

## ОСОБЕННОСТИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ MICROMINE

Т.Б. ЯКОНОВСКАЯ, канд. экон. наук, А.И. ЖИГУЛЬСКАЯ, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет, 170026, Тверь,  
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: tby81@yandex.ru

© Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., 2021

Одной из важнейших задач, имеющих первостепенное значение для проектирования торфодобывающего предприятия, является построение информационной модели торфяного массива. В статье представлен результат моделирования торфяного месторождения в горной геоинформационной среде (ГИС) Micromine с использованием системных подходов к обработке геологической информации различных торфяных школ. В результате моделирования по данным детальной разведки было получено три варианта геологической модели торфяного месторождения «Ольчское». В заключении приведены следующие основные выводы: в настоящее время для горных предприятий разработан широкий спектр пакетов прикладных программ; системные принципы, заложенные в программное обеспечение одинаковы, но адаптация горных геоинформационных систем для целей конкретного добывающего предприятия требует больших затрат времени; в зависимости от заложенных теоретических и системных принципов при информационном описании торфяного месторождения созданные 3d-модели будут существенно отличаться.

*Ключевые слова:* геоинформационные системы, моделирование месторождений, 3d-модель, научные торфяные школы, Micromine.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2021-1-71-85**

### ВВЕДЕНИЕ

В «Прогнозе долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года» в качестве одного из трендов инновационного развития экономики значится внедрение информационных технологий во все сферы национального хозяйства, в том числе и в добывающую отрасль, которая является движущей силой и фундаментом долгосрочной экономической устойчивости. В связи с этим при проектировании экономически эффективного, рационального и устойчивого развития добывающего сектора экономики все чаще используются многофункциональные и проблемно-ориентированные горные геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют ускорить процесс принятия инженерно-экономических и организационно-управленческих решений. Для проектирования различных производственных процессов на предприятиях добывающей отрасли при эксплуатации месторождений используется весьма разнообразное программное обеспечение. Однако, несмотря на большой спектр ГИС, в качестве главного их недостатка следует отметить высокую стоимость. К тому же использование таких систем применительно к определенным условиям конкретных добывающих предприятий требует их существенной доработки. Как правило, дорогостоящими являются многофункциональные и активно используемые ГИС, которые вступили в стадию поддержки разработанного набора функций. Такие ГИС интегрированы в различные бизнес-процессы добывающих предприятий. В сегменте относительно дешевого программного обеспечения

ГИС выполняют ограниченный набор функций и не всегда отвечают требованиям конкретного добывающего предприятия [1–5].

Геоинформационный подход позволяет использовать большой объем различной исходной информации, создавая условия для принятия экономически эффективных и технически целесообразных инженерных и управленческих решений. При этом снижается трудоемкость и повышается скорость подготовки данных для разработки информационных систем, что является условием для их практического применения. Поэтому при проектировании предприятия по добыче торфа первостепенное значение приобретают ГИС, которые позволяют разработать геологическую 3d-модель торфяного месторождения. Такая модель должна адекватно отражать главные качественные характеристики торфяной залежи, промышленные запасы, категории сырья и ассортимент торфяной продукции. Модель позволяет управлять запасами на стадиях жизненного цикла месторождения (поиск, разведка, разработка), а также организует информационно-геологическое обеспечение разработки месторождения на этапах его промышленного освоения.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА ИССЛЕДОВАНИЯ**

В практике проектирования торфодобывающих предприятий используется совокупность пакетов прикладных программ для широкого спектра горно-производственных и организационно-управленческих процессов: геологического исследования, горного планирования, маркшейдерии, технико-экономического обоснования и др. При автоматизации проектирования торфодобывающего производства объектами геоматематического моделирования являются:

торфяной массив, представляющий собой совокупность горизонталей поверхности, линий зондировочной сети, отметки уровня грунтовых вод, в пределах которых условно выделены контуры типов торфяной залежи;

рельеф и абрис участка местности, в границах которого располагаются горный отвод и торфяной карьер;

каналы осушительной и противопожарной сети;

сеть технологических площадок, выработанные торфяные участки;

отвалы древесных отходов, насыпи, отстойник, водохранилище и прочие техногенные образования, различные сооружения;

транспортные коммуникации;

зоны воздействия на окружающую среду;

зоны ограничения, за пределами которых возникают различного рода нарушения лицензии на право разработки и т.д.

Источниками первичной исходной информации для геомоделирования объектов торфодобывающих производств служат геологические, топографические и гипсометрические планы, вертикальные и горизонтальные стратиграфические сечения, данные опробования геологоразведки, аэрофотосъемки. Этот блок инженерно-геологической информации следует правильно интерпретировать, что не всегда возможно адекватно описать математическим языком. Проще всего преобразовать в геоматематическую модель геологические планы и профили, однако следует учитывать их достоверность и точность [1, 5].

Геологические модели в ГИС должны удовлетворять следующим требованиям:

высокая детальность;

возможность выполнения технико-экономических расчетов;

планирование экскавации всей торфяной залежи экономически целесообразным и эффективным способом;

расчет величины прибыли, ренты и других финансовых параметров.

