

## Создание виртуальной 3D модели Денисовой пещеры на Алтае

*М.Н. Аникушкин, А.Е. Бобков, А.В. Леонов (a.leonov@ihst.ru)*

Проект «Виртуальная Денисова пещера на Алтае» посвящён созданию трёхмерной (3D) цифровой модели Денисовой пещеры на Алтае, а также программного обеспечения для интерактивной визуализации этой модели и связанной с ней информации. Проект выполнен в 2012 г. Центром виртуальной истории науки и техники ИИЕТ РАН (г. Москва) совместно с Институтом археологии и этнографии СО РАН (г. Новосибирск) в рамках Целевой программы РАН «Развитие постоянно действующей выставки достижений РАН». Лазерное сканирование и 3D моделирование пещеры и образцов находок было выполнено при поддержке ООО «Триметари» (г. Санкт-Петербург).

Денисова пещера на Алтае — выдающийся природный и археологический памятник мирового значения. Регулярные раскопки здесь ведутся с 1982 г., выявлено более 20 культурных слоев, собрано более 80000 экспонатов. Находки, сделанные в Денисовой пещере в 2008 г., привели к открытию новой эволюционной ветви в развитии человека [1]. Несомненную актуальность представляет сохранение информации об этом уникальном объекте с использованием современных методов 3D документирования: создание виртуальной (цифровой) 3D модели пещеры и наиболее интересных находок, визуализация результатов археологических исследований на основе созданной модели

В августе 2012 г. было выполнено лазерное сканирование и детальная фотосъёмка пещеры. Было сделано 37 сканерных станций, полное облако точек содержит около 50 млн. точек. Затем по результатам лазерного сканирования и фотосъёмки была создана текстурированная полигональная модель. Модель содержит 88254 полигонов: 86000 – непосредственно пещера, 2254 – искусственные объекты (настилы, перила, лестницы). Разрешение текстуры составляет для разных участков от 30 до 100 тыс. пикселей на 1 кв м. поверхности модели. Таким образом, в результате выполнения проекта была создана детальная 3D модель пещеры, которая фиксирует её геометрию и внешний вид с высокой точностью.

Созданная 3D модель была привязана к археологической системе координат (АСК), которая используется археологами для пространственной привязки (фиксации местоположения) сделанных находок. Ось X АСК повернута на 62 градуса по часовой стрелке относительно направления на север, ось Y перпендикулярна оси X, ось Z направлена вертикально. Началом координат АСК является условная точка в пространстве недалеко от выхода из пещеры. АСК зафиксирована на объекте с помощью пяти реперов в стенах пещеры. Эти репера были

отсняты в ходе сканирования. При обработке данных модель пещеры была переведена в координаты АСК, точность привязки составила около 5 см. Таким образом, была обеспечена возможность сопоставления созданной 3D модели с археологическими схемами, и непосредственного переноса массива имеющихся археологических данных в виртуальное пространство 3D модели.

Отдельно было проведено лазерное сканирование, фотографирование и 3D моделирование нескольких образцов находок, сделанных в пещере (каменных орудий). Созданные модели предметов содержат порядка 50 тыс. полигонов. При их текстурировании использованы карты нормалей, полученные по более высокополигональным моделям (500 тыс. полигонов на предмет). Таким образом, была достигнута высокая визуальная реалистичность и детальность виртуальных моделей предметов, при относительно небольшом объеме модели и текстуры – что особенно важно для задач интерактивной визуализации в стерео режиме.

Для визуализации созданной 3D модели пещеры была создана интерактивная 3D презентация (программное обеспечение). Презентация поддерживает как моно, так и стерео режим отображения. Презентация обеспечивает визуализацию облака точек, 3D модели пещеры, 3D моделей находок, 3D моделей деревянных настилов, перил и лестниц, пространственного расположения находок в различных археологических горизонтах («облако находок»). Кроме того, поддерживается визуализация дополнительных данных: направлений на стороны света, осей и сетки АСК, местоположения реперов АСК. Поддержана возможность горизонтального среза виртуальной модели на любом уровне для удобства визуального анализа геометрии пещеры и расположения находок.

В презентации предусмотрено четыре окна: «Глобус», «Пещера», «Облако находок» и «3D модель находки», пользователь может переключаться между ними в произвольном порядке. В окне «Глобус» отображается виртуальный глобус с внедрённой на него трёхмерной моделью пещеры – таким образом, можно изучить расположение пещеры на местности и окружающий рельеф. В окне «Пещера» отображаются модели пещеры и других объектов. В окне «Облако находок» визуализируется только местоположение находок в археологических горизонтах. В окне «3D модель находки» отображаются модели отдельных предметов, с возможностью переключения между ними.

Созданные 3D модели и программное обеспечение могут использоваться как для презентационных, так и для исследовательских задач (например, визуального анализа стратиграфии и осадконакопления). Также презентация может использоваться для

организации виртуальной экскурсии, в том числе, посредством общедоступного Интернет-ресурса. Это особенно актуально для Денисовой пещеры на Алтае, которая является труднодоступным для посещения объектом.

Авторы выражают благодарность Светлане Байковой, Андрею Иванову, Дмитрию Линовскому и Ивану Рысю (ООО «Триметари») за участие в работах по лазерному сканированию, моделированию и текстурированию 3D моделей, Михаилу Васильевичу Шунькову (ИАЭТ СО РАН) за помощь в организации полевых работ, Максиму Козликину (ИАЭТ СО РАН) за подготовку исходных данных о расположении находок и полезные консультации, а также Сергею Котельникову и Сергею Зеленскому.

## **Литература**

[1]. Johannes Krause, Qiaomei Fu, Jeffrey M. Good, Bence Viola, Michael V. Shunkov, Anatoli P. Derevianko, and Svante Pääbo. The complete mitochondrial DNA genome of an unknown hominin from southern Siberia // Nature. № 464. P. 894—897 (8 April 2010).

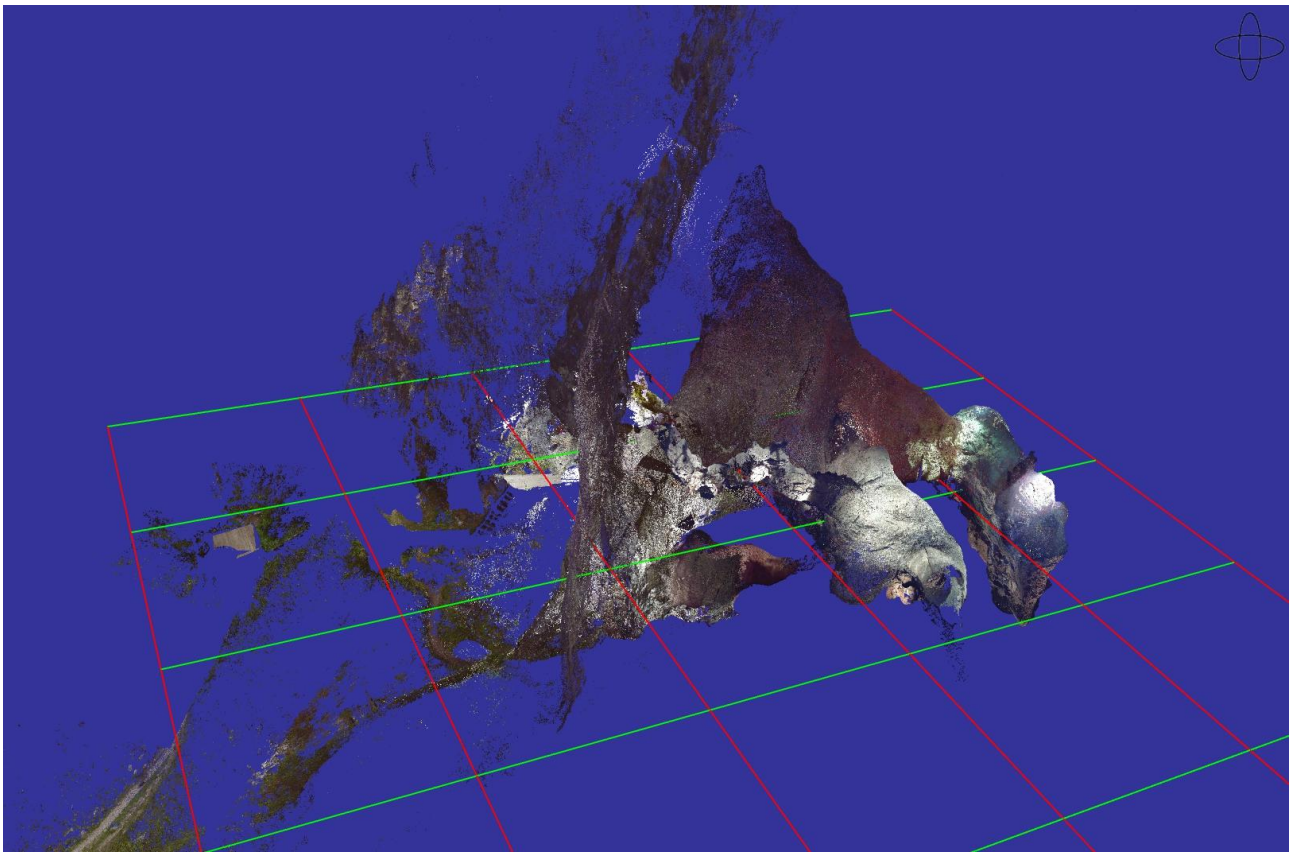


Рис. 1. Облако точек лазерного сканирования, общий вид. Для визуализации масштаба и перспективы показана координатная сетка с шагом 10 м.

