

*О.Г. Третьякова<sup>1</sup>, М.Ф. Третьяков<sup>1</sup>, Ф.Ф. Третьяков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

<sup>2</sup> Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия

## ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРКАСНОЙ МОДЕЛИ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ Р. КЮРБЕЛЯХ (ТОМПОНСКИЙ ПОЛИГОН СВФУ) В ГГИС МАЙКРОМАЙН

*Аннотация.* С 1972 года на Томпонском учебном полигоне СВФУ проводится геолого-съемочная практика студентов второго курса геологоразведочного факультета. Следуя к месту проведения практики у студентов есть возможность получить представление о классических фронтальных структурах Верхоянского складчато-надвигового пояса. Основной целью учебной практики является освоение студентами методов полевых наблюдений, составления геологических карт и камеральной обработки материала.

За 50 лет существования полигона составление геологической графики и документации претерпело существенные изменения. С появлением специализированных информационных средств назрела необходимость совершенствования учебного процесса геолого-съемочной практики и обработки материалов с помощью, изначально трехмерных, горно-геологических информационных систем.

Целью нашей работы является создание трехмерной каркасной геологической модели Томпонского полигона как основы для использования студентами и преподавателями в образовательных и научных целях. Для создания модели применена классическая схема картосоставления, но с использованием программных средств 3D моделирования. Работа, включила следующие этапы: сбор и обработка графической информации по выбранному участку; создание поверхности рельефа, путем оцифровки горизонталей топоосновы; оцифровка геологических границ и разрезов; создание ЦМП стратиграфических подразделений; создание каркасов стратиграфических подразделений и тектонических дислокаций.

Построение виртуальной геологической модели правобережья р.Кюрбелях послужит основой для отработки технологических процессов, которые позволят в ближайшем будущем завершить моделирование всей территории Томпонского полигона СВФУ. Модель будет использоваться в качестве профориентационного инструмента, привлекающего абитуриентов, заинтересованных в получении востребованных в горно-геологической отрасли цифровых компетенций в области моделирования месторождений полезных ископаемых

*Ключевые слова:* геолого-съемочная практика, цифровая модель поверхности, моделирование стратиграфических подразделений, моделирование, каркасная модель, Томпонский полигон, разрезы, контуры, цифровой двойник, Майкромайн.

---

*ТРЕТЬЯКОВА Ольга Геннадьевна* – ст. преп. Геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова. E-mail: [treyakova\\_olga83@mail.ru](mailto:treyakova_olga83@mail.ru)

*TRETYAKOVA Olga Gennadievna* – Senior Lecturer, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University. E-mail: [treyakova\\_olga83@mail.ru](mailto:treyakova_olga83@mail.ru)

*ТРЕТЬЯКОВ Максим Феликсович* – к.г.-м.н., декан Геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова. E-mail: [mf.tretiakov@s-vfu.ru](mailto:mf.tretiakov@s-vfu.ru)

*TRETYAKOV Maksim Feliksovich* – Candidate of Geological and Minerological Sciences, Head, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University. E-mail: [mf.tretiakov@s-vfu.ru](mailto:mf.tretiakov@s-vfu.ru)

*ТРЕТЬЯКОВ Феликс Филаретович* – старший научный сотрудник Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН. E-mail: [treyakov\\_ff@mail.ru](mailto:treyakov_ff@mail.ru)

*TRETYAKOV Feliks Filaretovich* – Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. E-mail: [treyakov\\_ff@mail.ru](mailto:treyakov_ff@mail.ru)

*O.G. Tretyakova<sup>1</sup>, M.F. Tretyakov<sup>1</sup>, F.F. Tretyakov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

## CONSTRUCTION OF A GEOLOGICAL WIREFRAME MODEL OF THE RIGHT BANK OF THE KURBELYAKH RIVER (TOMPONSKY TRAINING GROUND OF NEFU)

in GIS Micromine

*Abstract.* Since 1972, the geological practice of 2nd year students of the Geological Prospecting Faculty have been conducted at the Tomponsky training ground of the North-Eastern Federal University. Moving to the place of practical training, students can get an idea of the classical frontal structures of the Verkhoyansk fold belt. The main goal of the educational practice is the use of field observation methods, the compilation of geological maps and the processing of material.