Рынок программного обеспечения для добывающего сектора представлен как отечественными, так и иностранными разработками. Наиболее распространенными ГИС являются K-Mine, Micromine, Surpac. Анализ характеристик этих систем показывает, что они не имеют существенных различий и разработаны для нужд нефтяных, рудных, угольных добывающих предприятий, которые, как правило, имеют свободные финансовые ресурсы для приобретения и эксплуатации такого программного обеспечения. Основопологающим различием рассматриваемых ГИС является набор их функциональных возможностей, которые особенно важны при моделировании пластовых месторождений, разрабатываемых открытым способом. От качества разработанной модели месторождения будут зависеть точность и оперативность инженерных, производственных и экономических решений тактического и стратегического характера. Ввиду этого, как самая надежная ГИС, Micromine по своему функциональному наполнению больше подходит для моделирования торфяных залежей. Кроме того, использование этого программного обеспечения дает возможность записывать скрипты как классы Python, с поддержкой наследования и улучшением качества и эксплуатации скрипта. Важно, что ГИС Micromine полностью совместима с Windows 7, 8, 10 [6].

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Для моделирования торфяного месторождения авторы использовали персональный компьютер с процессором Intel Core i5, ОС Windows, ГИС Micromine и данные детальной разведки торфяного месторождения. Исходная геологическая информация о торфяной залежи определяет требования к точности математической модели, выбор ее вида и сложности [7–9]. Алгоритм процесса разработки моделей геологической интерпретации данных торфяного массива представлен на рис. 1.

Процесс выбора модели торфяной залежи обоснован качеством исходной информации из первоисточников: картографией, геологическими исследованиями, стратиграфией и гипсометрией, геофизикой торфозалежи, послойным опробованием в точках зондирования. Эти первичные данные представляют собой достоверную информацию, однако математическое моделирование на их основе требует интерпретации геологических закономерностей, что в свою очередь является сложной математической задачей, так как точность значений, вычисленных по разработанной модели торфяного массива, должна быть идентична точности исходных данных. Специфика геоматематического моделирования торфяного месторождения обусловлена сложностью и неоднородностью его геологической структуры и условий образования. В то же время добычные процессы при отработке месторождения характеризуются изменчивостью во времени и пространстве, при этом сами качественные характеристики торфа также неоднородны как по глубине, так и по протяженности фронта торфодобычных работ. Данная особенность отражает сложность создания единого информационного массива для торфяного производства, которое имеет сложную структуру с иерархическими уровнями.

Однако если информацию различного вида представить в форме единичных показателей, привязанных в форме точек к координатам пространства и времени, то появляется возможность создать единый информационный массив [10–12]. Точка – это базовый элемент информационной системы в 3d-координатах, которая обладает набором качественных (геологических) характеристик торфа и координаты места расположения. Вектор показывает направление и дальность перемещения точки. Скорость перемещения точки и время характеризуют срок и длительность перемещения точки. Моделирование торфяных залежей основано на цифровом представлении граничащих друг с другом поверхностей между слоями торфа различного

типа, слоями погребенной древесины и подстилающим слоем минеральных пород. Базой геоматематических моделей является точечно-цифровая информация, а именно данные геологоразведки (зондирование и стратиграфия) торфяного массива. По такому дискретно-точечному принципу работают практически все геоматематические модели, заложенные в ГИС.



Рис. 1. Алгоритм разработки цифровой модели торфяного месторождения

Учитывая высокий уровень сложности моделирования торфяного массива, предлагается использовать дискретную модель. Дискретная модель универсальна, что имеет принципиальное значение для автоматизированного проектирования и в отличие от других моделей позволяет достигнуть высокой точности. Основой для построения дискретной модели торфяного месторождения являются данные зондирования и послойного опробования залежи. В качестве базы для построения объемной модели торфяного массива, в настоящей работе применяли зондировочную сеть, в которой каждой точке зондирования соответствуют декартовы координаты  $x$  и  $y$ , а каждому слою толщиной  $\Delta h$  присваивается порядковый номер от 1 (поверхность) до  $\frac{h_i}{\Delta h + 1}$  (где  $h_i$  – мощность торфяного массива в точке  $i$ ). Качественные характеристики по слоям торфяного массива в каждой точке зондирования предлагается определять методом интерполяции.

Объем всего торфяного месторождения разбивается на единичные объемы (блоки):

$$\Delta V = \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta h, \quad (1)$$

где  $x, y$  – шаги зондировочной сетки по осям  $x$  и  $y$ , причем

$$\Delta F = \Delta x \cdot \Delta y, \quad (2)$$

где  $\Delta F$  – площадь ячейки сети (элементарного блока).

Исходя из этого, появляется возможность вычислить площадь  $F_k$  и объем  $V_k$  по каждому слою промышленных запасов торфа с выделением торфяного сырья заданной категории (качества) или вида торфяной продукции:

$$F_k = \Delta F \cdot m_k; \quad V_k = \Delta V \cdot m_k, \quad (3)$$

где  $m_k$  – число блоков  $\Delta V$  с заданной категорией сырья или вида торфопродукции.

Суммируя объемы запасов в слоях по всем категориям, получим послойные объемы балансовых запасов. Суммированием объемов послойных запасов находим объем балансовых запасов по всему торфяному массиву.