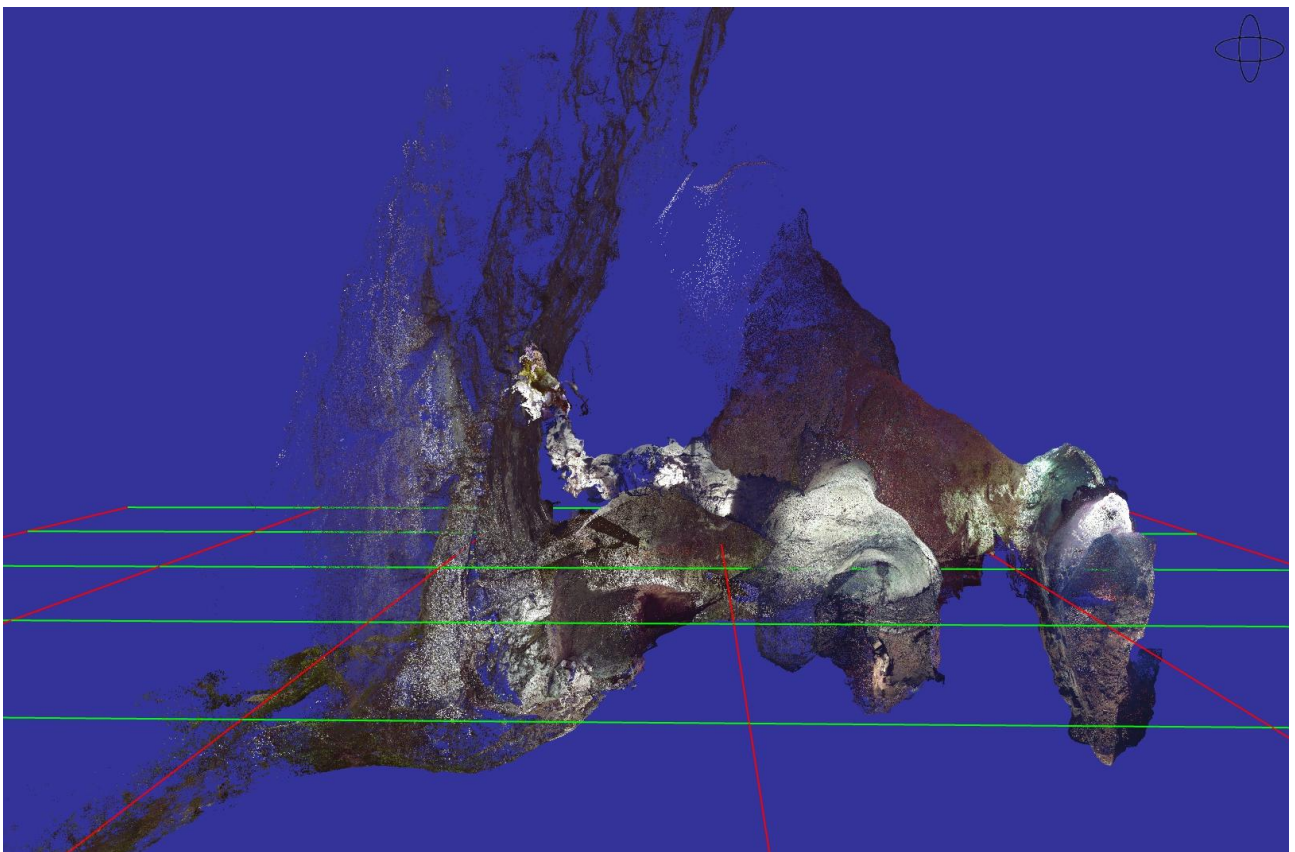


Рис. 2. Облако точек лазерного сканирования, внутренняя часть пещеры.

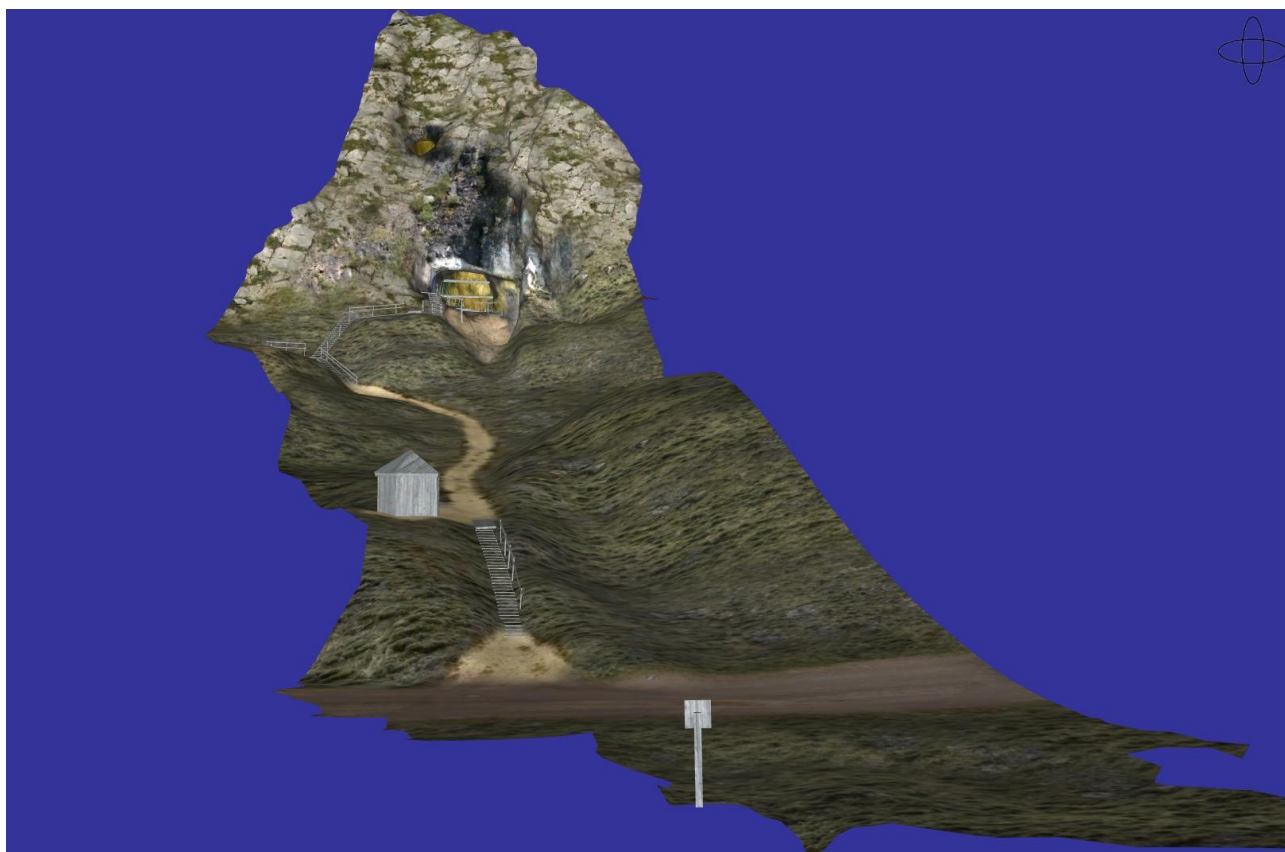


Рис. 3. Модель пещеры, вид на вход в пещеру со стороны дороги.



Рис. 4. Модель пещеры, вид на вход в пещеру. Справа видна внутренняя часть пещеры.

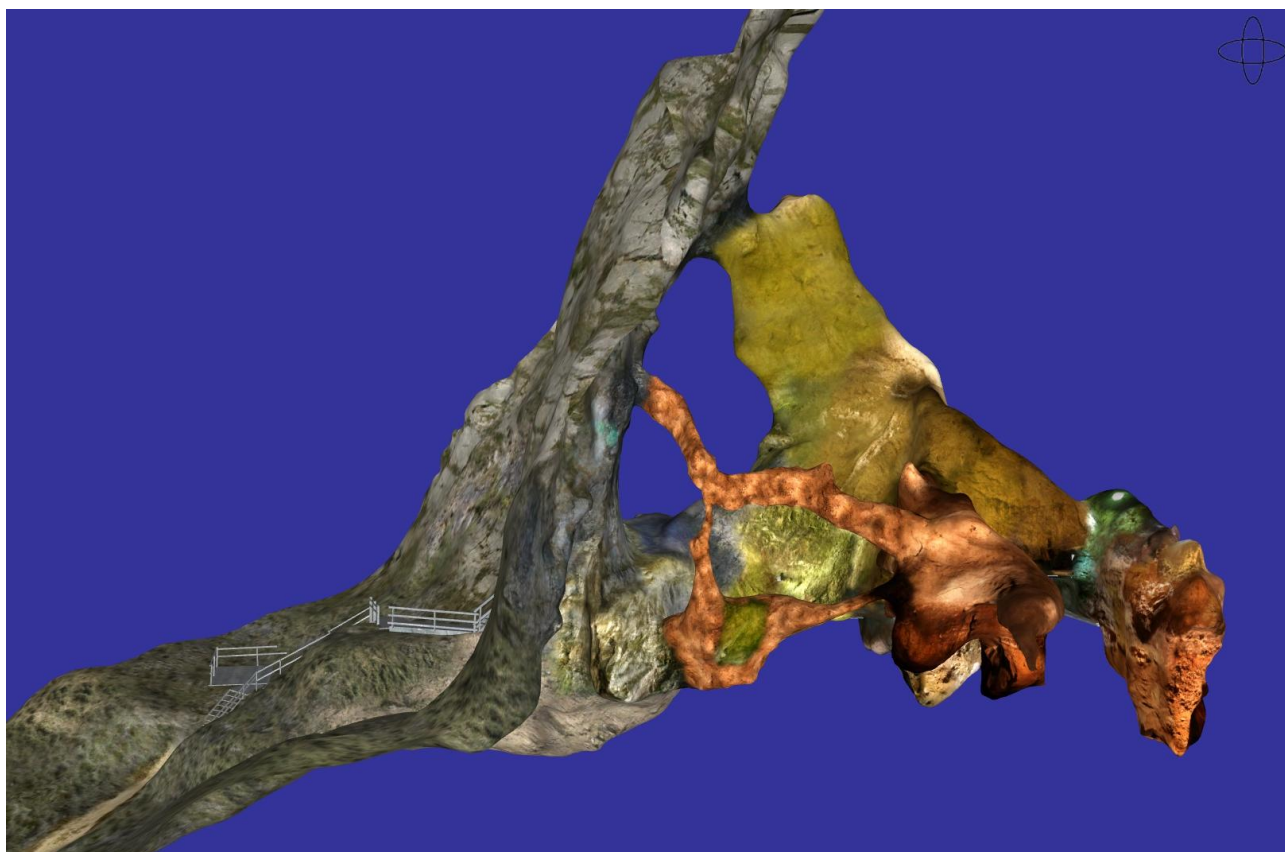


Рис. 5. Модель пещеры, вид на вход в пещеру. Справа видна внутренняя часть пещеры.

