод в заданных областях. Прямоугольные индикаторы на блоках – скважинах показывают текущую наполненность водоносного горизонта. Так же имеется возможность в режиме реального времени вывести промежуточные значения потоковых объектов модели.

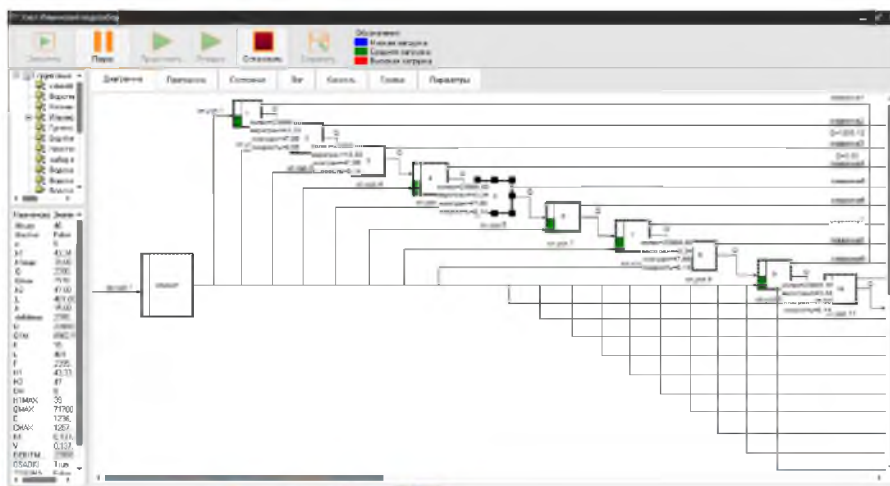


Рис. 4. Симуляция процесса распространения подземных вод  
 Fig. 4. Simulation of groundwater distribution

Рассмотрим зависимость уровня подземных вод от сезонных климатических условий. Для этого мы запустили модель на исполнение в указанном выше варианте и вывели на график объем воды в 19 скважине за сутки и номер сезона.

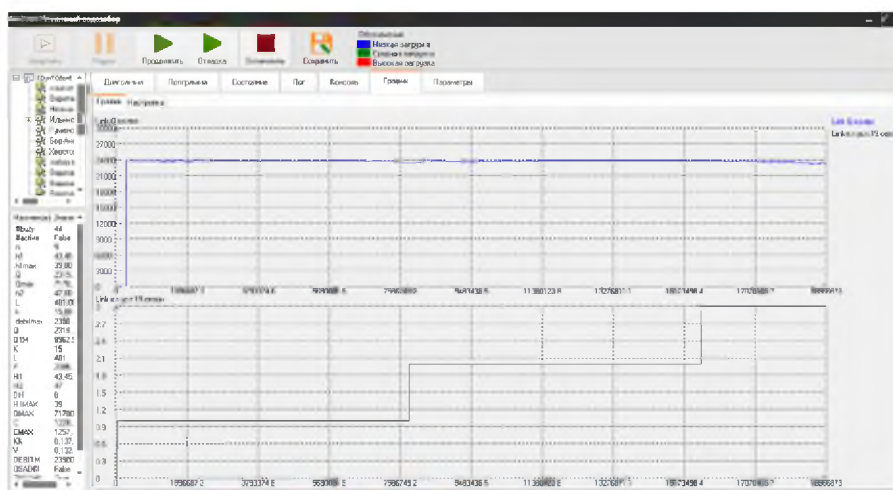


Рис. 5. График изменения объема подземных вод в зависимости от сезона  
 Fig. 5. Schedule of changes in the volume of groundwater depending on the season





Из графиков видно, что при наступлении лета (номер сезона = 3) вероятность засухи повышается, а, соответственно, уровень подземных вод снижается. Таким образом, модель отражает сезонные колебания уровня подземных вод. Наличие встроенного языка описания функциональных узлов делает модель очень гибкой в использовании. При проведении экспериментов можно имитировать различные техногенные условия путем изменения соответствующих методов узловых объектов.

### Заключение

Разработанная системно-объектная имитационная модель позволяет получить знания об особенностях изменения уровня подземных вод в окрестностях Старооскольского и Лебединского горно-обогатительных комбинатов. С помощью разработанной модели появляется возможность прогноза уровня подземных вод при влиянии различных техногенных факторов. В дальнейшей работе на модели будут проведены ряд экспериментов для выявления особенностей изменения уровня подземных вод.

### Список литературы

#### References

1. Abadi M, Cardelli L. 1996. A Theory of Objects, Springer, Verlag.
2. Diestel R. 2005. Graph Theory. Springer, 410.
3. Kondratenko A.A., Matorin S.I., Zhikharev A.G., Nemtsev A.N., Riabtceva I.N. 2017. Application of logical output means on ontologies to UFO models of subject domains. Journal of Engineering and Applied Sciences. 12(5): 1347-1354.
4. Milner R., Parrow J., Walker D.A. 1989. Calculus of Mobile Processes. Part I. LFCS Report 89-85. University of Edinburgh.
5. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zimovets O.A., Zhikhareva M.S., Rakov V.I. 2016. The simulation modeling of systems taking into account their internal parameters change. International Journal of Pharmacy & Technology, 8(4): 26933-26945.
6. Zhikharev, A.G., Matorin, S.I., Zaitseva, N.O. 2015. About perspectives of simulation technological processes functioning with using system-object approach node-function-object. International Journal of Applied Engineering Research, 10(12): 31363-31370.
7. Алиев Р.А. 1990. Производственные системы с искусственным интеллектом. М., Радио и связь.  
Aliev R.A. 1990. Production systems with artificial intelligence. М., Radio and Communication (in Russian)
8. Бочевер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М., 1969. Основы гидрологических расчетов. М., издательство «Недра», 368.  
Bochever F.M., Garmonov I.V., Lebedev A.V., Shestakov V.M. 1969. Fundamentals of hydrological calculations. М., publishing house "Nedra", 368. (in Russian)
9. 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)
10. 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)



11. Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Маторин С.И. 2013. О новом графоаналитическом методе имитационного моделирования. Материалы научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии 21 века» (С&Т\*2013), 14-15 мая 2013 г., том 1, 404.

Zhikharev A.G., Zaitseva N.O., Matorin S.I. 2013. On the new graphoanalytical method of imitating modeling. Materials of the scientific and technical conference "Cybernetics and High Technologies of the 21st Century" (C & T \* 2013), May 14-15, 2013, Volume 1, 404. (in Russian)

12. 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)

13. 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)

14. 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)

15. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. 2015. Системно-объектный инструментальный для имитационного моделирования технологических процессов и транспортных потоков. Искусственный интеллект и принятие решений. 4: 95-103.

Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zaitseva N.O. 2015. System-Object Toolkit for Simulation of Technological Processes and Transport Streams. Artificial Intelligence and Decision Making. 84: 95-103. (in Russian)

16. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Маматов Е.М., Смородина Н.Н. 2013. О системно-объектном методе представления организационных знаний. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 8(151): 137-146.

Zhikharev A.G., Matorin S.I., Mamatov E.M., Smorodina N.N. 2013. On the system-object method of representing organizational knowledge. Scientific bulletins of Belgorod State University. Ser. History. Political science. Economy. Information technologies. 8(151): 137-146. (in Russian)

17. 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)

18. 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)

19. 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)

20. 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)