Для решения задачи 3d-моделирования торфяного месторождения требуется разработать метод распознавания категории торфяного сырья по набору значений качественных характеристик параметров, таких как тип торфа, степень разложения, зольность, пнистость. Таким образом, необходимо разбить многомерное подмножество точек  $M \in R^n$  на классы. Размерность  $n$  множества  $R^n$  определяется числом параметров, характеризующих категорию сырья; число классов равно числу категорий торфяного сырья. Задача состоит в том, чтобы для каждого центра элементарного блока найти значения типа торфа, степени разложения, зольности, пнистости и т.д. В качестве элементарных блоков (единиц построения месторождения) авторами предложено использовать следующие параметры [13–15]:

глубина ( $h$ ) 0,25...0,5 м – глубина пластообразующего слоя, в котором встречаются остатки растений-торфообразователей, соответствующих определенному торфяно-болотному фитоценозу;

длина ( $x$ ) 100...500...1 000 м – шаг сети зондирования (зависит от площади месторождения и вида геологической разведки);

ширина ( $y$ ) 80...1 000 м, определяемая технологией разработки месторождения, а именно шириной технологической площадки или участка, на которой ведется добыча торфа.

Для последующих расчетов массы торфа необходимо также найти значения влажности. Отыскание параметра  $u_{ij}$  в  $i$ -м пункте и  $j$ -м горизонте производилось методом интерполяции в  $j$ -м от поверхности горизонта торфопласта. Основная трудоемкость этого метода вычисления состоит в автоматизированном отыскании интерполяционных узлов (ближайшего окружения  $i$ -го пункта). По формуле (3) можно вычислить дискретный признак (например, тип торфа, закодированный по определенному правилу), а результат вычисления округлить до целого. После распределения объема запасов по категориям торфяного сырья можно вычислить массу воздушно-сухого торфа каждого элементарного блока [6]:

$$\Delta M = \frac{\Delta V \cdot \rho \cdot (100 - \omega_g)}{(100 - \omega_y)}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность торфа;  $\omega_e, \omega_y$  – соответственно естественная и условная влажность торфа, %.

Суммированием масс элементарных блоков находим запас воздушно-сухого торфа по категориям сырья, по слоям и в целом по торфяному массиву. Среднее значение признака для заданной категории торфяного сырья рассчитывалось как средневзвешенное:

$$\bar{u}_k = \frac{\sum u_i \cdot \Delta M_i}{\sum \Delta M_i}, \quad (5)$$

где  $u_i$  – значение признака в  $i$ -м блоке;  $\Delta M_i$  – масса воздушно-сухого торфа в  $i$ -м блоке. Объем расчетного слоя, тыс. м<sup>3</sup>, вычисляется по формуле

$$V_n = \frac{10 \cdot h \cdot (F_{ВИ} + F_{НИ})}{2}, \quad (6)$$

где  $h$  – толщина расчетного слоя, м;  $F_{ВИ}, F_{НИ}$  – площадки соответственно верхней и нижней изолинии расчетного слоя, га.

Таким образом, балансовые (промышленные) запасы торфа, тыс. м<sup>3</sup>, составляют

$$V_{\bar{o}} = \sum 10 \cdot F_n \cdot h_{cp} \quad V_{\bar{o}} = \sum 10 \cdot F_n \cdot h_{cp}, \quad (7)$$

где  $F_n$  – площадь отдельных стратиграфических или типовых участков торфяного массива в промышленной границе залегания торфа, га;  $h_{cp}$  – средняя глубина залежи торфа на участке, м.

На первом этапе моделирования торфяного месторождения для разработки базы данных торфоисследовательских работ необходимо закодировать все известное разнообразие торфяных месторождений для удобства работы с геологической информацией в ГИС. И уже на этой стадии среди ученых и специалистов в настоящее время отсутствует единое мнение. Текущее положение дел по вопросу моделирования торфяных месторождений с применением ГИС таково, что разработкой этой темы занимаются три научные торфяные школы: Уральская, Томская и Тверская. Представители Уральской научной школы (Александров Б.М., Гревцев Н.В., Егошина О.С.) предлагают кодировать все виды торфяных месторождений, взяв за основу известную геологическую классификацию торфа [9] (рис. 2). Такую идею кодировки видов торфа разработали представители Тверской школы (Базин Е.Т., Косов В.И.) еще в 1987 г. Детальное кодирование торфяного сырья по геологической классификации может привести к тому, что на месторождении не будет достаточного с экономической точки зрения объема запасов определенных категорий торфа, и тогда селективная добыча становится нецелесообразной.

Представители Томской научной школы (Бернатонис П.В., Борко Г.Ю., Инишева Л.И.) предлагают кодировать торфяники по известным категориям запасов А, В, С. При этом качество торфа в залежи усредняется и пропадает стимул к селективной отработке запасов [10].



Рис. 2. Фрагмент системы кодирования видов торфа (Уральская школа) [11]

Классическая и старейшая торфяная научная школа в настоящее время – это Тверская, представленная Базиным Е.Т., Лиштваном И.И., Косовым В.И., Макаренко Г.Л. и другими учеными, которые при моделировании торфяного месторождения для кодировки видов торфа используют ключевые качественные характеристики торфяного и торфодревянистого сырья [8, 11, 12]. Это позволяет расширить структуру запасов торфяного месторождения, что обеспечивает точное соответствие геологическим данным и является фундаментом для геоинформационного моделирования торфяного массива (табл. 1).