Over the 50 years of the landfill's existence, the drawing up of geological graphics and documentation has undergone significant changes. With the advent of specialized information tools, there is a need to improve the educational process of geological survey practice and processing of materials with the help of initially three-dimensional mining and geological information systems.

The purpose of our work was to create a three-dimensional wireframe geological model of the Tomponsky training ground as a basis for use by students and teachers for educational and scientific purposes. To create the model, a classic mapping scheme was used, but using 3D modeling software. The work included the following stages: collection and processing of graphic information; creating a relief surface; digitization of geological boundaries and sections; creation of digital models of surfaces of stratigraphic units; creation of frames of stratigraphic units and tectonic faults.

The construction of a virtual geological model of the right bank of the Kurbelyakh River will serve as the basis for testing technological processes that will allow soon to complete the modeling of the entire territory of the Tomponsky training ground of NEFU. The model will be used as a career guidance tool that attracts enrollee interested in obtaining digital competencies in the field of modeling mineral deposits that are in demand in the mining and geological industry.

*Keywords:* geological practice, digital surface model, modeling of stratigraphic units, modeling, wireframe model, Tomponsky training ground, cuts, contours, digital twin, Micromine.

### Введение

Томпонский учебный геолого-съёмочный полигон СВФУ является уникальным природным объектом, на территории которого вот уже на протяжении пяти десятилетий проходят учебную практику студенты геологоразведочного факультета СВФУ. Он расположен в горных отрогах хребта Сунтар-Хаята, Южно-Верхоянской горной системы. База учебного полигона находится на 638 км автотрассы Якутск – Магадан в долине р. Восточная Хандыга на территории экологического резервата «Сунтар-Хаята». Здесь в 1972 году по инициативе известного ученого, доктора геолого-минералогических наук, профессора Виктора Ивановича Коростелева был разбит палаточный лагерь и проведена первая учебная геолого-съёмочная практика студентов. С юбилейного 2002 года, через 30 лет с момента основания, Томпонский геолого-съёмочный полигон носит имя своего основателя – Виктора Ивановича Коростелева [1].

Следуя к месту проведения практики у студентов есть возможность получить представление о классических фронтальных структурах Верхоянского складчато-надвигового пояса. Автотрасса Якутск-Магадан, по которой следует маршрут на базу полигона, пролегает по Сибирской платформе, пересекает Предверхоянский краевой прогиб, складчатые структуры Сетте-Дабанской и Южно-Верхоянской тектонических зон. Уникальность района проведения учебной практики состоит в том, что здесь, в бассейне р. Восточная Хандыга, были выделены стратотипы многих свит верхнепермских и нижнетриасовых терригенных отложений [2].

Стоит отметить, что полевая геологическая экскурсия IV Международного геологического конгресса в 1984 году была проведена на территории Томпонского учебного полигона с целью наблюдения уникальной геологической границы между крупными геохронологическими эрами – палеозоем и мезозоем. Особенную ценность разрезы, представленные в пределах площади

полигона, имеют еще и по той причине, что здесь породы раннетриасового возраста насыщены фаунистическими остатками, в том числе аммонитов, которые маркируют уникальную геологическую границу [1].

Основной целью учебной практики является освоение студентами методов полевых наблюдений, составления геологических карт и камеральной обработки материалов. Именно на этой практике студенты получают профессиональную базу и необходимые навыки, которые затем применяют в своей повседневной геологической работе.

По итогам прохождения практики студентами составляется отчет, к которому прилагаются графические материалы: геоморфологическая и геологическая карты со стратиграфической колонкой и разрезами. Составление «графики» – это самый ответственный этап подготовки материалов отчета к защите.

### **Основная часть**

В 2022 году практика студентов на Томпонском полигоне будет проводиться в юбилейный 50-й раз. За 50 лет существования полигон из палаточного лагеря преобразовался в базу с капитальными постройками, студенты получили возможность пользоваться в полевых маршрутах современными гаджетами, средствами связи и навигации, а составление геологической графики и документации претерпело существенные изменения. Долгое время карты для отчетов составлялись студентами вручную на топоосновах, позднее появилась возможность отрисовки карт при помощи графических редакторов. Студенты осваивали построение 2D-графики, карт, планов и разрезов с использованием CorelDraw, на старших курсах получали навыки работы в универсальных геоинформационных системах, таких как ESRI ArcGIS. С появлением специализированных информационных средств построения геологической графики назрела необходимость совершенствования учебного процесса геолого-съёмочной практики и обработки материалов с помощью, изначально трехмерных, горно-геологических информационных систем.

