

УДК: 502.3

**ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ,
ГИС-АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ
НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОГО АКАДЕМГОРОДКА**
**Н. Н. Добрецов, И. Д. Зольников, Н. В. Глушкива, В. А. Лямина,
К. С. Соколов, Н. И. Макунина, В. В. Смирнов, Д. В. Пчельников**

**TECHNOLOGIES OF NATURAL-ANTHROPOGENIC ECOSYSTEMS COMPUTER MAPPING AND
MODELLING (THE EXAMPLE OF NOVOSIBIRSK ACADEMGORODOK)**

*N. N. Dobretsov, I. D. Zolnikov, N. V. Glushkova, V. A. Lyamina,
K. S. Sokolov, N. I. Makunina, V. V. Smirnov, D. V. Pchelnikov*

Для Новосибирского Академгородка создана база геоданных, включающая основные природные и техногенные объекты территории. Предложена комплексная методика картографирования и моделирования мозаичных природно-антропогенных экосистем с использованием методов ГИС и ДЗ.

The geodatabase, including the territory's main natural and technogenous objects, has been created for Novosibirsk Academgorodok. The complex methodics for mapping and modeling of mosaic natural-anthropogenic ecosystems with GIS and RS is suggested.

Ключевые слова: природно-антропогенная система, база геоданных, гетерогенные ландшафты.

Keywords: natural-anthropogenic system, geodatabase, heterogenous landscapes.

Характерной чертой Новосибирского Академгородка является диффузная застройка, «основой которой является взаимопроникновение жилых и рабочих кварталов и больших массивов нетронутых природных насаждений» [6], что позволяет называть его экополисом в современном его понимании по [2]. Таким образом, город-лес или экополис по [2] представляет собой гетерогенную природно-антропогенную систему, для которой присуще мозаичное пространственное распределение разных типов ландшафта. Поэтому для исследования экосистем Академгородка используется комплексная технология геоинформационного моделирования сложных природно-антропогенных систем, которая разработана на основе технологии выделения гетерогенных природно-территориальных комплексов (ПТК) [4, с. 126 – 131]. Это позволяет не только картографировать, но и оценивать вклад различных типов природных и антропогенных объектов (в зависимости от их процентного соотношения) в ПТК. Кроме того, с использованием разработанной технологии возможно проводить моделирование изменений пространственной структуры природно-антропогенных экосистем.

Создание базы геоданных

На первом этапе формирования базы геоданных создавалась географическая основа (подложка) ГИС для изучаемой территории. В качестве такой основы выбраны снимки высокого разрешения Quickbird и детальные топографические материалы масштаба 1:10000. Для разрешения противоречия между требованиями секретности и требованиями детальности исследований была произведена перекодировка геоданных на снимок среднего разрешения Landsat (рис. 2.1), что позволило получить искажение абсолютной геопривязки тематических слоёв с сохранением относительных пропорций и расстояний внутри выбранного участка исследований. Космоснимки высокого разрешения разделены на равные фрагменты (фрэймы – frame), каждый из которых покрывает территорию 2 x 2 км. Общее покрытие состоит из 100 фрэймов (10x10 фрагментов). По космоснимкам Quickbird проведена векторизация ряда объектов. В их числе: 1) транспортные коммуникации: асфальтовые и грунтовые дороги, пешеходные и велосипедные дорожки, асфальтированные площадки и т. п. (полигональный слой); 2) строения: жилые, хозяйствственные, административные и другие здания (полигональный слой); 3) гидрография: Новосибирское водохранилище, озера, старицы, пруды, протоки, реки и ручьи (полигональный слой); 4) улицы и основные транспортные магистрали (линейный слой); 5) растительность (полигональный слой); 6) зонирование территории по функциональному значению (полигональный слой); 7) изолинии высот (линейный слой). В результате получен набор тематических слоев (как векторных, так и растровых), составляющих географическую основу ГИС.