Таблица 1. Теоретические подходы к кодированию и интерпретации торфяных ресурсов для разработки информационной модели торфяного массива

Научная школа	Основа кодирования видов торфа при моделировании месторождения	Пример кодирования
Уральская	Геологическая классификация видов торфа	Тип – подтип – группа – вид (см. рис. 2) Н 1-низинный, П 2-переходный, В 3-верховой
Томская	По категориям промышленных запасов торфа	Категории запасов торфа по степени изученности: А – 1.1; В – 1.2; С – 1.3
Тверская	Комплексная классификация ресурсов торфяного месторождения	Тип – пнистость – степень разложения – зольность – глубина залежи (рис. 3)

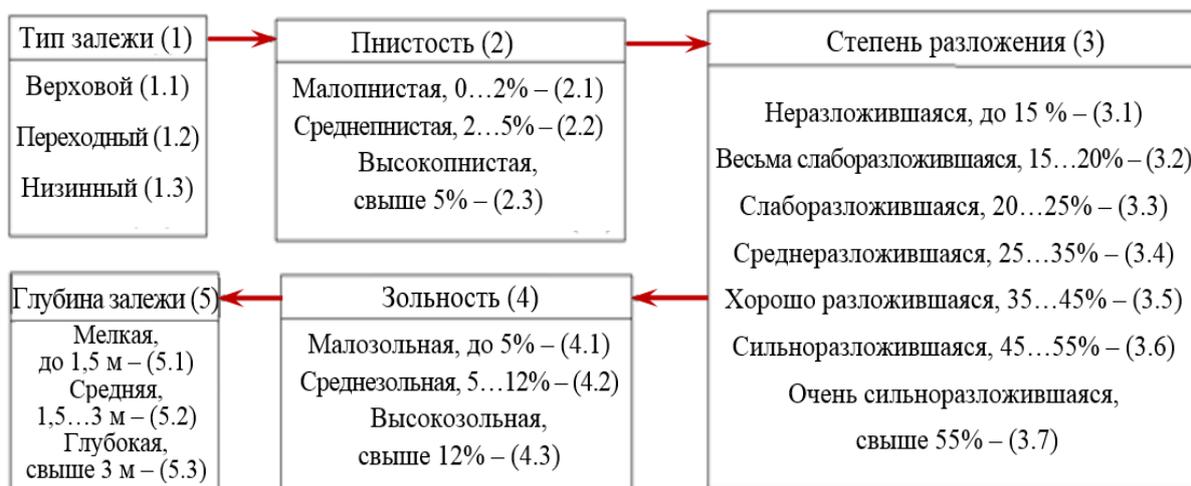


Рис. 3. Комплексная кодификация категорий торфяных ресурсов для построения геоинформационной модели торфяного месторождения

### РЕЗУЛЬТАТ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДИРОВОК ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НАУЧНЫХ ШКОЛ В ГИС MICROMINE

В качестве образца для разработки 3d-модели торфяного массива было выбрано месторождение «Ольчешское», геологические данные по которому содержатся в Торфяном фонде 1955 г. Геологической особенностью торфяного массива «Ольчешское» является наличие двух маломощных горизонтов погребенной древесины (П – 1,3 %), поэтому для их построения использовался скрипт (рис. 4). Результаты информационного кодирования месторождения по различным школам приведены в табл. 2–4. На рис. 5 представлены результаты моделирования торфяного месторождения.