Целью нашей работы является создание трехмерной каркасной геологической модели Томпонского полигона как основы для использования студентами и преподавателями в образовательных и научных целях. Такая модель может послужить цифровой основой для проведения учебной практики и НИР, а также способствовать решению следующих актуальных задач:

1. выведение геолого-съёмочной практики на качественно новый уровень благодаря использованию современного программного обеспечения в качестве основного инструмента картосоставления;
2. повышения интереса студентов к профессии через обучение их современным методам проведения геолого-съёмочных работ.

На сегодняшний день, во многом, благодаря, имеющемуся на геологоразведочном факультете СВФУ, программному обеспечению, такому как горно-геологическая система Майкромайн, у нас появилась возможность создания трехмерной каркасной геологической модели Томпонского полигона, которая обеспечит студентам комплексное видение геологической ситуации на данной территории.

Для создания подобной цифровой геологической модели мы применили схему, схожую с классическим картосоставлением, но с использованием доступных в ГГИС Майкромайн программных средств 3D моделирования, включающую следующие этапы:

- сбор и обработка графической информации по выбранному участку;
- создание поверхности рельефа, путем оцифровки горизонталей топоосновы;
- оцифровка геологических границ;
- составление геологических разрезов и их привязка;
- создание цифровых моделей поверхности (ЦМП) подошвы и кровли, каждого стратиграфического подразделения с использованием имеющихся геологических границ в плане и на разрезах;
- создание каркасов стратиграфических подразделений и тектонических дислокаций.

Исходными материалами для выполнения работы послужили: геологическая карта составленная под редакцией В.И. Коростелева и другие доступные картографические материалы.

Объектом моделирования не случайно выбрано именно правобережье р. Кюрбелях. Независимо от погодных условий, обусловленных климатом в горной местности, этот участок

ежегодно попадает на карты студентов, так как находится в непосредственной близости от базы полигона. Для картирования данной территории студентам не приходится пересекать крупные водотоки, поэтому им удастся завершить все запланированные здесь маршруты, произвести замеры элементов залегания, отметить маркирующие горизонты свит и внести необходимые для составления геологической карты наблюдения в полевую документацию.

Изображения цифровой модели поверхности сводятся к двум типам: изображения, базирующиеся на точках и изображения, базирующиеся на линиях [3]. Для создания 3D-рельефа поверхности приустьевой части правобережья р.Кюрбелях был использован второй метод (рис. 1). При помощи инструмента «новый стринг», который позволяет создавать как замкнутые полигоны, так и открытые формы, на основе привязанной топоосновы были оцифрованы горизонталы (изолинии) рельефа. Оцифровка сводится к расстановке формообразующих точек, последовательно соединенных линиями, густота точек зависит от требуемой точности изображения и кривизны горизонталей. Каждой горизонтали присваивается высотная отметка, что дает возможность получения перспективного изображения.