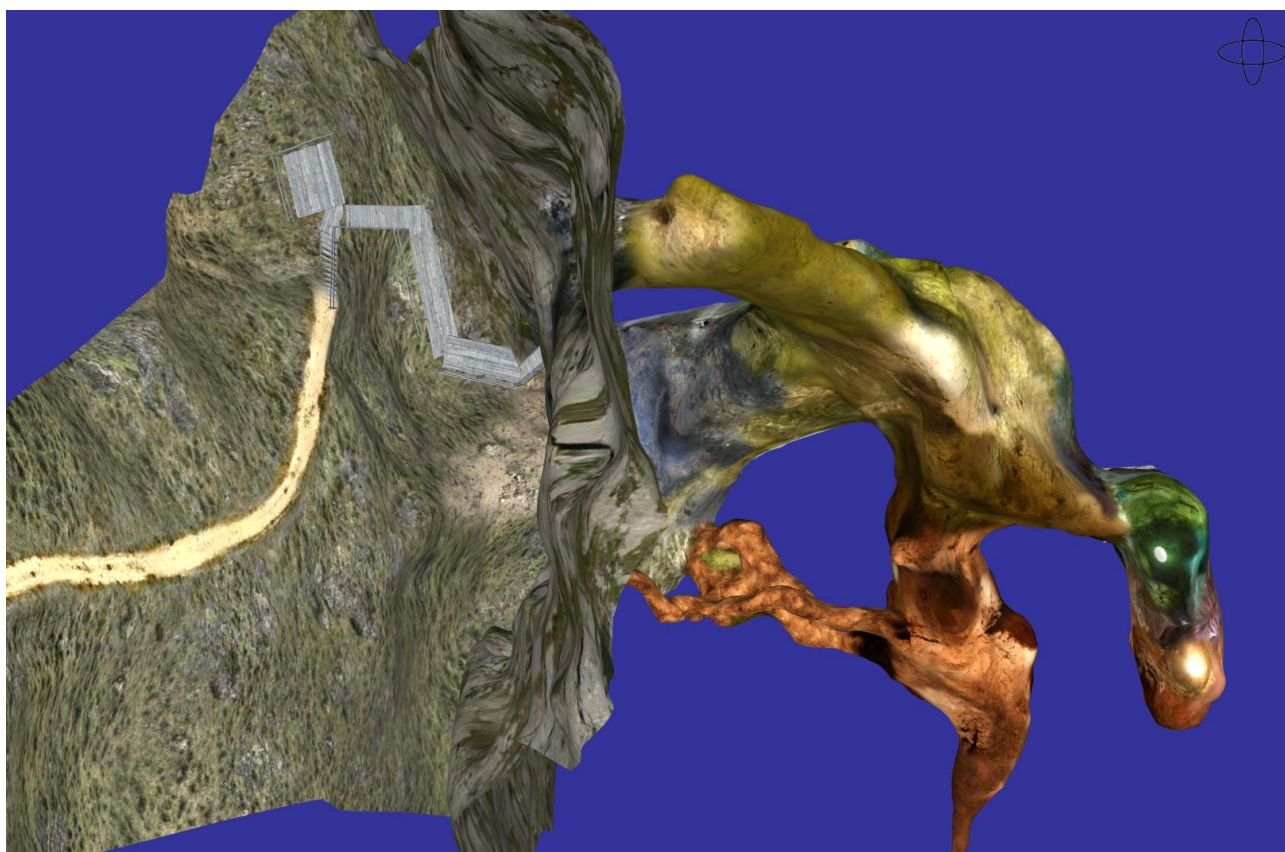


Рис. 6. Модель пещеры, вид сверху. Справа видна внутренняя часть пещеры.

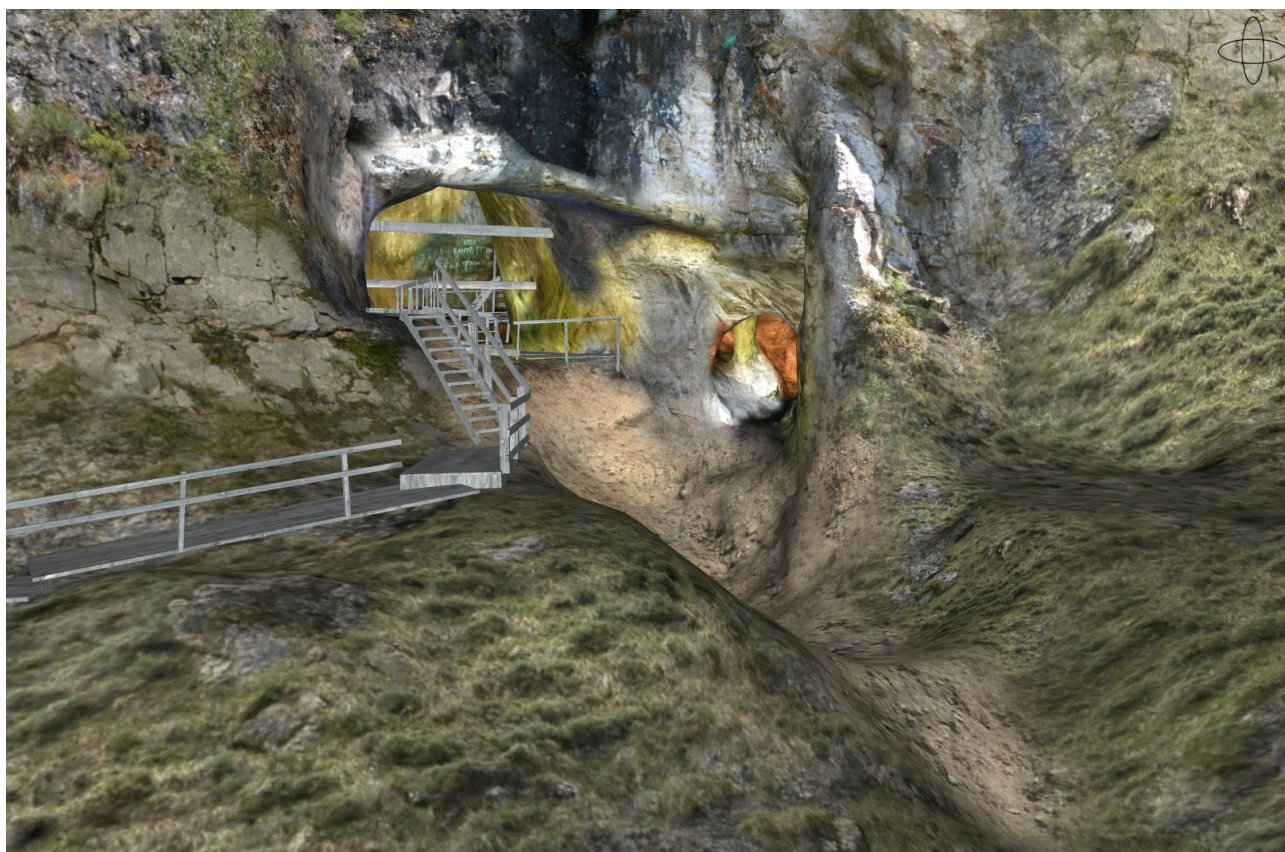


Рис. 7. Модель пещеры, вход в пещеру.



Рис. 8. Модель пещеры, центральный зал.

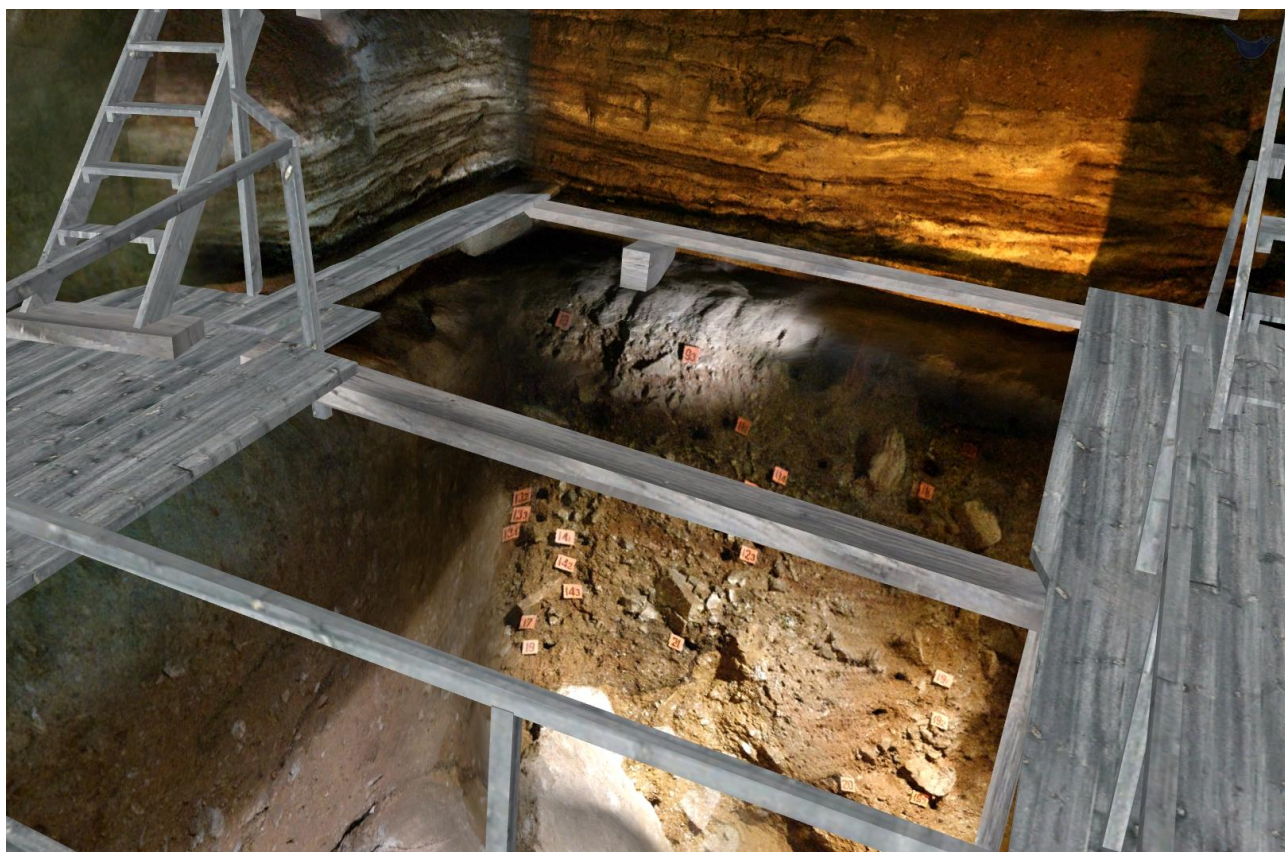


Рис. 9. Модель пещеры, раскоп в центральном зале.