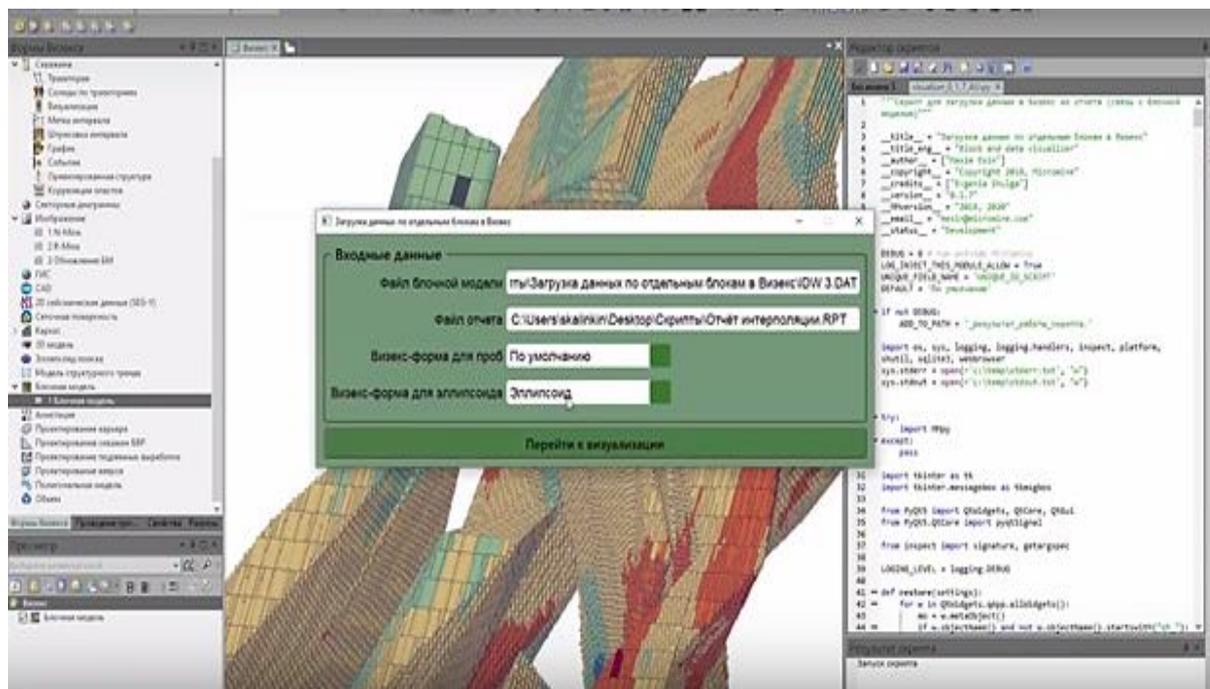


Рис. 4. Пример использования скрипта в Micromine

Таблица 2. Информационное кодирование месторождения «Ольчешское» в базе данных торфоисследовательских работ по стратиграфическим поперечникам, фрагмент (Уральская школа) [8]

Поперечник	Глубина, м	Степень разложения, %	Зольность, %	Влажность, %	Генетический код			Категория торфяного сырья
					Тип торфа	Подтип, группа	Подтип, группа, вид	
1/поп. 2	0,25	–	–	–	–	–	–	–
–	0,50	15,5	1,80	93,0	3,1101	3,11	3,1101	В-0-1
–	0,75	15,5	2,0	92,5	3,1101	3,11	3,1101	В-1-(1-2)
–	1,00	15,5	2,0	92,5	3,1101	3,11	3,1101	В-1-(1-2)
–	1,25	15,5	2,0	92,5	3,1101	3,11	3,1101	В-1-(1-2)
–	1,50	15,5	2,0	92,5	3,1101	3,11	3,1101	В-1-(1-2)
–	1,75	15,5	2,0	92,5	3,1101	3,11	3,1101	В-1-(1-2)
–	2,00	15,5	2,0	92,5	3,1101	3,11	3,1101	В-1-(1-2)
–	2,30	30,0	2,9	89,0	2,1101	2,11	2,1101	П-2-(1-2)

Таблица 3. Информационное кодирование месторождения «Ольчешское» в базе данных торфоисследовательских работ (Томская школа)

Категории торфяных запасов	Информационный код торфяного сырья	Результат кодирования*
А	1,1	1,1
В	1,2	–
С	1,3	–

\*Примечание. Томская школа рассматривает торфяное месторождение как цельный, единый массив. Такая точка зрения на структуру торфяной залежи распространена за рубежом [13–15].

Таблица 4. Информационное кодирование месторождения «Ольчешское» в базе данных торфоисследовательских работ (Тверская школа)

Тип залежи	Среднее значение по всем стратиграфическим поперечникам				Результат кодирования
	Пнистость, %	Зольность, %	Степень разложения, %	Глубина, м	
В	1,5	9,7	37	5,88	1.1-2.1-3.5-4.2-5.3
Н	0	13	47	3,7	1.3-2.1-3.6-4.3-5.3
П	1,1	7	40	4,1	1.2-2.1-3.5-4.2-5.3

На основе данных таблиц 2–4 построены три геологические модели в ГИС Micromine (рис. 5). При этом для распознавания границ слоев торфа различной

кодификации и слоя погребенной древесины использовались методы интерполяции: кригинг, обратного соседа. По построенным 3d-моделям в табл. 5 приведены результаты расчета объема запасов торфа на торфяном месторождении «Ольчское».

По данным торфяного фонда 1955 г. месторождение «Ольчское» было детально разведано в 1931 г. и характеризовалось следующими основными геоданными:

промышленная площадь – 2 041 га;  
запас торфа – 155 123 т.

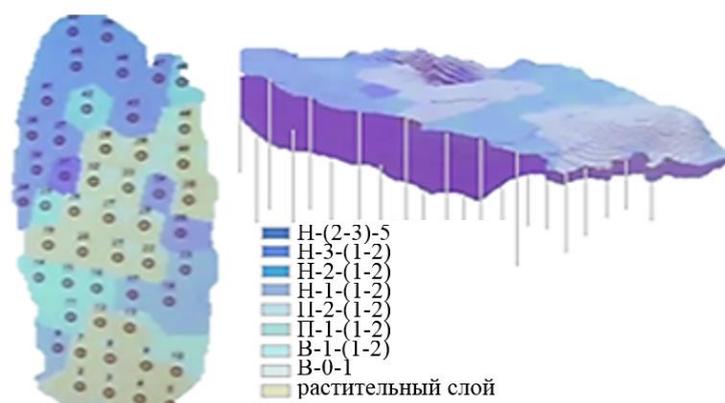
Месторождение активно эксплуатировалось, и в торфяном фонде 1990 г. объем его запасов составлял уже 12 808 т. По результатам 3d-моделирования ближе всего к реальному значению объема запасов торфа в месторождении «Ольчское» – модель, показанная на рис. 5(в), которая построена с использованием подхода Тверской торфяной школы.