После выполнения работ по векторизации следовал этап по наполнению объектов базы геоданных атрибутивной информацией. Классификация объектов и дополнительная атрибутивная информация необходима для пространственного анализа (построения плотностных сеток и определения антропогенной нагрузки на территорию). Исходные данные – изолинии высот были оцифрованы по схеме масштаба 1:10000. Эти данные были проверены топологически. По космическим снимкам был оцифрован слой полигональной гидрографии (Новосибирское водохранилище, озера, старицы, пруды, протоки) и заполнена атрибутивная информация абсолютной высоты. Была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) Академгородка и прилегающей территории. ЦМР позволяет не только четко позиционировать наблюдения по абсолютным отметкам, автоматически строить геоморфологические профили, но и создавать различные модели местности, ориентированные на решение экологических задач. Созданная географическая основа для ЭКОГИС АКАДЕМГОРОДКА далее передавалась тематическим специалистам: геологам, почвоведам, ботаникам, зоологам в виде тематических векторных и растровых слов для программных пакетов ARCVIEW и ARCGIS. Для хранения географических данных и работы с ними используется файловая база геоданных ArcGIS 9.3. Этот формат имеет ряд преимуществ по сравнению с персональной базой геоданных и шейп-файлами. Общий размер файла с данными и файла-проекта – около 10 МБ.

В случае если тематические специалисты работают с ArcGIS более ранних версий или с другими ГИС – возможен экспорт из базы геоданных практически в любой ГИС-формат. Актуальные данные располагаются на сервере в виде WMS (Web Map Services) и доступны как для просмотра в браузере, так и для добавления слоев в карту любой ГИС, которая может работать с WMS-слоями. Для демонстрационных целей возможно создание электронной карты в виде исполняемого файла (*.exe), состоящего из программной оболочки (просмотрщика) и собственно электронной карты. С такой электронной картой можно работать на компьютерах под управлением Windows или на мобильных устройствах под управлением Windows Mobile и Apple iOS. При этом данные защищены от несанкционированного распространения. Доступ пользователей к пространственной информации также может регулироваться установкой пароля и ограничением времени использования карты. Получившийся файл можно пересыпать по электронной почте, добавлять в презентации, выкладывать на сайт для скачивания, распространять на CD и других электронных носителях. Для использования такой электронной карты не требуется какого-либо дополнительного программного обеспечения или специальных навыков ГИС-специалиста. Электронная карта Академгородка (с растром) занимает примерно 200 МБ.

Кроме того, на территорию Новосибирского Академгородка разработан ГИС-атлас, доступный через Интернет по протоколу WMS. Для полноценного описания территории недостаточно просто создания картографических материалов. Ко всем созданным данным необходимо заполнить соответствующие метаданные – описывающие данные, так например: авторство, права доступа, дата создания, доступные носители и пр. [5, с. 1 – 6]. Кроме того необходимо создание некартографических материалов, также описывающих эту территорию. В рамках работы по проекту проводится апробация созданного профиля метаданных, позволяющего описать сущность ГИС-атласа. Этот профиль в дальнейшем может быть использован для создания ГИС-атласа любой другой территории. ГИС-атлас предполагает три уровня иерархии: слой, карта и непосредственно атлас. Между картографическими сущностями возможны множественные связи: так карта может содержать несколько слоев, а один слой может входить в состав нескольких карт; атлас содержит несколько карт, а одна карта может входить в состав нескольких атласов. Кроме того ГИС-атлас может содержать и некартографические материалы – различные статьи, приложения и др., для которых, также как и для картографических материалов должны быть описаны метаданные. Благодаря тому, что используемый профиль метаданных основан на стандарте ISO:19115, данные подготовленного ГИС-атласа могут быть использованы и в других проектах, как построенных по той же технологии, так и любой другой системе, которая имеет механизм работы с метаданными поддерживающей стандарт ISO:19115 (например, российский портал «ГеоМета»).