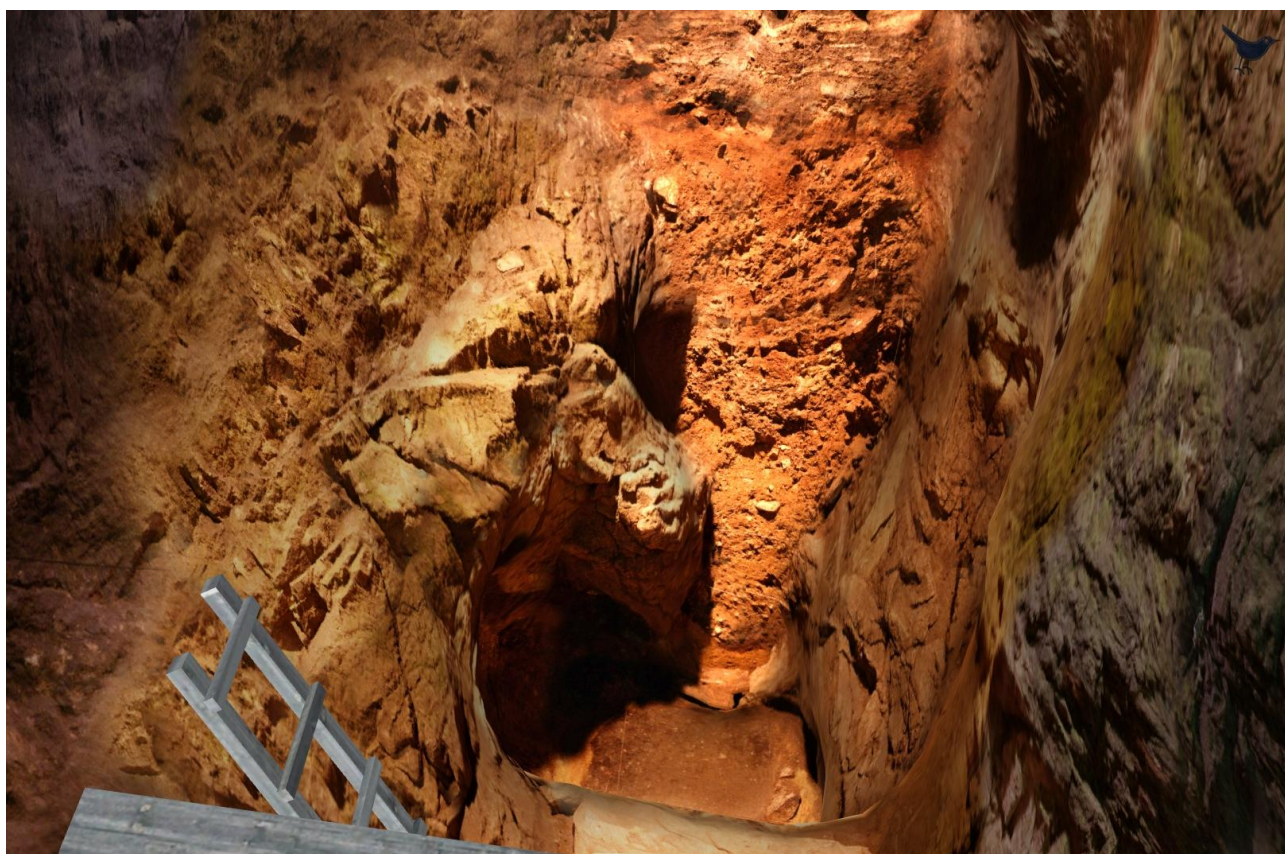


Рис. 10. Модель пещеры, раскоп в дальней восточной галерее.

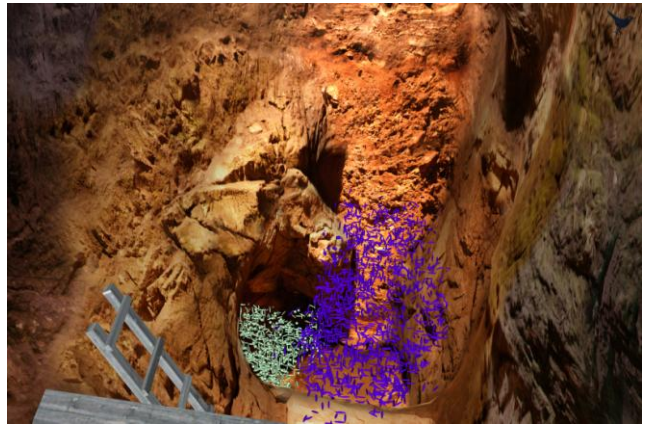


Рис. 11-13. Визуализация расположения находок в виртуальном пространстве модели. Различные горизонты показаны разным цветом. Показана координатная сетка с шагом 1 м.



Рис. 14, 15. Визуализация 3D моделей находок в виртуальном пространстве модели.



Рис. 16-20. Трёхмерные модели находок (каменных орудий).



Рис. 21. Модель пещеры, срез по уровню 0 м. Репера археологической системы координат (АСК) показаны белыми сферами.

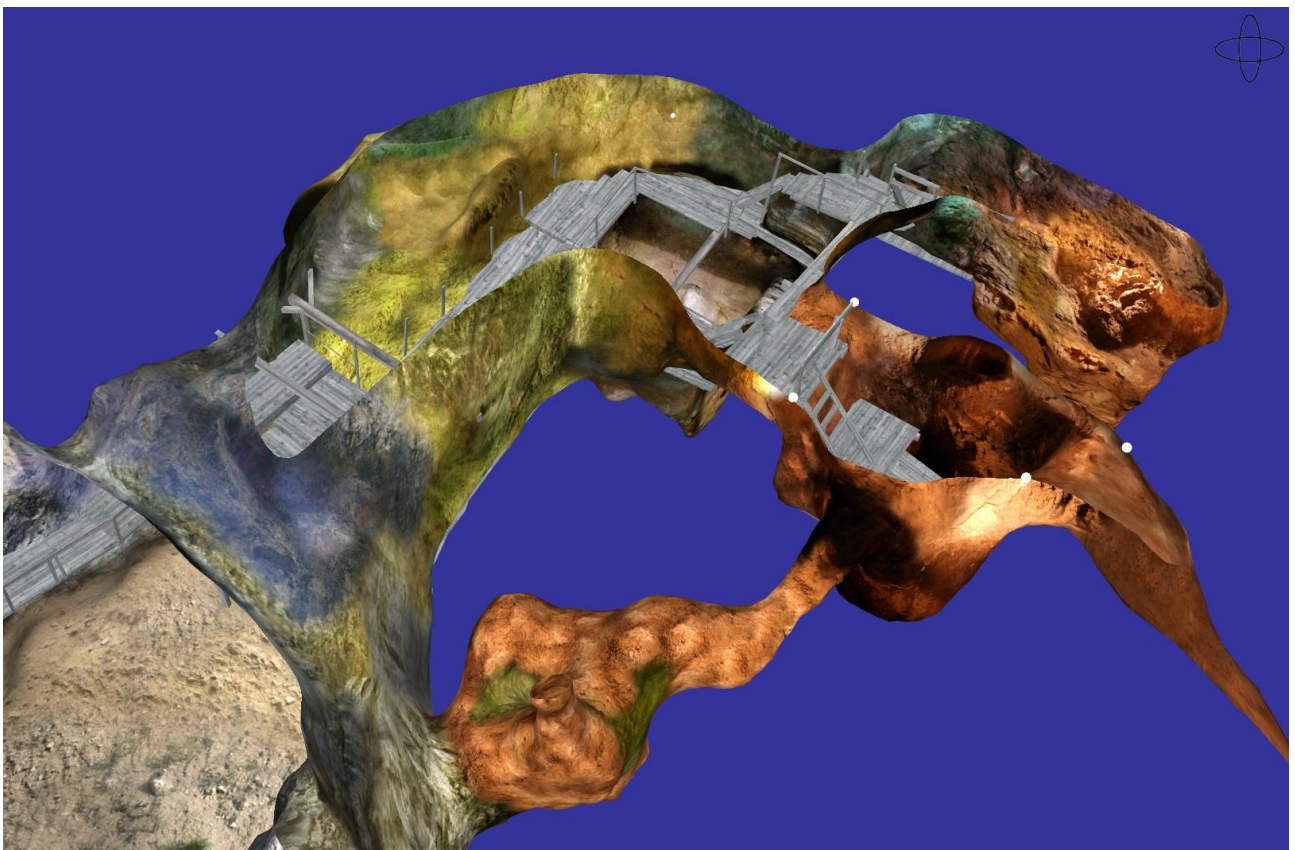


Рис. 22. Модель пещеры, срез по уровню 1 м. Репера АСК показаны белыми сферами.