Таблица 5. Запасы торфа,  
рассчитанные по 3d-моделям торфяного месторождения

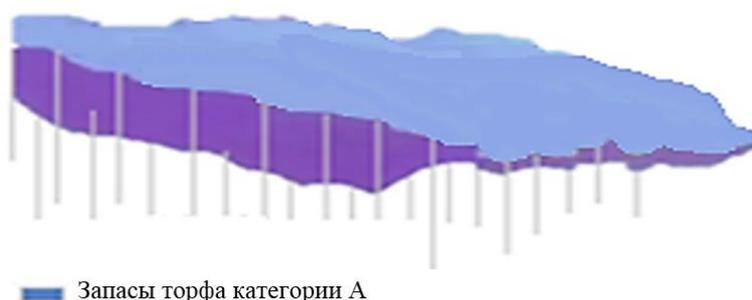
Торфяная научная школа					
(а) Уральская		(б) Томская		(в) Тверская	
Код сырья	Запасы, тыс. т	Код сырья	Запасы, тыс. т	Код сырья	Запасы, тыс. т
Н-(2-3)-5	10	А	13 885	В1-2.1-3.5-4.2-5.3	2 603
Н-3-(1-2)	301			НЗ-2.1-3.6-4.3-5.3	7 274
Н-2-(1-2)	5 016			П2-2.1-3.5-4.2-5.3	2 910
Н-1-(1-2)	993			Погребенная древесина	1 149
П-2-(1-2)	1 548				
П-1-(1-2)	1 770				
В-1-(1-2)	845				
В-0-1	1 546				
Очес*	975				
Всего	13 004	Всего	13 885	Всего	12 787**

Примечания:

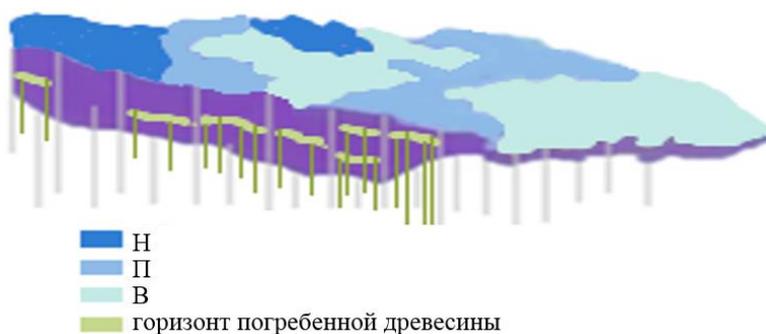
- \* – растительный слой.
- \*\* – запас торфа без учета погребенной древесины.



(а)



(б)



(в)

Рис. 5. 3d-модель месторождения торфа «Ольчское» в ГИС Micromine по кодировке торфяных ресурсов: Уральская (а), Томская (б) и Тверская (в) школы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного моделирования можно сделать следующие выводы:

1. Истоки автоматизации и информатизации разработки и проектирования торфяных производств заложены в стенах Тверского государственного технического университета еще в 1979 г. профессором Караваевой Н.М. В 1988 г. НИИ «Центр-программсистем» разработал отдельные пакеты прикладных программ для торфяной отрасли. Современные научные исследования по вопросам информатизации торфяной отрасли проводятся в университете на базе прикладных и специализированных информационных кафедр под руководством профессора Палюха Б.В. [16–20]. Поэтому утверждение авторов работы [8] об отсутствии исследований в этой области некорректно.

2. Все известные и используемые ГИС в добывающей отрасли рассматривают любое месторождение, в том числе и торфяную залежь, как единый сплошной массив,

что в корне ошибочно, так как противоречит геологическим знаниям о строении торфяника. Ввиду различных точек зрения по вопросу строения торфяного месторождения 3d-модель одного и того же месторождения получается различной как по структуре, так и по точности расчета запасов торфяных ресурсов.

3. Препятствием для моделирования торфяных месторождений является отсутствие достоверной геологической информации на стадии торфоисследовательских работ.

4. При моделировании торфяного месторождения во всех горных ГИС возникает важный вопрос о размерах единичных блоков, используемых для построения 3d-модели месторождения.

5. Для применения горных ГИС в процессе моделирования и проектирования торфяных месторождений необходима их существенная адаптация.

6. Ввиду большой протяженности торфяного месторождения в горизонтальном направлении возникают трудности с интерполяцией точек, ограничивающих поверхности. В связи с этим необходимо подбирать оптимальный масштаб модели для ее лучшей наглядности.

7. Практическое значение 3d-моделирования торфяного массива заключается в возможности точного определения объемов запасов месторождения. При этом точность 3d-модели торфяной залежи, построенной ГИС Micromine, зависит от качества торфоисследовательских работ и используемого подхода в кодировании торфяного сырья Уральской, Томской и Тверской торфяными школами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении методических рекомендаций в целях ведения статистического учета запасов и месторождений торфа по форме, утвержденной постановлением Госкомстата России от 18.06.1999 № 44 и обеспечения подготовки федерального и территориального балансов запасов торфа по единой для Российской Федерации системе. Приказ № 87 от 29.03.2000. URL: <https://pandia.ru/text/80/306/43997.php> (дата обращения: 16.10.2020).

2. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Зюзин Б.Ф. Вопросы инвестиционной привлекательности торфяной отрасли // *Современное состояние экономических систем: экономика и управление: сб. науч. трудов межд. науч. конф.* / под общ. ред. Д.В. Розова, Г.Г. Скворцовой. Тверь: СКФ-офис, 2018. С. 139–142.

3. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Горнопромышленный комплекс Тверского региона Российской Федерации: анализ развития // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: материалы межд. науч. конф., посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко* / под ред. А.К. Карабанова. Минск: Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, 2017. С. 148–151.

4. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А. Оценка этапов жизненного цикла разработки торфяного месторождения // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: материалы межд. науч. конф., посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко* / под ред. А.К. Карабанова. Минск: Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, 2017. С. 196–199.

5. Яконовская Т.Б. Проблемы информатизации анализа геологических данных предприятий по добыче торфа // *Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (инфос-2020): материалы межд. науч.-техн. конф.* Вологда: ВГУ, 2020. С. 89–94.

6. Условное моделирование в Micromine. URL: <https://www.micromine.ru/micromine-mining-software> (дата обращения: 15.10.2020).

7. Poggio L., Gimona A., Aalders I., Morrice J., Hough R. Legacy data for 3D modelling of peat properties with uncertainty estimation in Dava bog-Scotland // *Geoderma Regional*. 2020. С. e00288.

8. Косов В.И. Системные принципы разработки ресурсосберегающих технологий в торфяном производстве: дис. ... докт. техн. наук. Тверь, 1991. 350 с.

9. Егошина О.С., Александров Б.М. Система цифрового кодирования генетической классификации видов торфа и ее роль в комплексной оценке запасов торфа по категориям сырья и направлениям использования // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, 2019. № 3. С. 55–63.

10. Бернатонис П.В., Бернатонис В.К., Боярко Г.Ю. Геологическое обоснование кондиций на торф // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 3 (40). С. 345–350.

11. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Моделирование физико-химических процессов // *Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сб. материалов VIII Всероссийской конф., посвященной 60-летию ПАО «Химпром»*. Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2020. С. 285–286.

12. Косов В.И., Масленников А.В. Системные принципы расчета на ЭВМ экологически сбалансированного и ресурсосберегающего освоения торфяных месторождений // *Торфяная промышленность*, 1990. № 10. С. 6–14

13. Mikhailov A., Zhigulskaaya A., Yakonovskaya T. Strip mining of peat deposit // *Mine Planning and Equipment Selection: MPES 2017*. С. 497–501.

14. Mikhailov A.V., Zhigulskaaya A.I., Yakonovskaya T.B. Excavating and loading equipment for peat mining // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2017. V. 87. №. 2. С. 022014.

15. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Яконовский П.А. Оценка использования геофизического метода VLF для определения мощности торфяного месторождения // *Горные науки и технологии*. 2020. № 5 (3). С. 224–234.

16. Караваева Н.М., Бураков А.И., Дмитриев Г.А., Лифшиц М.С. Автоматизация торфяного производства. М.: Недра, 1979. 312 с.

17. Волков А.Н. Технологические аспекты разработки высококачественного программного обеспечения // *Торфяная промышленность*, 1990. № 6. С. 27–30.

18. Палюх Б.В., Ветров А.Н. Архитектура комплекса инструментальных программных средств динамических распределенных систем мониторинга торфяных пожаров // *Научный сервис в сети Интернет*. Труды Всероссийской науч. конф. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. С. 251–252.

19. Палюх Б.В., Цветков Р.Е. Информационная система имитационного моделирования торфяных пожаров // *Программные продукты и системы*. 2007. № 3. С. 48.

20. Палюх Б.В., Цветков Р.Е. Интеллектуальная система управления пожарной безопасностью хранения фрезерного торфа // *XI Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием*. Дубна. 2008. С. 300–305.

**Для цитирования:** Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Особенности 3d-моделирования торфяных месторождений в геоинформационной среде Micromine // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2021. № 1 (9). С. 71–85.

## FEATURES OF 3D MODELING OF PEAT IN THE GEOINFORMATION ENVIRONMENT MICROMINE

T.B. YAKONOVSKAYA, Cand. Sc., A.I. ZHIGULSKAYA, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,  
170026, Tver, Russian Federation, e-mail: tby81@yandex.ru

One of the most important tasks of paramount importance for the design of a peat mining enterprise is the construction of an information model of a peat massif. In the article, the authors show the result of modeling a peat deposit in the Micromine mountain geographic information environment (GIS) using system approaches to processing geological information from various peat schools. As a result of modeling on the informational data of detailed exploration, three versions of the geological model of the «Olchevskoe» peat deposit were obtained. In conclusion, the authors cite the following conclusions: first, a wide range of software packages has been developed on the software market for mining enterprises; secondly, the system principles embedded in the software are the same, but for the purposes of a particular mining enterprise, mining and geological conditions and the type of deposit, it takes a lot of time to adapt mining geographic information systems; thirdly, depending on the underlying theoretical and systemic principles in the informational description of a peat deposit, the created 3d models will differ significantly.

*Keywords:* geographic information systems (GIS), modeling of deposits, 3d model, scientific peat schools, Micromine.

### REFERENCES

1. Ob utverzhdenii metodicheskikh rekomendatsiy v tselyakh vedeniya statisticheskogo ucheta zapasov i mestorozhdeniy torfa po forme, utverzhdennoy postanovleniyem Goskomstata Rossii ot 18.06.99 g. № 44 i obespecheniya podgotovki federal'nogo i territorial'nogo balansov zapasov torfa po yedinoy dlya Rossiyskoy Federatsii sisteme. Prikaz №87 ot 29.03.2000. URL: <https://pandia.ru/text/80/306/43997.php> (data accessed: 16.10.2020). (In Russian).
2. Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I., Zyuzin B.F. Issues of investment attractiveness of the peat industry. *Current state of economic systems: economics and management*. Collection of scientific papers int. scientific conf. / under total ed. D.V. Rozova, G.G. Skvortsova. Tver: SCF-offis, 2018, pp. 139–142. (In Russian).
3. Zyuzin B.F., Zhigulskaya A.I., Yakonovskaya T.B. Mining complex of the Tver region of the Russian Federation: analysis of development // *Geology and mineral resources of the West of the East European platform: problems of study and rational use*. Materials int. scientific. conf., dedicated to the 215th anniversary of the birth of I. Domeyko / ed. A.K. Karabanov. Minsk: Institut prirodopolzovaniya Natsionalnoy akademii nauk Belarusi, 2017, pp. 148–151. (In Russian).
4. Mikhailov A.V., Zhigulskaya A.I., Yakonovskaya T.B., Zhigulsky M.A. Assessment of the stages of the life cycle of the development of a peat deposit. *Geology and mineral resources of the West of the East European platform: problems of study and rational use*. Materials int. scientific. Conf., dedicated to the 215th anniversary of the birth of I. Domeyko / ed. A.K. Karabanov. Minsk: Institut prirodopolzovaniya Natsionalnoy akademii nauk Belarusi, 2017, pp. 196–199. (In Russian).
5. Yakonovskaya T.B. Problems of informatization of the analysis of geological data of enterprises for peat extraction. *Intelligent information technologies and intelligent business*

(info-2020): materials of the int. scientific and technical conf. Vologda: VGU. 2020, pp. 89–94. (In Russian).

6. Uslovnoye modelirovaniye v Micromine. URL: <https://www.micromine.ru/micromine-mining-software>. (data accessed: 15.10.2020). (In Russian).

7. Poggio L., Gimona A., Aalders I., Morrice J., Hough R. Legacy data for 3D modelling of peat properties with uncertainty estimation in Dava bog-Scotland. *Geoderma Regional*. 2020. P. e00288.

8. Kosov V.I. System principles for the development of resource-saving technologies in peat production: Diss ... doct. tech. sciences. Tver, 1991. 350 p. (In Russian).

9. Egoshina O.S., Alexandrov B.M. A digital coding system for the genetic classification of peat species and its role in the comprehensive assessment of peat reserves by categories of raw materials and directions of use. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*, 2019. No. 3, pp. 55–63. (In Russian).

10. Bernatonis P.V., Bernatonis V.K., Boyarko G.Yu. Geological substantiation of conditions for peat. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2013. No. 3 (40), pp. 345–350. (In Russian).

11. Zyuzin B.F., Zhigul'skaya A.I., Yakonovskaya T.B. Modeling of physical and chemical processes. *Actual problems of chemical technology and environmental protection*. Sb. materialov VIII Vserossiyskoy konf., posvyashchenoy 60-letiyu PAO "Khimprom". Cheboksary: ChGU im. I.N. Ulyanova, 2020, pp. 285–286. (In Russian).

12. Kosov V.I., Maslennikov A.V. System principles of computing on an ecologically balanced and resource-saving development of peat deposits. *Torfyanaya promyshlennost*, 1990. No. 10, pp. 6–14. (In Russian).

13. Mikhailov A., Zhigul'skaya A., Yakonovskaya T. Strip mining of peat deposit. *Mine Planning and Equipment Selection: MPES 2017*, pp. 497–501.

14. Mikhailov A.V., Zhigul'skaya A.I., Yakonovskaya T.B. Excavating and loading equipment for peat mining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2017. V. 87. No. 2. P. 022014.

15. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I., Yakonovskiy P.A. Assessment of the use of the VLF geophysical method for determining the thickness of a peat deposit. *Gornye nauki i tekhnologii*. 2020. No. 5 (3), pp. 224–234. (In Russian).

16. Karavaeva N.M., Burakov A.I., Dmitriev G.A., Lifshits M.S. Avtomatizatsiya torfyanogo proizvodstva [Peat production automation]. Moscow: Nedra. 1979. 312 p.

17. Volkov A.N. Technological aspects of high-quality software development. *Torfyanaya promyshlennost*, 1990. No. 6, pp. 27–30. (In Russian).

18. Palukh B.V., Vetrov A.N. Architecture of the complex of instrumental software for dynamic distributed systems for monitoring peat fires. *Scientific service on the Internet*. Proceedings of the All-Russian Scientific. conf. Moscow: MGU im. M.V. Lomonosova. 2005, pp. 251–252. (In Russian).

19. Palyukh B.V., Tsvetkov R.E. Information system for simulation of peat fires. *Programmnyye produkty i sistemy*. 2007. No. 3. P. 48. (In Russian).

20. Palyukh B.V., Tsvetkov R.E. Intelligent fire safety management system for storage of milled peat. *XI national conference on artificial intelligence with international participation*. Dubna. 2008, pp. 300–305. (In Russian).

Поступила в редакцию/received: 26.10.2020; после рецензирования/revised: 28.10.2020;  
принята/accepted 23.11.2020