В настоящее время по Академгородку подготовлены и доступны по протоколу WMS: почвенные карты, карты состояния лесов, ряд зоологических и экологических карт, а также целый ряд слоев описывающих территориальное деление и инфраструктуру Академгородка. Для всех этих ресурсов заполняются метаданные, для того чтобы регламентировать получение доступа к этим данным, а также осуществлять полноценный поиск по ресурсам. Помимо непосредственно метаданных для проекта Академгородок, не менее важным является инструмент создания web-картографических наборов, разработанный в ИГМ СО РАН. Еще одной немаловажной функцией работы со слоями разных серверов-источников является то, что склейка графических изображений и атрибутивных данных одновременно запрошенных слоев осуществляется непосредственно системой управления WMS ресурсами. Следующим этапом в разработке программного обеспечения по проекту Академгородка будет реализация открытых протоколов обмена метаданных для интеграции с различными каталогами РАН (например, с ГИС порталом разработанным ИВМ СО РАН).

Картографирование природных объектов

При картографировании лесного покрова Академгородка, использовался анализ и сопоставление двух космических снимков высокого разрешения QuickBird: позднеосеннего и летнего. Рассмотрим разработанную технологию картографирования на примере изучения лесной растительности Центрального Сибирского Ботанического сада СО РАН [3, с. 83 – 91]. Осенний снимок использовался для выделения хвойных деревьев, поскольку виды лиственных деревьев уже сбросили листву, а хвойные так и остались зелеными. Была разработана технология автоматической классификации снимка высокого разрешения для оценки плотности леса и количественного соотношения хвойных и лиственных пород деревьев. Технология состоит в проведении классификации космического снимка, конвертации результатов классификации в векторный формат и последующем построении плотностных сеток (рис. 1). При проведении классификации с обучением правилом максимального правдоподобия на осеннем снимке были выделены площади распространения хвойного леса. Полученный класс конвертировался в векторный слой, показывающий распределение и сомкнутость хвойных деревьев в изучаемых лесах. На летнем снимке лиственные и хвойные виды деревьев располагаются близко в пространстве спектральных признаков и тяжело поддаются распознаванию методами автоматической классификации. Однако этот снимок отражает реальную картину распространения и сомкнутости лиственных деревьев в лесах Академгородка, в то время как характеристики их сомкнутости на позднеосенних снимках получаются сильно заниженными. Вектор, полученный на основе классификации летнего снимка методом максимального правдоподобия, представлен кронами как лиственных, так и хвойных деревьев. Для того чтобы выделить из вектора крон всего леса лиственные и хвойные деревья проводилась оверлейная операция. Для этого векторный слой хвойных пород деревьев, полученный на основе осеннего снимка, наложили на векторный слой всего леса летнего снимка. Объединив пашни, залежи, газоны, дороги и тени в один класс и распределив леса между разными видами деревьев, мы получили три типа объектов: кроны хвойных деревьев, кроны лиственных деревьев и открытые пространства. Для того, чтобы разделить вектор проекции крон всего леса на лиственные и хвойные деревья, проводилась оверлейная операция. Для этого вектор проекции крон хвойных деревьев, полученный на основе осеннего снимка, наложили на вектор всего леса и получили местоположение хвойного леса. Затем были построены серии плотностных схем (с шагом сетки 2,5 м и радиусом окна 50 м), отражающие проекции крон летнего леса, леса по соотношению хвойных и лиственных пород.



Рис. 1. Технологическая схема построения схем густоты и породного соотношения леса

Анализ векторных слоев показал, что большая часть лесов ботанического сада характеризуется средней сомкнутостью, что подтверждается полевыми исследованиями. При анализе породного состава лесов выяснилось, что разные сочетания пород занимают различные площади (таблица 1). Так, например, сомкнутые хвойные и лиственно-хвойные леса на изученной территории отсутствуют. Здесь же отметим, что сомкнутые хвойно-лиственные и лиственные леса в сумме не превосходят 0,9 % площади территории. На территории ботанического сада преобладают лиственные леса средней сомкнутости (68,7 %), на долю хвойно-лиственных лесов средней сомкнутости приходится 9,4 % территории, разреженных лиственных – 9 %.