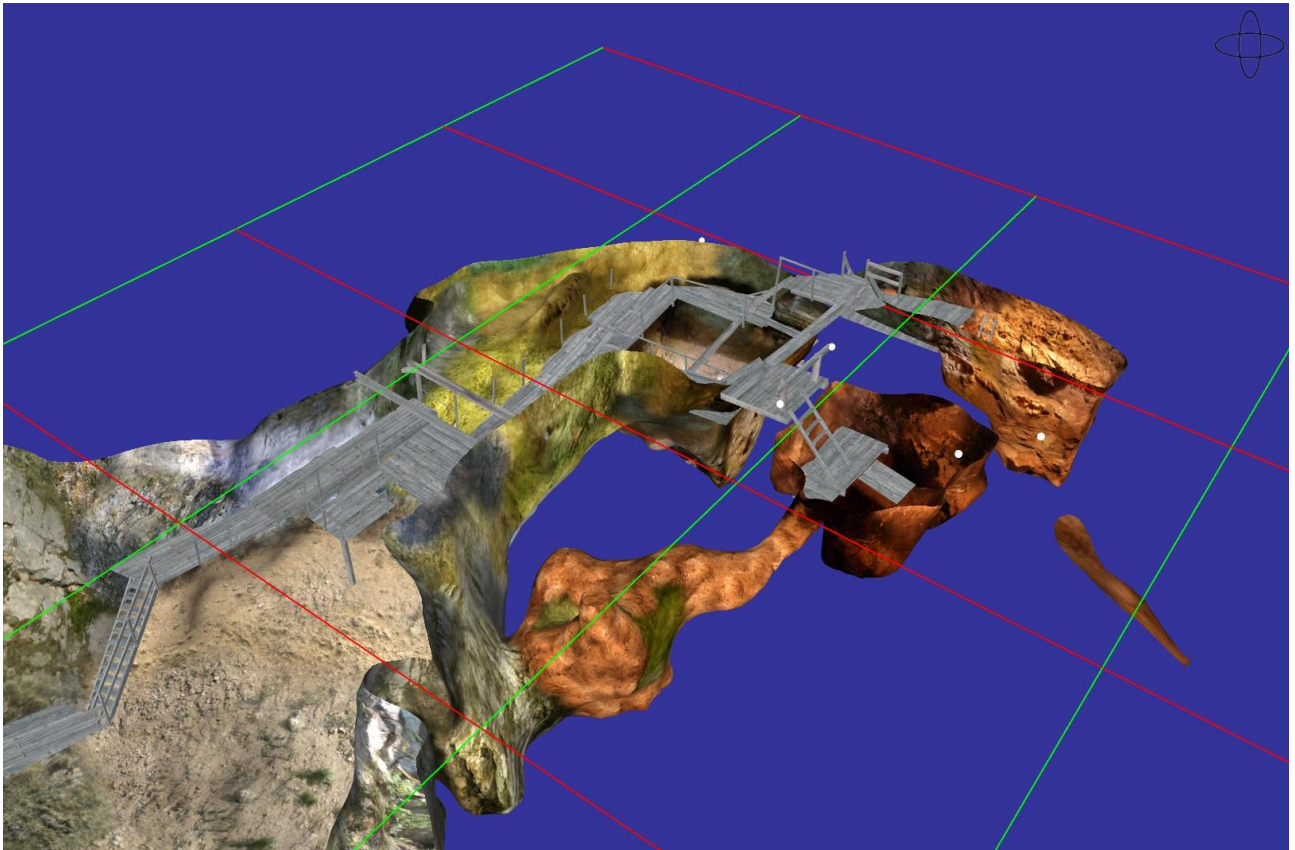


Рис. 23. Модель пещеры, срез по уровню 0 м. Репера АСК показаны белыми сферами. Наложена координатная сетка АСК с шагом 10 м.

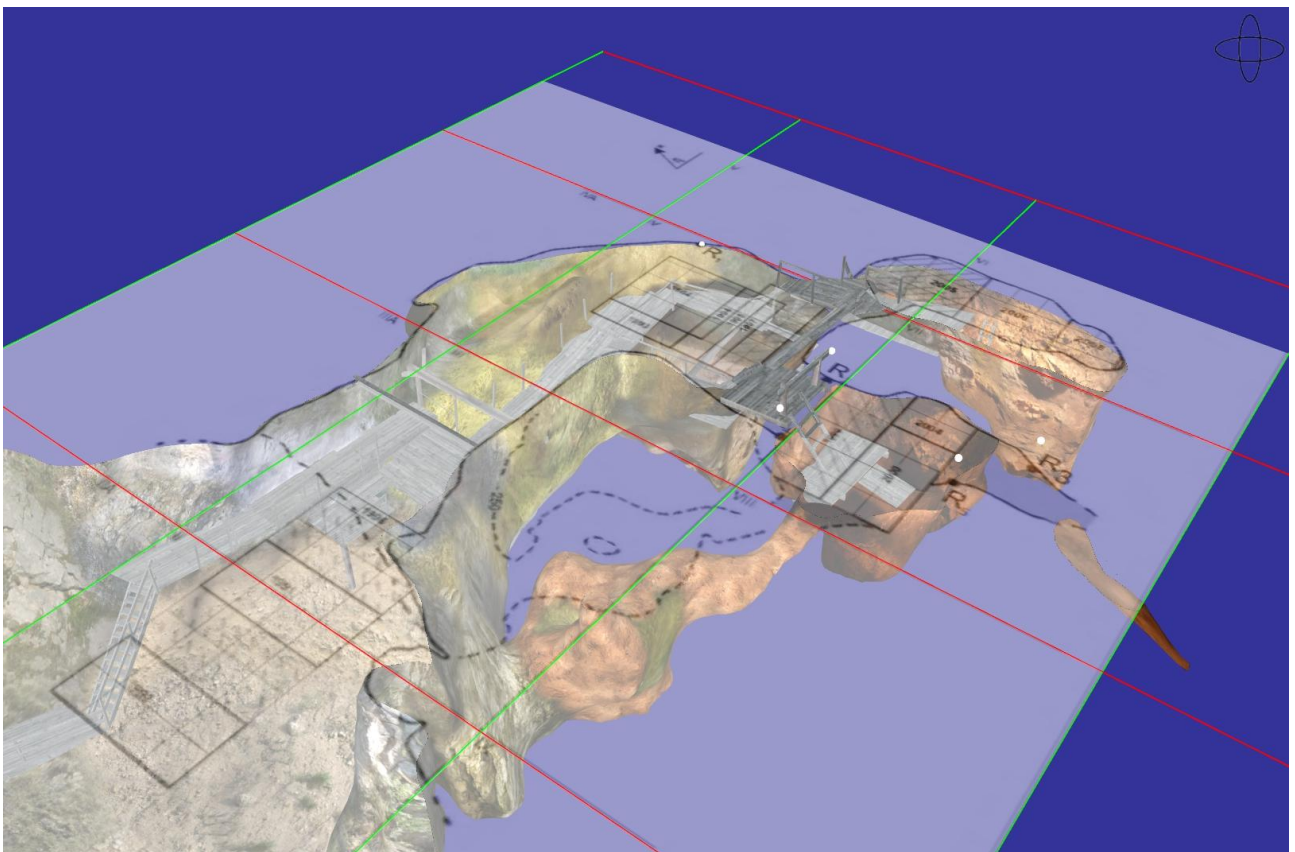


Рис. 24. Модель пещеры, срез по уровню 0 м. Наложен археологический план пещеры.

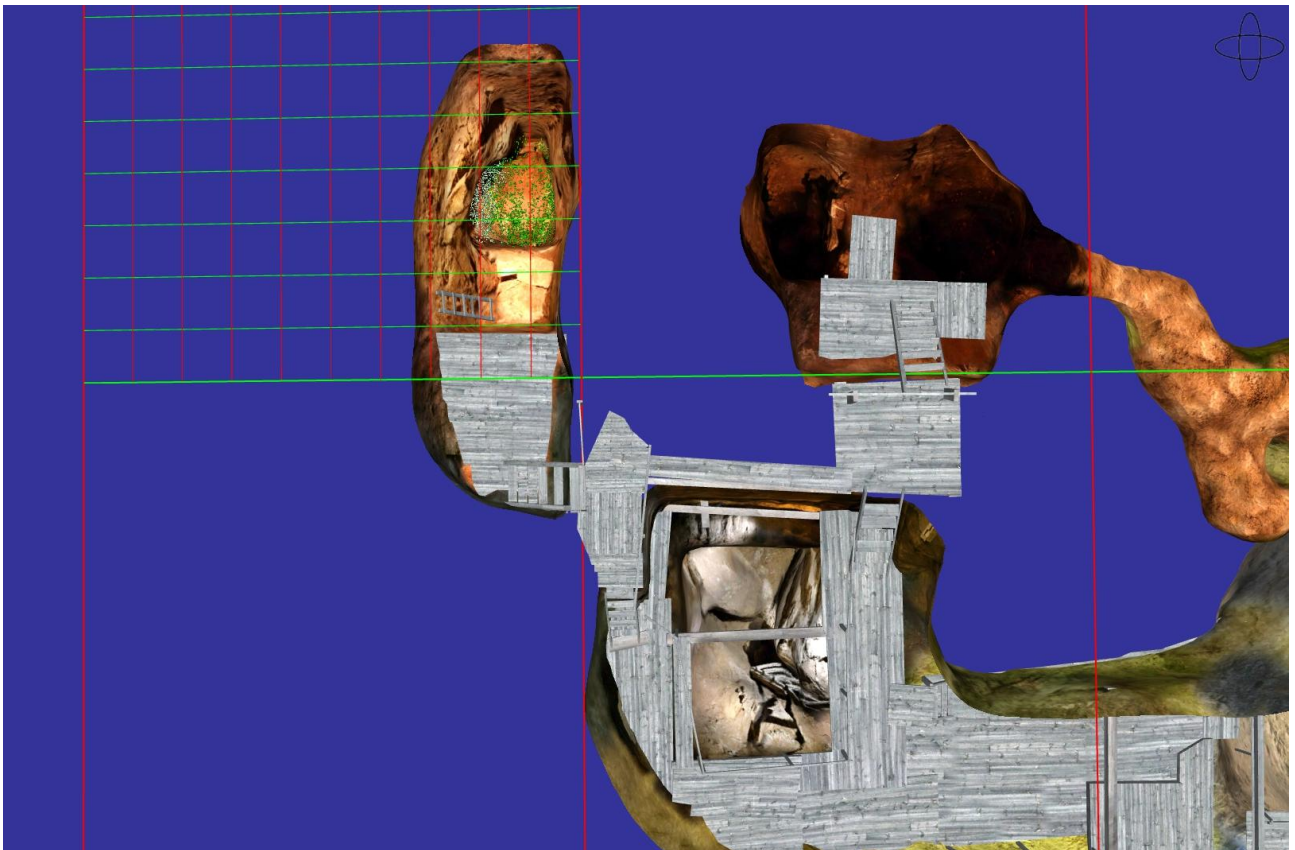


Рис. 25. Модель пещеры, срез по уровню 0 м, наложена координатная сетка с шагом 10 м и с шагом 1 м для дальней восточной галереи, показано расположение находок.

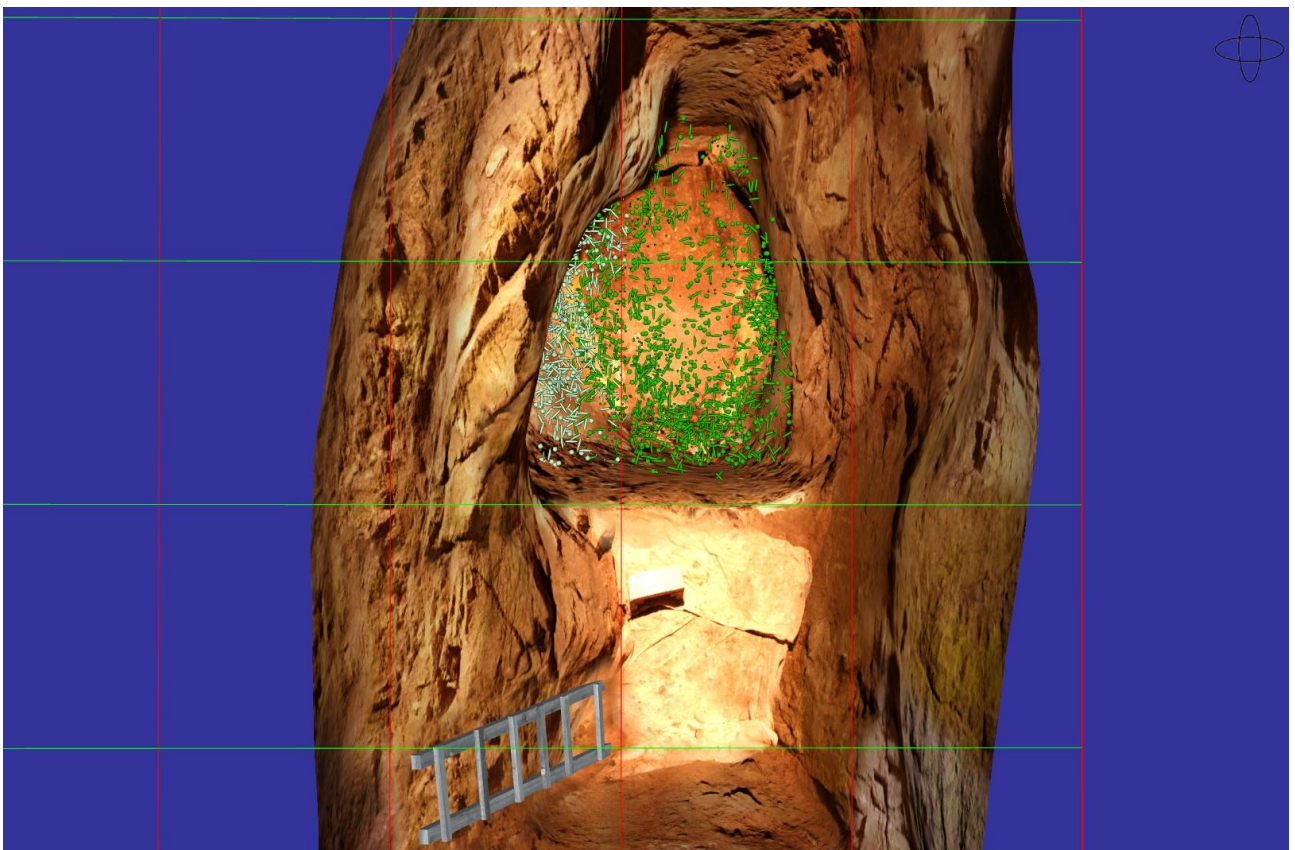


Рис. 26. Визуализация расположения находок, с наложенной координатной сеткой.

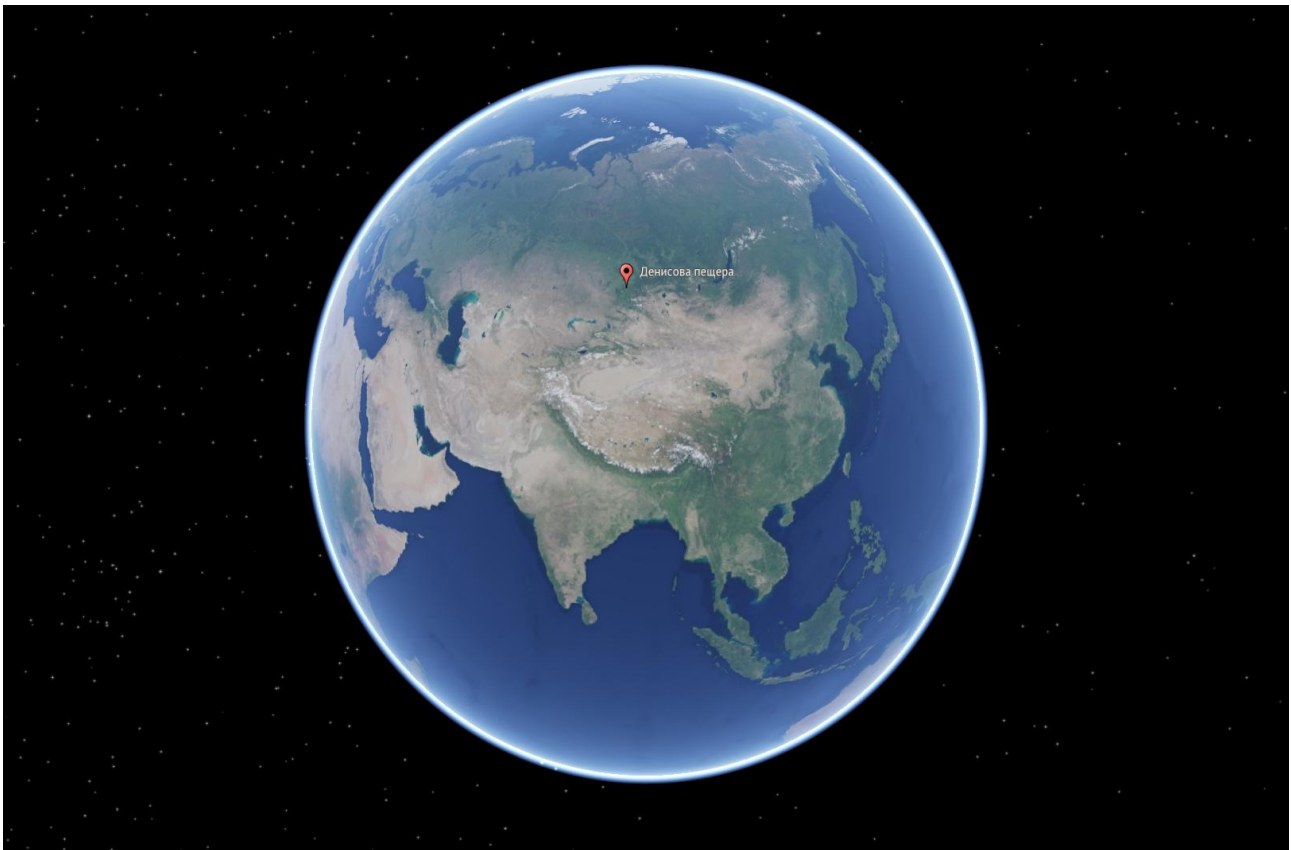


Рис. 27. Визуализация местоположения пещеры на виртуальном глобусе (окно «Глобус»).

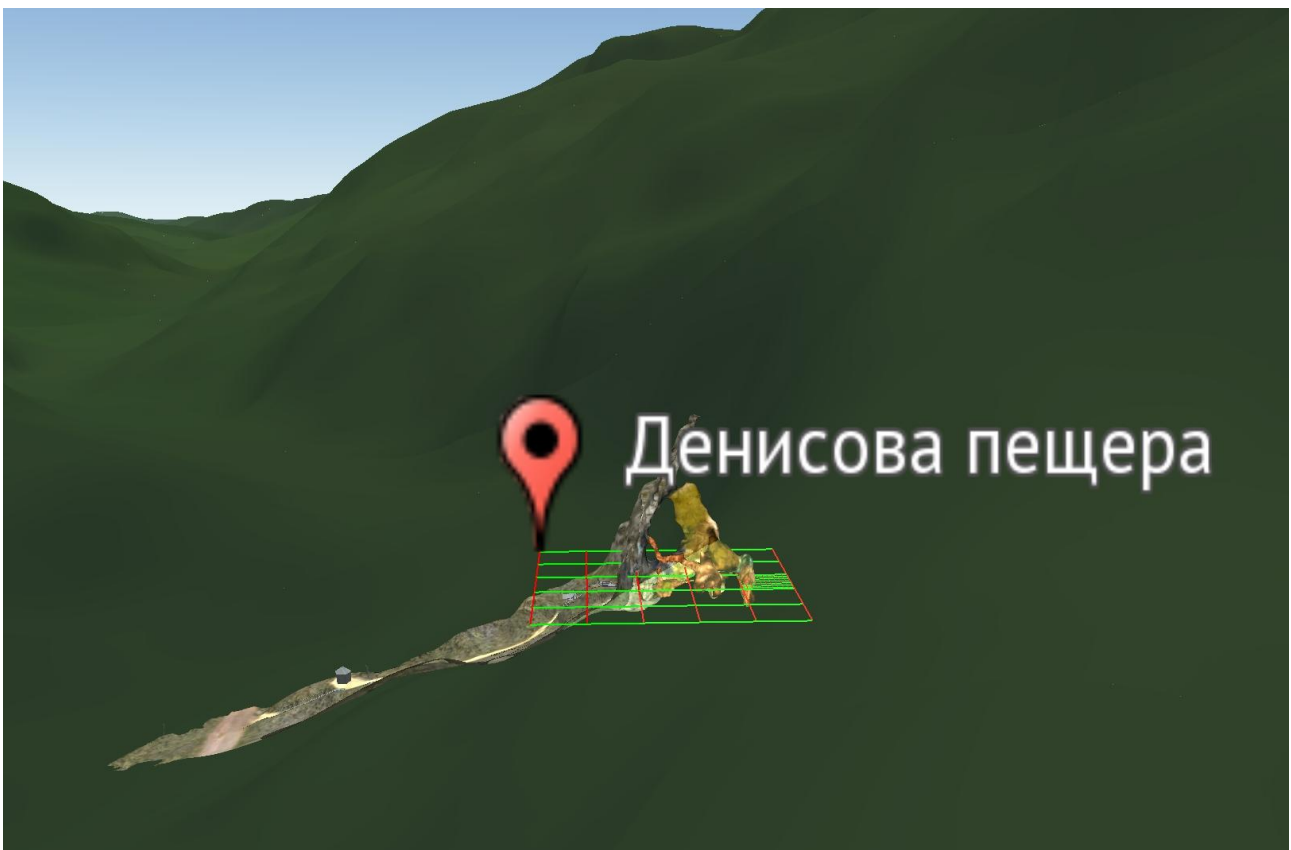


Рис. 28. Визуализация местоположения пещеры в окружающей местности (окно «Глобус»).