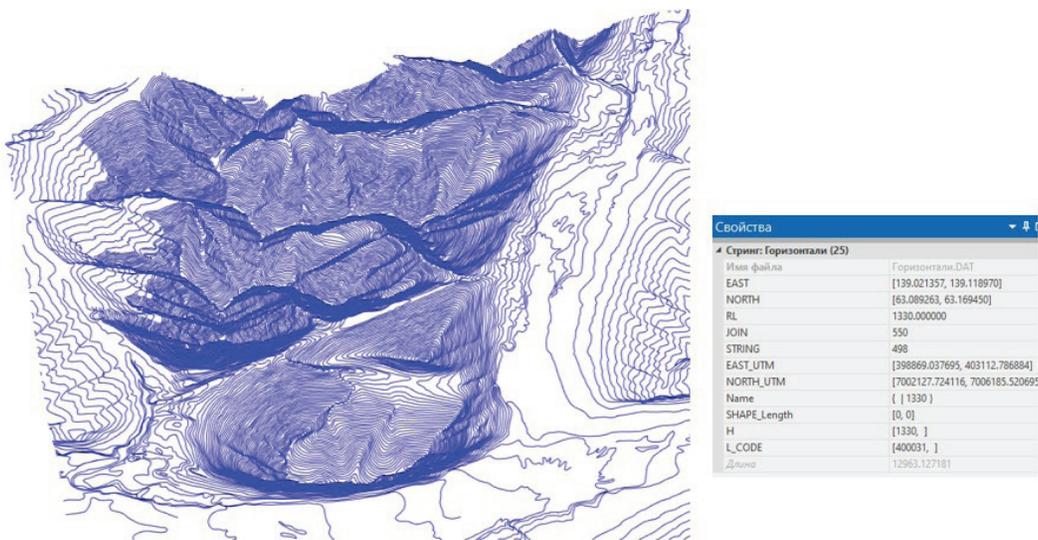


Рисунок 1 – Перспективное изображение поверхности рельефа

Основой для создания цифровой модели поверхности, отражающей рельеф полигона, является исходный файл с горизонталями. Процесс построения ЦМП заключается в создании математической модели из любого набора точек, имеющих значения X, Y и Z. Эти неравномерно расположенные точки между собой соединяются линиями, образующими треугольники, по условию метода триангуляции Делоне. По данному условию три точки формируют треугольник, только тогда, когда в окружности, описанной вокруг этого треугольника нет других точек [4]. ЦМП представляет собой сетку с треугольными ячейками, где каждая вершина является точкой в файле данных (рис. 2). Каждая вершина имеет связанное значение Z и каждая сторона треугольника определяет постоянный уклон между двумя известными точками, то есть является плоскостью. Треугольники, образующие поверхность, точно прилегают друг к другу, но не пересекаются, тем самым обеспечивают ее непрерывность.

Для работы с растровым изображением в Майкромайн необходимо выполнить его привязку к системе координат (рис. 3), то есть привязать растровое изображение геологической карты и опустить его на ЦМП (рис. 4). В процессе привязки изображения используются контрольные точки, которые применяются для связи точек растрового изображения с их местоположением. Привязка разрезов в рабочем пространстве ГИС Майкромайн проводилась аналогичным образом с помощью инструмента «Изображение», но уже в трехмерном пространстве, т.е. с указанием гипсометрического положения. В Майкромайн используются контрольные точки для расчета оптимального решения по привязке посредством вычисления наименьших квадратов.