Таблица 1

Площади распространения различных типов лесных сообществ леса ботанического сада в зависимости от густоты (в процентах от общей площади)

Типы лесных сообществ	Отдельно стоящие деревья (0 – 20 %)	Разреженный лес (20 – 40 %)	Нормальный лес (40 – 70 %)	Густой лес (70 – 100 %)
Хвойный	0,013	0,15	0,42	0
Хвойно-лиственний	0,41	2,5	9,4	0,001
Лиственno-хвойный	0,09	0,6	1,8	0
Лиственный	6,15	9,03	68,7	0,86

Аналогичный подход был использован для картографирования других лесных участков территории Академгородка и его ближайшего окружения.

Моделирование природно-антропогенных территориальных комплексов

Для анализа мозаичных природно-антропогенных экосистем Академгородка и его ближайшего окружения использована комплексная технология геоинформационного моделирования сложных природно-антропогенных систем, которая разработана на основе технологии выделения гетерогенных природно-территориальных комплексов (ПТК) (Зольников И. Д. и др., 2010). При создании базы геоданных были выделены основные природные (леса) и антропогенные (застройка, автомобильные и железные дороги, тропинки и т. п.) составляющие ПТК Академгородка. Антропогенные объекты расклассифицированы по степени воздействия на окружающую среду (База нормативной документации). Природные объекты получены в результате классификации космических снимков высокого разрешения. На следующем этапе строятся плотностные схемы для каждого типа элементарного ПТК. Шаг сетки в каждом конкретном случае определяется пространственным разрешением обрабатываемого космического снимка, а радиус скользящего окна подбирается эмпирически в соответствии с функциональным масштабом карты. Были приняты следующие категории дорог/зданий и их воздействие на окружающую среду (таблицы 2).

Таблица 2

Коэффициенты воздействия дорог на окружающую среду

Объект	Категории воздействия	1	2	3	4
Дороги федерального значения					250 м
Дороги с интенсивностью более 2000 ед/сутки, железная дорога				120 м	
Дороги с интенсивностью менее 2000 ед/сутки			50 м		
Тропинки, велосипедные дорожки	10 м				
Здания с этажностью от 1 до 3	10 м				
Здания с этажностью от 4 до 8		50 м			
Здания с этажностью от 9 до 16			120 м		

Для отображения схем рабочего масштаба 1:25000 целесообразно строить плотностные сетки с радиусом 100 м. Для создания более генерализованных схем можно использовать радиус 250 метров. Шаг сетки везде равен пространственному разрешению снимка QuickBird и составляет 2,4 м. Полученный полигональный векторный слой был конвертирован в точечный, по которому были построены 2 плотностные схемы с коэффициентами категорий влияния (от 1 до 4) и с коэффициентами зоны воздействия (от 10 до 250).

После сравнения плотностных сеток было решено использовать сетку техногенной нагрузки с коэффициентом зоны воздействия (от 10 до 250 м). Затем она была нормирована на значение, равное 100 % заполнению скользящего окна объектами с коэффициентом воздействия 100 м. В физическом смысле такое плотностное значение соответствует территории, которая полностью занята дорогами и зданиями третьей категории. Также была построена сетка по вектору растительности с радиусом 100 м и нормирована на максимальное значение, т. е. на значение, соответствующее 100 % заполнению скользящего окна лесной растительностью. Полученные сетки были классифицированы методом Natural Brakes (Jenks), в результате чего в их пределах были выделены статистические обусловленные зоны, контрастные по типовым значениям. Метод Natural Brakes был выбран потому, что в нем границы классов определяются в тех местах гистограммы, где имеется резкий перепад между группами значений. При этом образуются интервалы, ко-

торые лучше всего группируют близкие значения и максимизируются различия между классами. Древесная растительность и техногенная нагрузка были разделены на 4 группы. По степени техногенного воздействия выделены группы с отсутствием техногенной нагрузки, со слабой нагрузкой, со средней нагрузкой и с сильной техногенной нагрузкой. Древесная растительность была разделена на отдельно стоящие деревья, разреженный лес, нормальный лес и густой лес. На следующем шаге полученные сетки конвертировались в вектор и проводились оверлейные операции по совмещению техногенной застройки и древесной растительности. Поскольку класс с редкой растительностью и средней техногенной нагрузкой небольшой по площади то он был объединен с классом с редкой растительностью и слабой техногенной нагрузкой. Так же классы с густым лесом и сильной и средней техногенной нагрузкой были объединены соответственно с классами с нормальным лесом и средней и сильной техногенной нагрузкой. На рисунке 2 представлена интегральная схема растительности и застройки, а в таблице 3 приведены процентное содержание различных комбинаций.