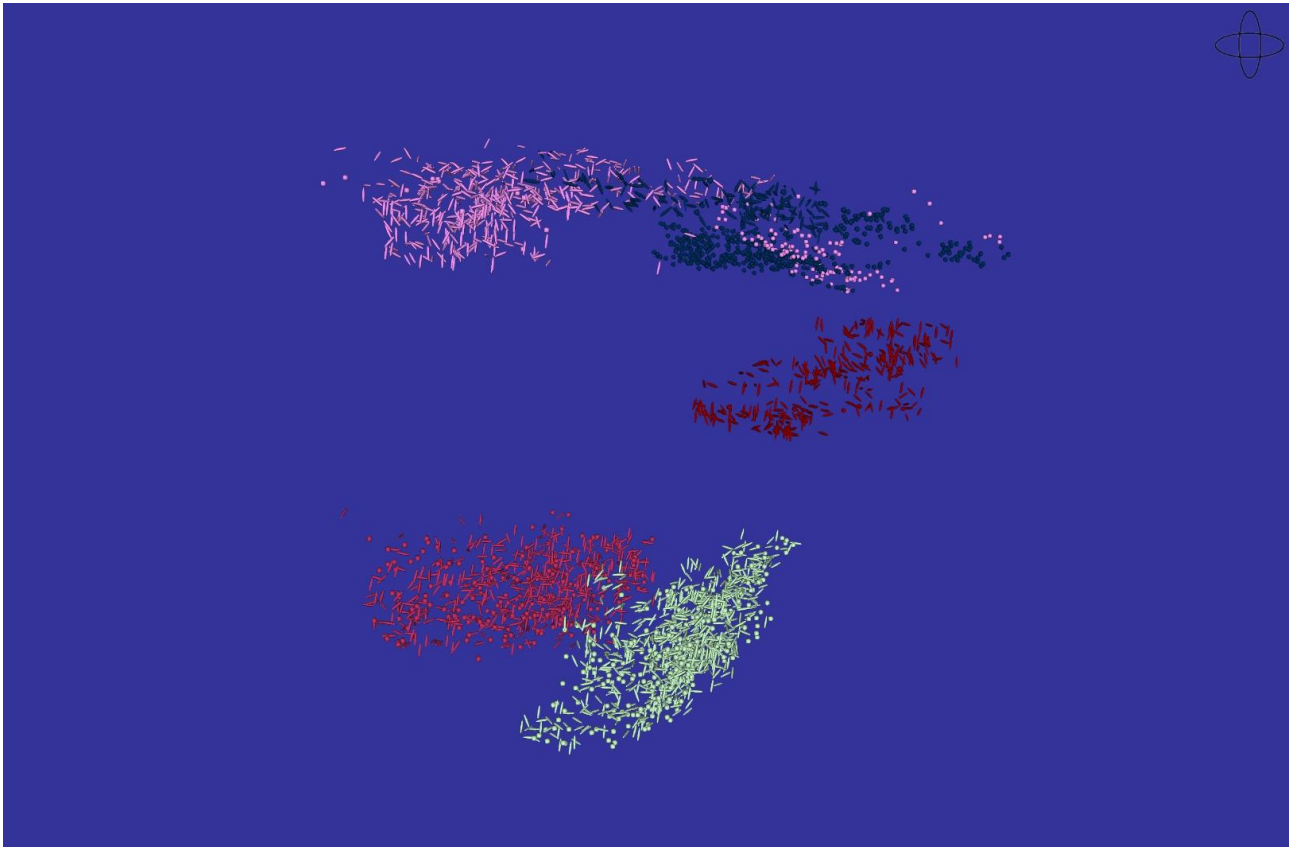
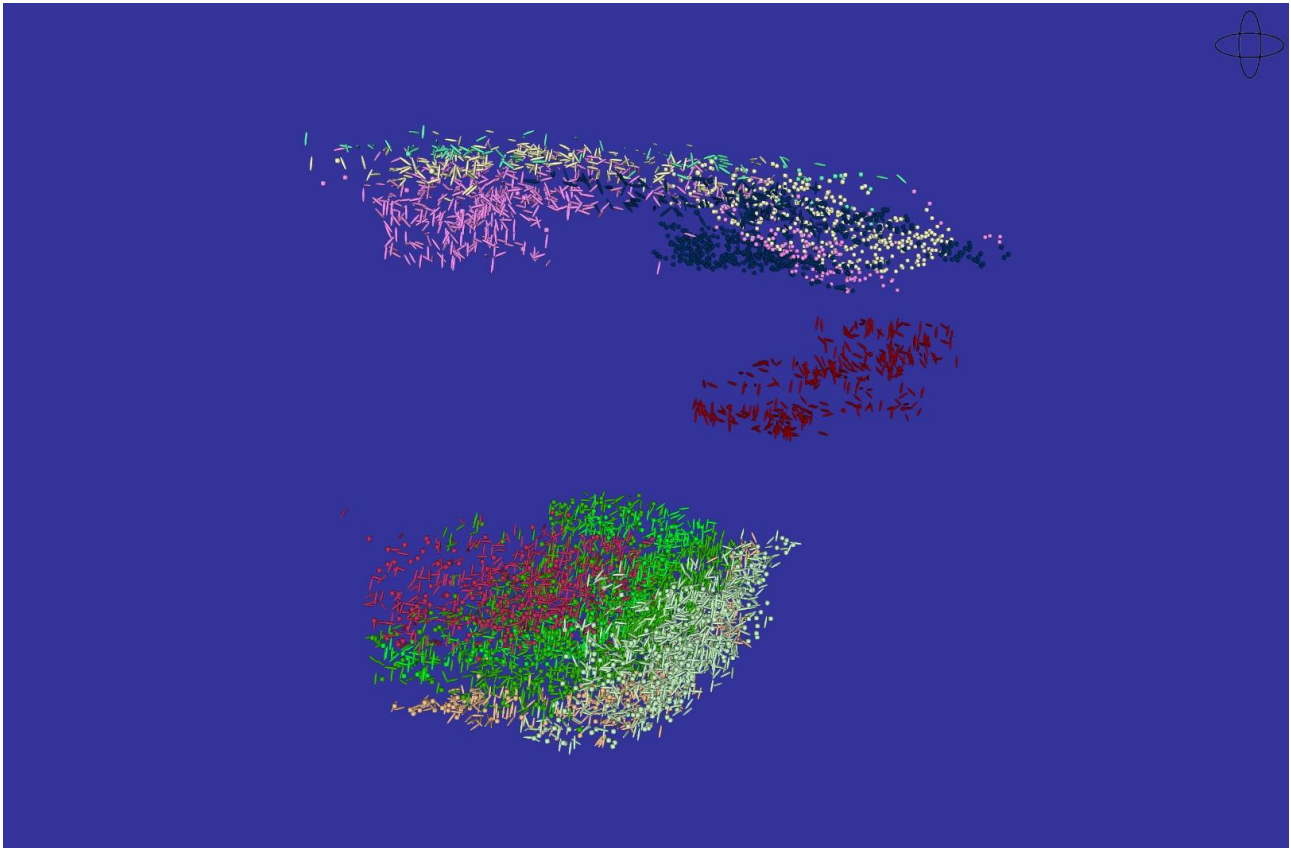


Рис. 29-30. Визуализация местоположения находок в отдельном окне («Облако находок»), с независимой фильтрацией по различным параметрам (по горизонту, по типу находки, по важности находки).

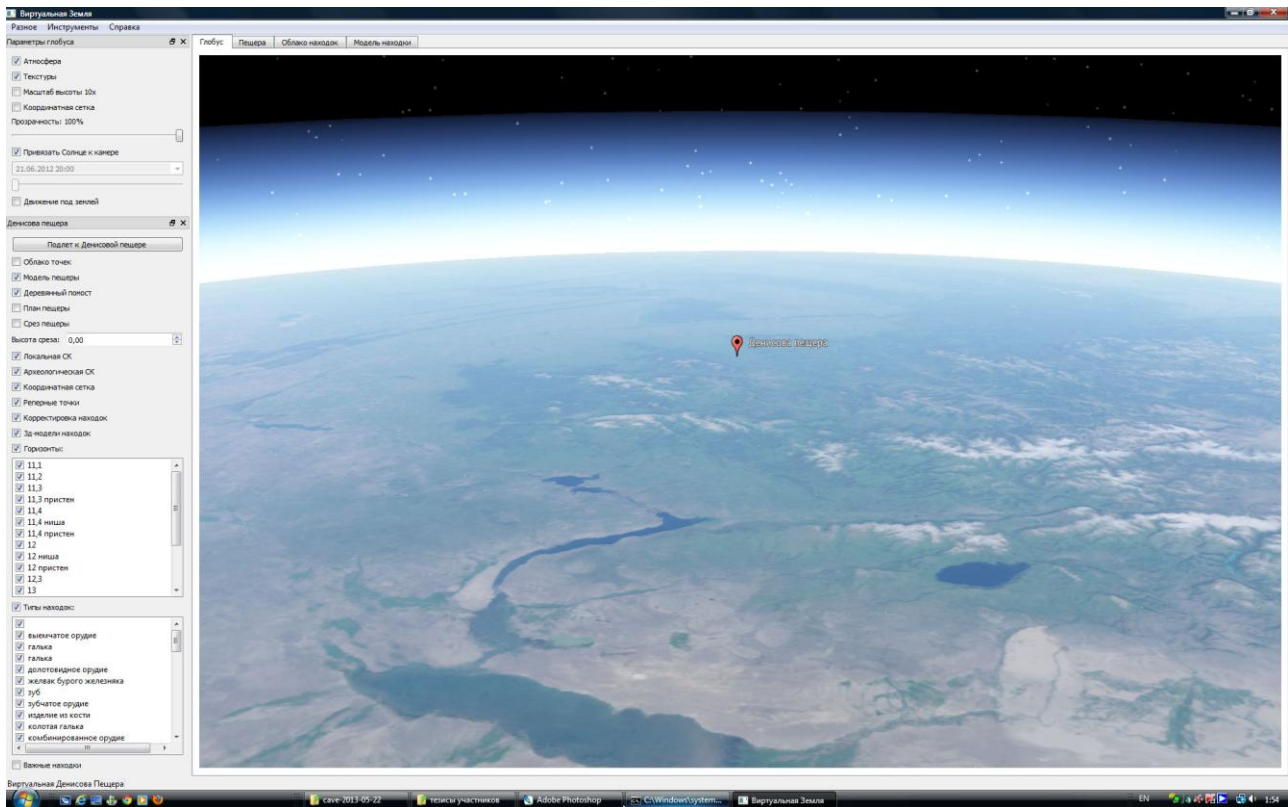


Рис. 31. Интерфейс презентации, окно «Глобус».

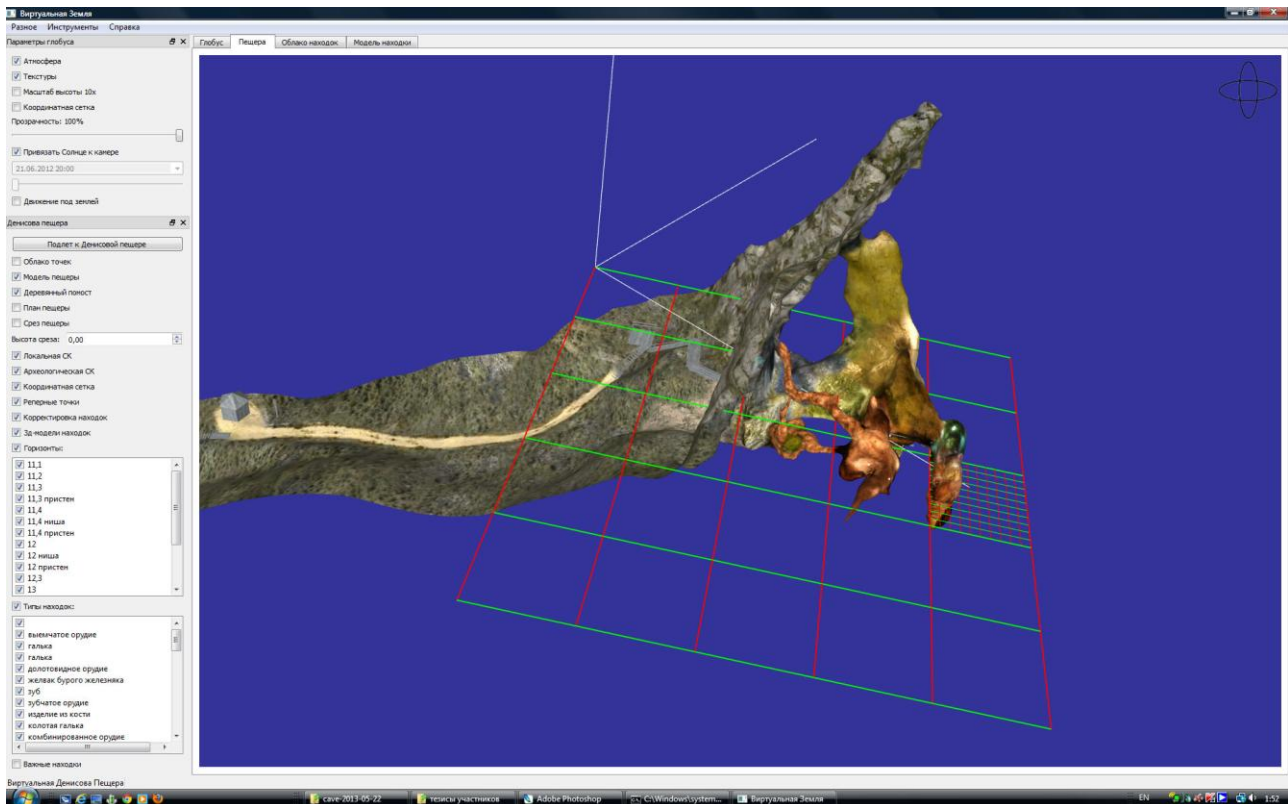


Рис. 32. Интерфейс презентации, окно «Пещера».

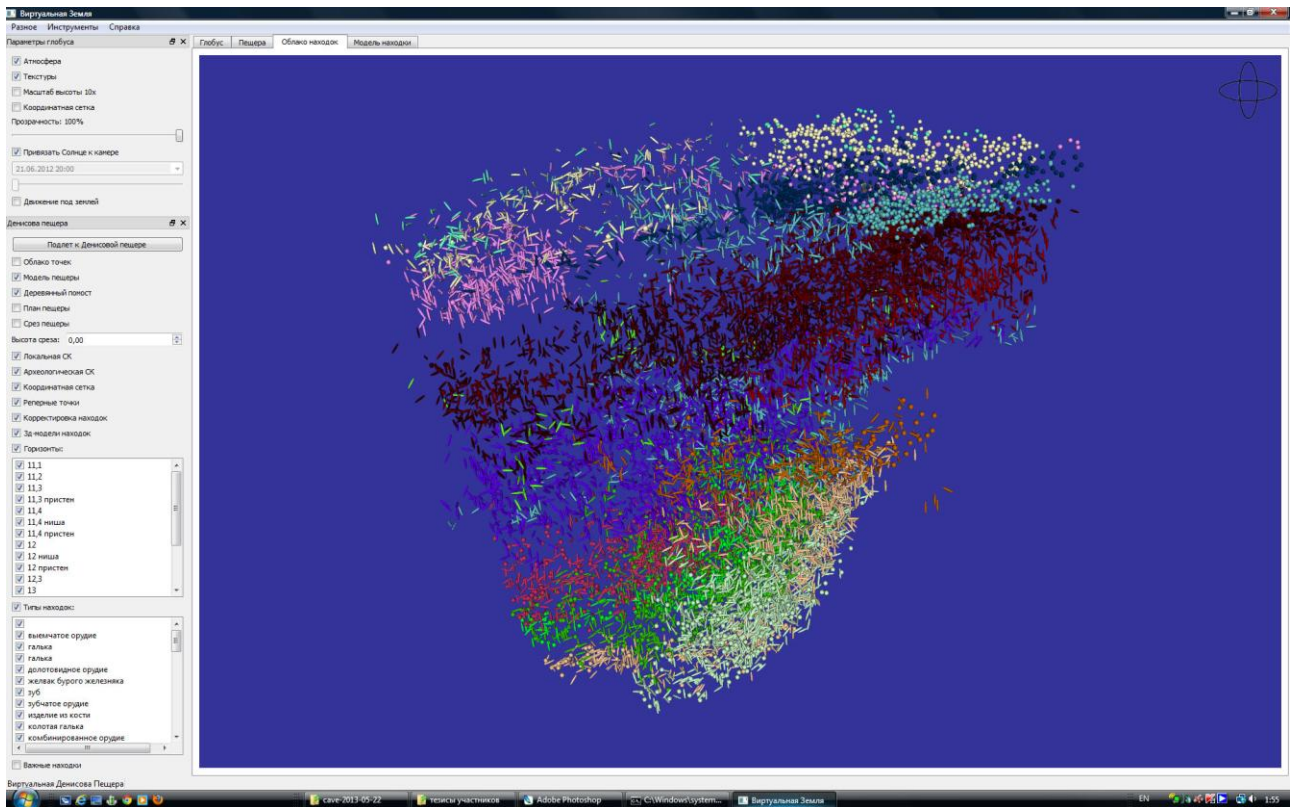


Рис. 33. Интерфейс презентации, окно «Облако находок».

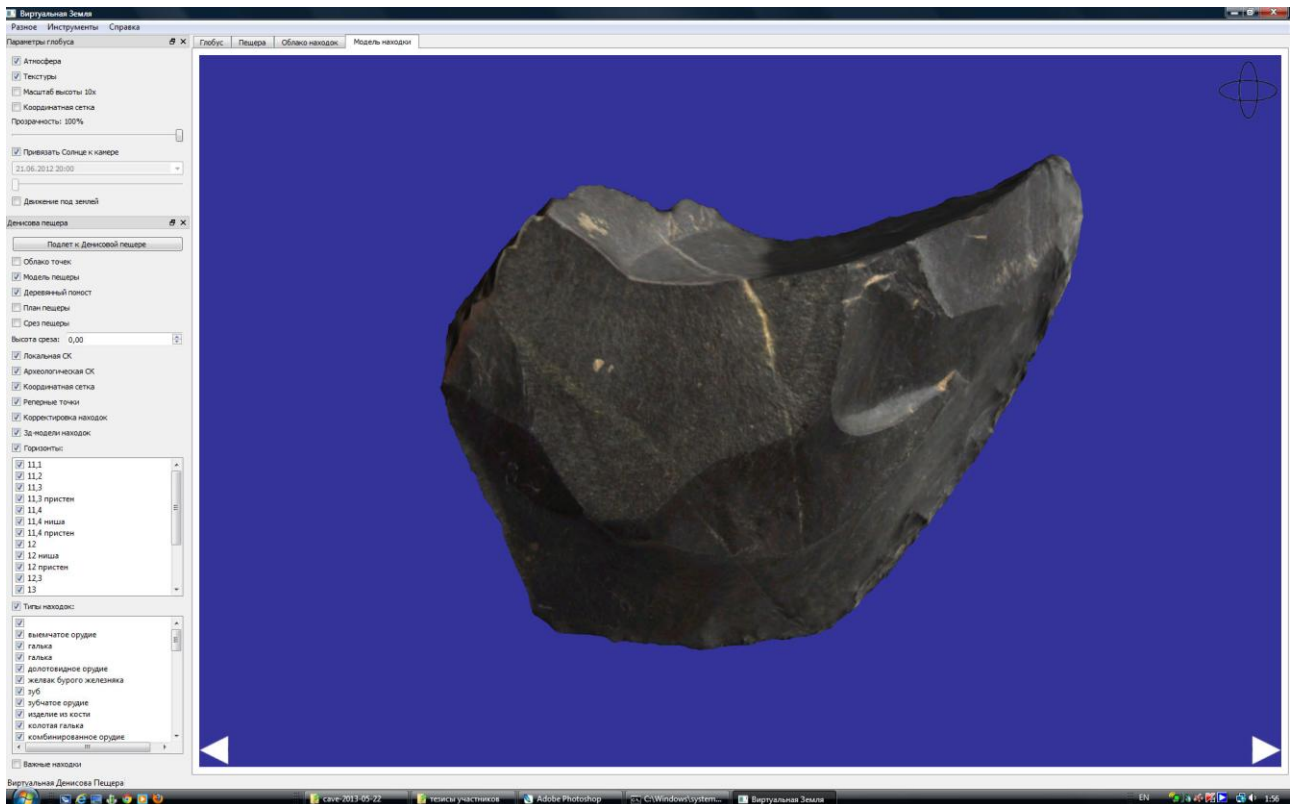


Рис. 34. Интерфейс презентации, окно «Модель находки».