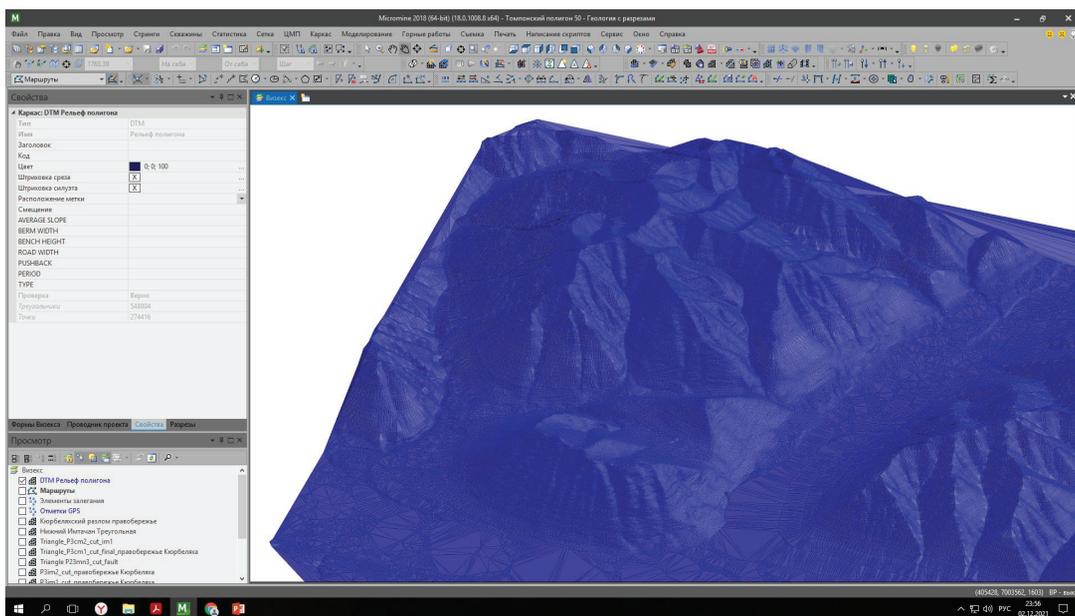


Рисунок 2 – Цифровая модель поверхности рельефа

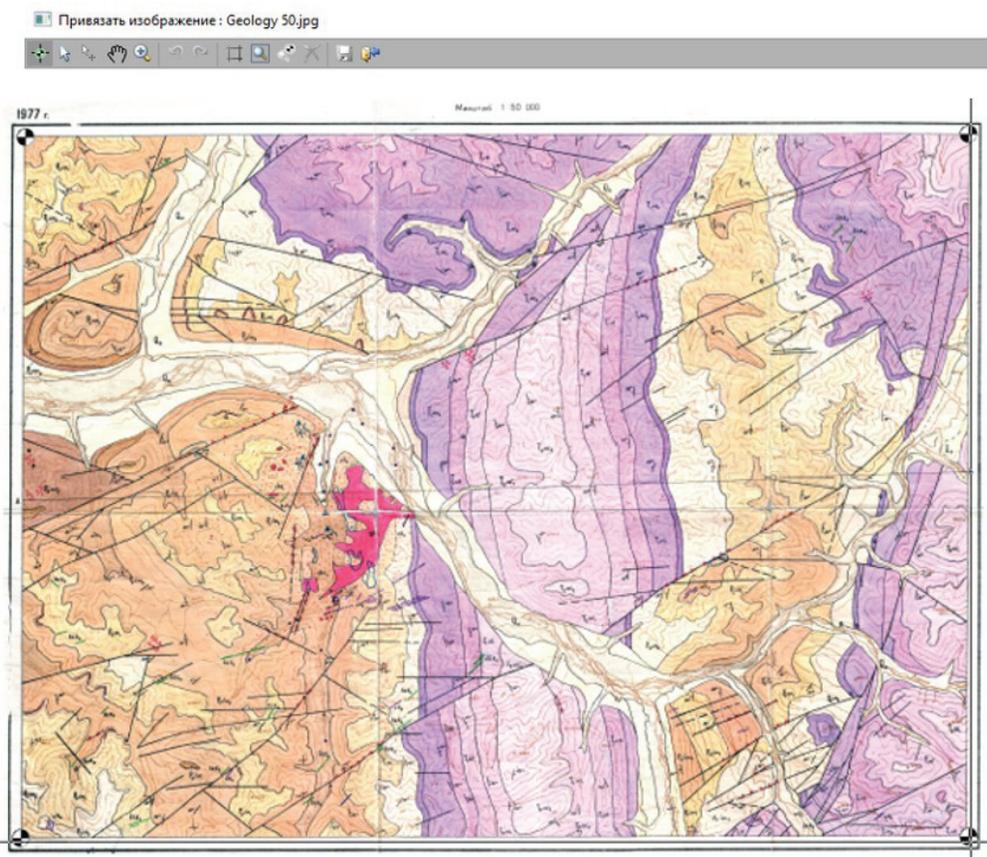


Рисунок 3 – Привязка карты по 4-м точкам



пересекал границу другого каркаса и занимал часть его объема. Затем с помощью операции пересечения отсекается лишнее и тем самым формируется общая корректная граница (рис. 6).

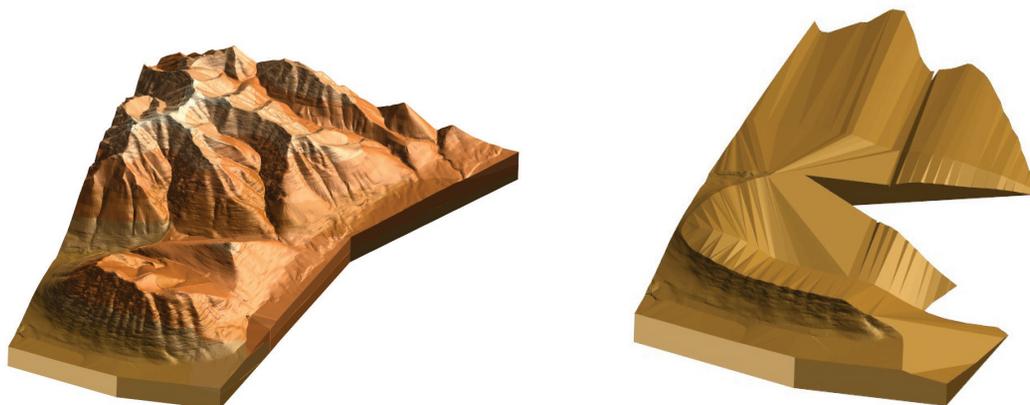


Рисунок 6 – Каркасы стратиграфических подразделений, на правом рисунке Менкеченская свита, средняя подсвита  $P_{2-3} \text{ mn}_2$

Моделирование в ГГИС Майкромайн позволило нам получить каркасную модель рассматриваемой территории, которая позволяет быстро получать характеристики геологических объектов, в том числе:

- измерение мощностей свит и подсвит, вычисление объемов геологических объектов;
- определение 3D координат любой точки и истинных расстояний между объектами;
- определение элементов залегания пластов и тектонических структур;
- мгновенное получение сечений и разрезов по любой заданной линии (рис. 7).

Процесс создания разрезов в Майкромайн заключается в определении линии разреза и его границ. Следует отметить, что разрезы в Майкромайн это границы просмотра в трехмерной среде [3]. Так же есть возможность создания контрольного файла разрезов, который является специальным файлом, содержащим поля определения разреза, такие как: координаты точек обзора, длина, горизонтальное направление просмотра и т.д.

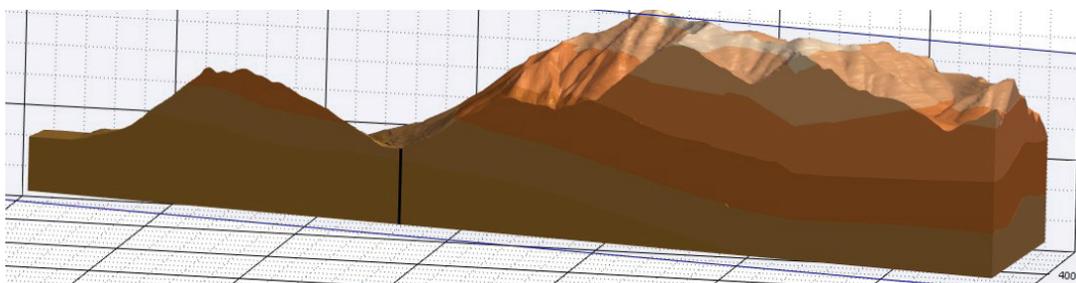


Рисунок 7 – Полученный по произвольно заданной линии разрез

Плоскости, определяющие разломы построены на основании двух стрингов, один из которых определяет простирание разлома на поверхности, второй – дублирует его положение на глубине.

Построенная трехмерная модель западной части полигона без сомнения поможет студентам лучше понимать, как полученные ими «в поле» измерения элементов залегания и закартированные геологические границы формируют тектонические структуры под поверхностью рельефа и как отражаются во внутреннем строении их собственной геологической модели.

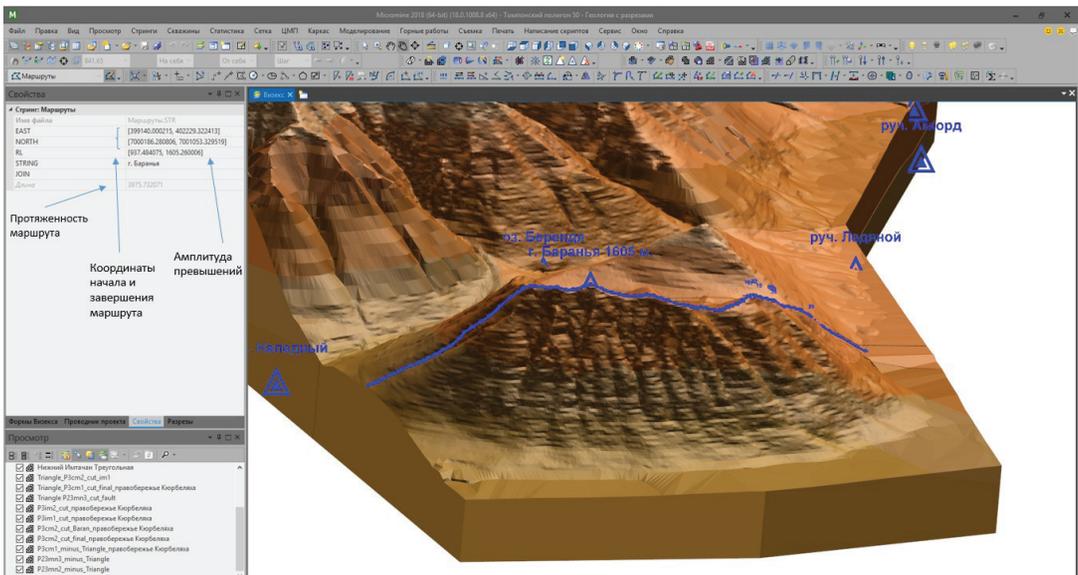


Рисунок 8 – Ход маршрута, нанесенный на каркасную модель

## Заключение

Предполагается дальнейшее совершенствование геологической модели полигона за счет использования новейших методик условного моделирования. Условное моделирование занимает меньше времени и создает более плавные сглаженные поверхности, а при анализе сложной геологической ситуации помогает обнаружить складки и разломы. Условное моделирование в Майкромайн использует радиально базисные функции (РБФ), ставшие в последнее время очень популярными.

Построенная виртуальная геологическая модель правобережья р.Кюрбелях послужила основой для отработки технологических процессов, которые позволят в ближайшем будущем завершить моделирование всей территории полигона и создать, по сути, его «цифровой двойник». Такой цифровой двойник будет представлять собой виртуальный аналог территории полигона, который даст возможность студентам ознакомиться с маршрутами на этапе камеральной подготовки к практике, например, «пройти» виртуальные маршруты (рис. 8). Кроме того, цифровой двойник полигона может использоваться в качестве профорientационного инструмента, привлекающего абитуриентов, заинтересованных в получении востребованных в горно-геологической отрасли цифровых компетенций в области моделирования месторождений полезных ископаемых и возможно внесет свой скромный вклад в популяризацию профессии геолога. Подобный виртуальный полигон, размещенный в открытом доступе, также может послужить своеобразной рекламой возможностей университета в области моделирования сложных природных систем.

## Литература

1. Жижин В.И., Третьяков М.Ф., Рожин С.С., Филиппов В.Р., Дмитриев Е.П., Попов Б.И. 40 лет Томпонскому учебному полигону геологоразведочного факультета СВФУ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 2012 г. Т.1. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2012. – С. 130-136.
2. Жижин В.И., Дмитриев П.С., Никитин В.М., Оксман В.С., Пуляев Н.А., Филиппов В.Р. Геологическая практика. – Якутск: ЯГУ, 2005. – 113 с.
3. Федотов Г.С., Январев Г.С. Объемное цифровое моделирование геологических тел в процессе разведки. – М.: Горная книга, 2021. – 168 с.
4. Сковрцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во Том.ун-та, 2002. – 128 с.

**References**

1. Zhizhin V.I., Tret'jakov M.F., Rozhin S.S., Filippov V.R., Dmitriev E.P., Popov B.I. 40 let Tomponskomu uchebnomu poligonu geologorazvedochnogo fakul'teta SVFU // Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 2012 g. T.I. – Jakutsk: Izdatel'skij dom SVFU, 2012. – S. 130-136.
2. Zhizhin V.I., Dmitriev P.S., Nikitin V.M., Oksman V.S., Puljaev N.A., Fillipov V.R. Geologo-s#emochnaja praktika. – Jakutsk: JaGU, 2005. – 113 s.
3. Fedotov G.S., Janvarev G.S. Ob#emnoe cifrovoe modelirovanie geologicheskikh tel v processe razvedki. – M.: Gornaja kniga, 2021. – 168 s.
4. Skvorcov A.V. Trianguljacija Delone i ee primenenie. – Tomsk: Izd-vo Tom.un-ta, 2002. – 128 s.