Созданная база данных и ГИС-атлас Новосибирского Академгородка является основой для дальнейшего мониторинга и моделирования природно-антропогенных экосистем территории. Это позволяет получить доступ через Интернет к различным тематическим данным специалистам различного профиля. Предлагаемая комплексная технология моделирования гетерогенных ландшафтов позволяет не только картографировать их, но и количественно оценивать степень влияния антропогенных систем на природную среду. Кроме того, созданная база позволяет проводить ретроспективное и прогнозное моделирование природно-антропогенной системы, а также является основой для дальнейшего мониторинга и планирования развития территории.

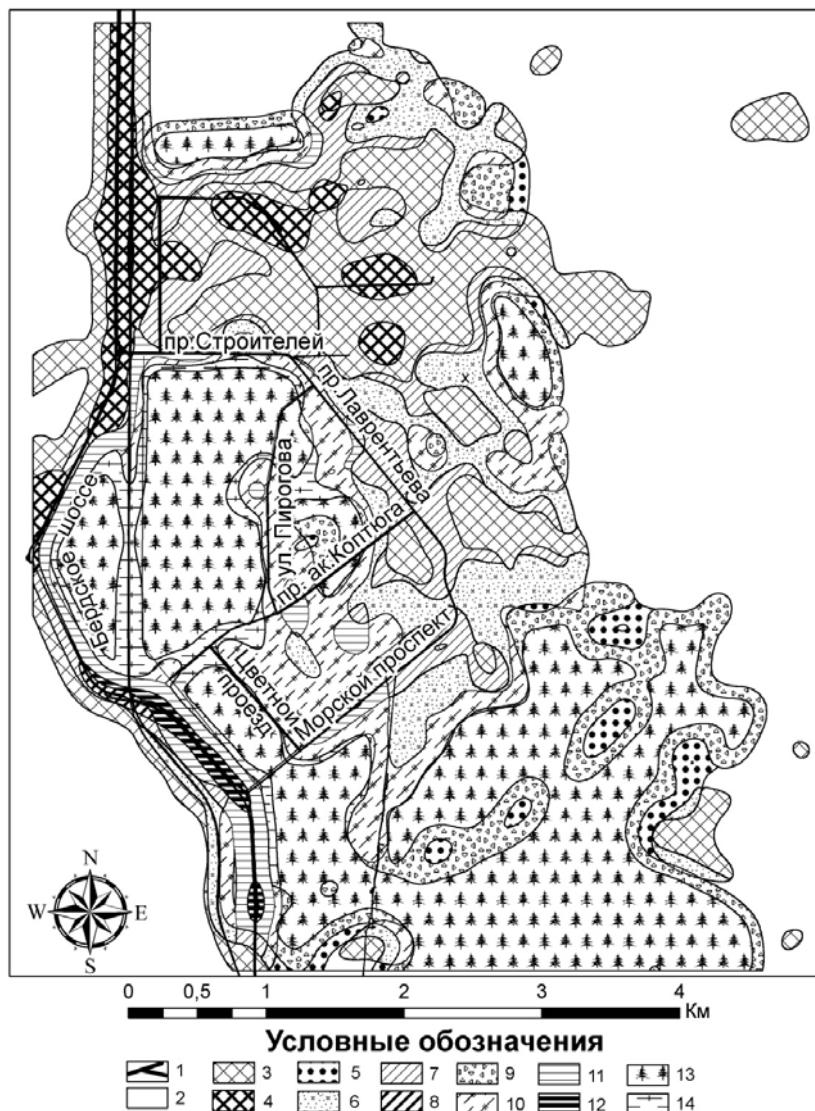


Рис. 2. Интегральная схема древесной растительности и техногенной застройки

Условные обозначения: 1 – дороги, 2 – пустыри, 3 – участки со средним техногенным воздействием и отдельными деревьями, 4 – Участки с сильным техногенным воздействием и отдельными деревьями, 5 – разреженный лес без техногенного воздействия, 6 – разреженный лес со слабым техногенным воздействием, 7 – разреженный лес со средним техногенным воздействием, 8 – разреженный лес с сильным техногенным воздействием, 9 – нормальный лес без техногенного воздействия, 10 – нормальный лес со слабым техногенным воздействием, 11 – нормальный лес со средним техногенным воздействием, 12 – нормальный лес с сильным техногенным воздействием, 13 – густой лес без техногенного воздействия, 14 – густой лес со слабым техногенным воздействием.

Таблица 3

**Природно-территориальные комплексы, выделенные в зависимости
от соотношения площади распространения различных типов техногенной застройки
и древесной растительности (в процентах) для сетки радиусом 250 м**

	Отдельно стоящие деревья	Редкий лес	Нормальный лес	Густой лес
Нет техногенного воздействия	0,15	2,15	7,8	29,7
Слабое техногенное воздействие	17,3	9,85	10,1	3,85
Среднее техногенное воздействие	0	8,5	4	0
Сильное техногенное воздействие	5,6	0,3	0,7	0

Литература

- База нормативной документации: Руководство по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов дорожного хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru>.
- Владимиров, В. В. Урбоэкология Курс лекций / В. В. Аладимиров. – М.: МНЭПУ, 1999. – 204 с.
- Картографирование лесных массивов Центрального сибирского ботанического сада / Н. В. Глушкова, И. Д. Зольникова, В. А. Лямина [и др.] // Вестник НГУ. – 2010. – Т. 8. – № 3.
- Зольников, И. Д. Комплексная технология картографирования и мониторинга гетерогенных ландшафтов / И. Д. Зольников, В. А. Лямина, А. Ю. Королюк // География и природные ресурсы. – 2010. – № 2.
- Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации // Геодезия и картография. – М., 2006. – № 10.
- Природа Академгородка: 50 лет спустя / отв. ред. И. Ф. Жимулев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 250 с.

Информация об авторах:

Добрецов Николай Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Института геологии и минералогии СО РАН, т. 8(383) 335-62-79, dnn@igm.nsc.ru.

Dobretsov Nikolay Nikolaevich – Candidate of Geology and Mineralogy, Head of the Laboratory at the Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS.

Зольников Иван Дмитриевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Российской академии наук Института геологии и минералогии СО РАН, т. 8(383) 335-62-79, e-mail: zol@igm.nsc.ru.

Zolnikov Ivan Dmitrievich – Candidate of Geology and Mineralogy, senior researcher at the Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS.

Глушкова Надежда Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН, т. 8(383) 335-62-79, hope@igm.nsc.ru.

Glushkova Nadezhda Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, researcher at the Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS.

Лямина Виктория Александровна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Российской академии наук Института геологии и минералогии СО РАН, т. 8(383) 335-62-79, balandis@igm.nsc.ru.

Lyamina Viktoriya Alexandrovna – Candidate of Geology and Mineralogy, researcher at the Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS.

Соколов Константин Сергеевич – научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН, т. 8(383) 335-62-79, sokolov@dataeast.ru.

Sokolov Konstantin Sergeevich – researcher at Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS.

Макунина Наталья Ивановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН, т. 8 (383) 335-62-79, natali.makunina@mail.ru.

Makunina Natalia Ivanovna – Candidate of Biology, senior researcher at the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the RAS.

Смирнов Валентин Валентинович – инженер-исследователь Института вычислительных технологий СО РАН, т. 8(383) 335-62-79, valentin@ict.nsc.ru.

Smirnov Valentin Valentinovich – research engineer at the Institute of Computational Technologies of the Siberian Branch of the RAS.

Пчельников Денис Владимирович – ведущий инженер Института геологии и минералогии СО РАН, т. 8(383) 335-62-79, denmail@ngs.ru.

Pchelnikov Denis Vladimirovich – leading engineer at the Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS.