

УДК 004.94:551.345

В.Ю. Полищук

## Программный комплекс имитационного моделирования динамики полей термокарстовых озер в зонах вечной мерзлоты

Описан комплекс программ имитационного моделирования полей термокарстовых озер, в состав которого входят следующие основные компоненты: подсистема моделирования, подсистема отображения результатов моделирования и база данных. Проведено прогнозирование динамики полей термокарстовых озер на территории многолетней мерзлоты Западной Сибири с учетом повышения среднегодовой температуры воздуха до 2030 г.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, программный комплекс, прогнозирование, многолетняя мерзлота.

Потепление климата, ставшее одной из наиболее значимых глобальных проблем современности, приводит на северных территориях к росту аварийности на трубопроводах и других сооружениях нефтегазового комплекса. Снижение прочности многолетнемерзлых пород, вызываемое ускорением термокарстовых процессов под воздействием потепления, сопровождается ростом экономических и экологических ущербов на предприятиях отечественного нефтегазового комплекса, так как большинство газовых месторождений и значительная часть месторождений нефти Западной Сибири располагаются в зоне вечной мерзлоты. Разработка мероприятий по снижению ущербов нефтегазодобывающих предприятий требует получения прогнозных оценок динамики термокарстовых процессов на территории вечной мерзлоты в условиях глобального потепления климата. В связи с этим возникает необходимость в разработке методов и средств математического моделирования динамики термокарстовых процессов, позволяющих путем проведения компьютерных экспериментов с моделью полей термокарстовых озер прогнозировать изменения их состояния с учетом климатических изменений.

Вопросы моделирования термокарстовых озер рассматривались в работах Веста и Плуга, Дюге, Субина и Райли, Хостетлера, и др., обзор которых приведен в [1], где показано, что использование аналитических моделей позволяет достаточно эффективно исследовать различные процессы в одиночных термокарстовых озерах. Однако такие модели не пригодны для исследования пространственно-временных изменений полей термокарстовых озер на территории многолетней мерзлоты. С точки зрения моделирования полей термокарстовых озер интерес вызывают разрабатываемые А.С. Викторовым [2, 3] методы математической морфологии ландшафта, ориентированные на использование аналитических моделей для моделирования динамики территорий. Методы и модели математической морфологии ландшафта могут использоваться для оценки геоэкологических рисков при развитии термокарстовых процессов на территориях в зоне мерзлоты. Однако эти методы также не предназначены для исследования пространственно-временных изменений полей термокарстовых озер в условиях изменяющегося климата.

Поэтому перспективным рассматривается использование имитационных моделей [4], позволяющих исследовать динамику полей термокарстовых озер в условиях современного глобального потепления. В последнее время в рамках идеологии имитационного моделирования сформировалось одно из новых направлений компьютерного моделирования – геоимитационное моделирование, понимаемое как имитационное моделирование сложных объектов с пространственной структурой и реализуемое с использованием методов и средств геоинформатики [5–7]. В [8] предложена имитационная модель поля термокарстовых озер в виде совокупности случайных окружностей, свойства которой учитывают основные характеристики реальных полей термокарстовых озер, определенные по экспериментальным данным дистанционных исследований. Однако вопросы программной реализации имитационного моделирования полей термокарстовых озер в настоящее время рассмотрены недостаточно, что и определило цель настоящей работы.

Реализация математической модели полей термокарстовых озер предполагает создание генератора псевдослучайных числовых последовательностей – троек: первые два псевдослучайных числа распределены по закону равномерной плотности, а третье – по показательному закону. В общем случае совместная плотность вероятностей представляется в виде

$$f(x, y, s), \quad (1)$$

где  $x$  и  $y$  – случайные координаты центров озер;  $s$  – площадь озер.

Разработана структурная схема программного комплекса имитационного моделирования (ПКИМ), которая представлена на рис. 1.

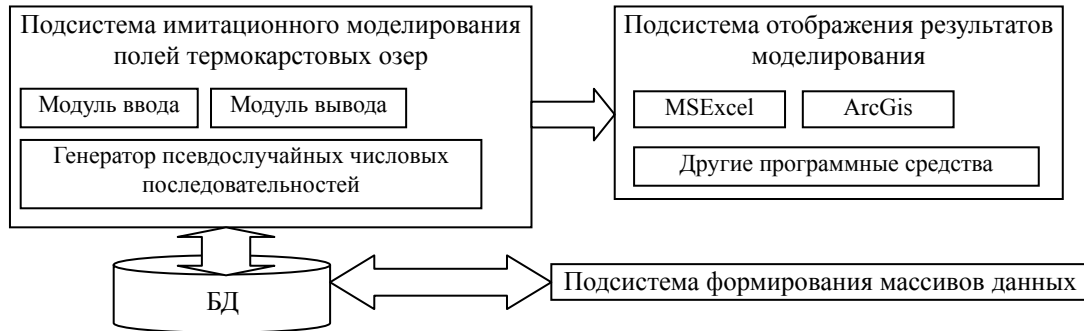


Рис. 1. Обобщенная схема программного комплекса имитационного моделирования полей термокарстовых озер

В состав разработанного программного комплекса входят следующие основные компоненты:

- 1) подсистема моделирования полей термокарстовых озер;
- 2) подсистема отображения результатов моделирования;
- 3) база данных (БД);
- 4) подсистема формирования массивов данных.

Ниже приведено описание компонентов ПКИМ. *Подсистема имитационного моделирования* полей термокарстовых озер, разработанная автором, представляет собой совокупность программных модулей, обеспечивающих ввод параметров модели, формирование псевдослучайных числовых последовательностей и вывод результатов моделирования. В состав подсистемы имитационного моделирования полей термокарстовых озер входят следующие основные блоки:

- *модуль ввода данных* (предназначен для обеспечения генератора псевдослучайных числовых последовательностей (ГПЧП) значениями параметров модели);
- *генератор псевдослучайных числовых последовательностей* (является основной составной частью подсистемы имитационного моделирования и предназначен для формирования случайных числовых последовательностей при реализации алгоритмов численного моделирования полей термокарстовых озер). Достаточно подробно алгоритм работы генератора описан в [9];
- *модуль вывода данных* (предназначен для преобразования результатов моделирования в один из следующих форматов: Microsoft Excel (\*.xls), векторный формат (\*.shp), растровый формат (\*.jpeg)).

*Подсистема отображения результатов моделирования* позволяет отобразить выходные данные либо на цифровой карте средствами геоинформационной системы ArcGIS, либо в виде электронной таблицы и графика в MSExcel. *База данных* в составе ПКИМ представляет собой хранилище пространственной и атрибутивной информации об объектах исследования, полученной в ходе натурного эксперимента. Описание структуры и возможностей БД приводится в [9]. *Подсистема формирования массивов данных* позволяет извлекать из базы данных необходимую информацию об объекте исследования и создавать массивы данных для проведения модельных экспериментов.

Подсистема имитационного моделирования термокарстовых процессов, включенная в программный комплекс, зарегистрирована Роспатентом (свидетельство №2011614293 от 31 мая 2011 г.). Разработанная база данных также зарегистрирована Роспатентом (свидетельство № 2010620330 от 17 июня 2010 г.).

На рис. 2 приведена схема уровневое представление работы системы имитационного моделирования. На первом уровне выбирается совокупность параметров. На уровне алгоритмов численного моделирования в соответствии с параметрами, указанными на первом уровне, выбирается алго-

ритм численного моделирования. Третий уровень представляет результат работы алгоритма либо в виде массива данных, либо в виде графического изображения. Полученный массив данных обрабатывается средствами MSExcel, а сформированное изображение поля термокарстовых озер отображается на цифровой карте в геоинформационной системе ArcGIS.

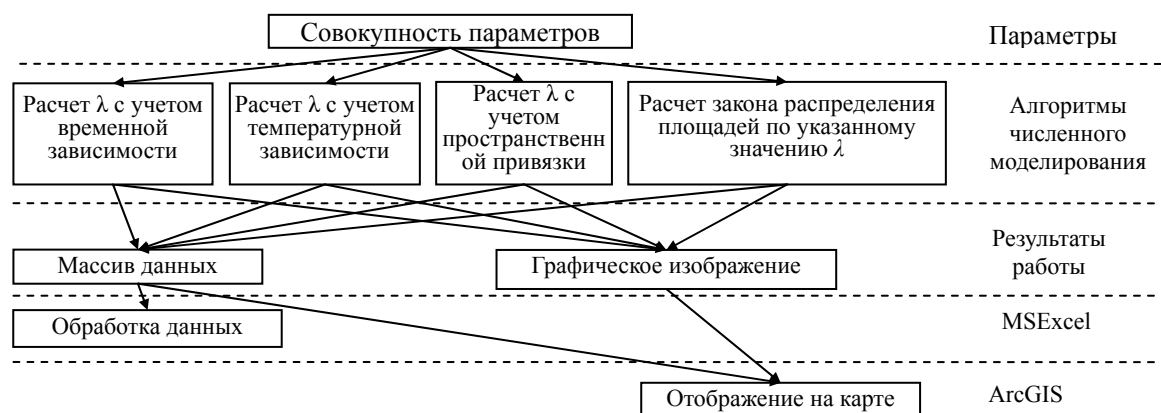


Рис. 2. Схема уровневой представления работы подсистемы имитационного моделирования

Для демонстрации работы программного комплекса проведено прогнозирование временных рядов средних значений площадей термокарстовых озер на исследованной территории многолетней мерзлоты Западной Сибири с учетом потепления климата на период до 2030 г., для чего сформированы сценарии модельных экспериментов для прогнозирования динамики полей термокарстовых озер. График прогнозного временного хода приведен на рис. 3.

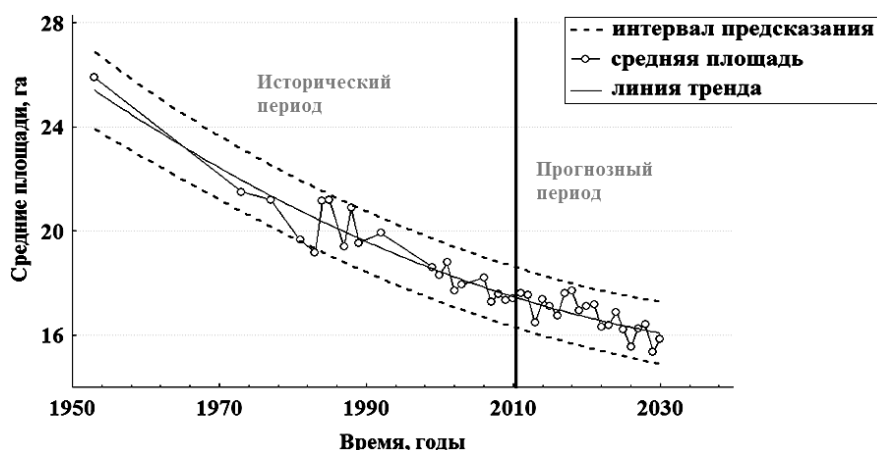


Рис. 3. Прогнозный временной ход средних площадей термокарстовых озер

Как видно из графика на рис. 3, в условиях продолжающегося потепления климата следует ожидать к 2030 г., что сокращение площадей термокарстовых озер на территории мерзлоты Западной Сибири в среднем может составить от 8 до 12% по сравнению с 2010 г.

#### Литература

1. Modeling thermokarst lakes dynamics and carbon flux [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.docstoc.com/docs/35351317/Methods\\_of\\_thermokarst\\_lakes\\_modeling](http://www.docstoc.com/docs/35351317/Methods_of_thermokarst_lakes_modeling), свободный (дата обращения: 02.09.2012).
2. Викторов А.С. Модели математической морфологии ландшафта в решении задач геоэкологии // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач: Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23–4 марта 2009 г.). – М.: ГЕОС, 2009. – Вып. 11. – С. 154–159.
3. Викторов А.С. Основные проблемы математической морфологии ландшафта. – М.: Наука, 2006. – 252 с.

4. Моисеев Н.Н. Системный анализ динамических процессов биосферы. Концептуальная модель биосферы / Н.Н. Моисеев, Ю.М. Свирежев // Вестник АН СССР. – 1979. – № 2. – С. 47–54.
5. Основы геоинформатики: в 2 кн.: учеб. пособие для вузов [Текст] / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др. ; под ред. В.С. Тикунова. – М. : Изд. центр «Академия», 2004. – 352 с.
6. Zhao Y. Urban dynamics analysis using spatial metrics geosimulation / Y. Zhao, Y. Murayama // Spatial analysis and modeling in geographical transformation process. – Dordrecht-Heidelberg-New York-London: Springer, The GeoJournal Library (Eds. Y. Murayama, R. Thapa), 2011. – Vol. 100. – P. 153–168.
7. Полищук Ю.М. Геоимитационное моделирование зон атмосферного загрязнения в результате сжигания газа на нефтяных месторождениях / Ю.М. Полищук, О.С. Токарева // Информационные системы и технологии. – 2010. – № 2. – С. 39–46.
8. Полищук Ю.М. Моделирование пространственно-временной динамики термокарста в зонах многолетней мерзлоты / Ю.М. Полищук, В.Ю. Полищук // Информационные системы и технологии. – 2011. – № 3. – С. 25–31.
9. Полищук В.Ю. Динамика полей термокарстовых озёр. Моделирование и прогноз. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2012. – 126 с.

---

**Полищук Владимир Юрьевич**

Канд. техн. наук, мл. науч. сотрудник

Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Тел.: 8-953-914-15-38

Эл. почта: liquid\_metal@mail.ru

Polishchuk V.Yu.

**The software system of dynamics simulation of thermokarst lake fields in permafrost zones**

The software complex for simulation of thermokarst lake fields is described. It consists of the following main components: simulation subsystem, display subsystem of simulation results and database. Forecast of dynamics of thermokarst lake fields was carried out in West-Siberian permafrost taking into account the increase of the average annual air temperature till 2030 year.

**Keywords:** simulation, software system, forecast, permafrost.

---