

УДК 622.83:528.946

Панжин Андрей Алексеевич

кандидат технических наук,
ученый секретарь,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: panzhin@igduran.ru

Мазуров Борис Тимофеевич

доктор технических наук,
профессор кафедры физической геодезии
и дистанционного зондирования,
Сибирский государственный университет
геосистем и технологий,
630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10
e-mail: btmazurov@mail.ru

Силаева Анастасия Алексеевна

аспирант кафедры физической геодезии
и дистанционного зондирования,
Сибирский государственный университет
геосистем и технологий,
e-mail: silaeva_91@mail.ru

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ
ПО ДАННЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ***Аннотация:*

Рассмотрены примеры визуализации характеристик деформационных полей по данным натурных геодезических наблюдений на Качканарском горнообогатительном комбинате (ГОК) (г. Качканар, Свердловская обл.). Визуально деформационные характеристики могут быть представлены как слои в ГИС, тем самым облегчается процесс экспертной оценки исследуемого геодинамического объекта и последующей выработки оптимальных организационных решений по обеспечению промышленной безопасности объекта недропользования.

Ключевые слова: деформации массива, геодезические наблюдения, смещения и деформации, визуализация, мониторинг

Panzhin Andrey A.

candidate of technical sciences,
science secretary,
The Institute of Mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
Mamin-Sibiryak st., 58
e-mail: panzhin@igduran.ru

Mazurov Boris T.

doctor of technical sciences,
professor of the department
of physical geodesy and remote sensing,
Siberian state University
of geo-systems and technologies,
630108, Novosibirsk, Plakhotny st., 10
e-mail: btmazurov@mail.ru

Silaeva Anastasiya A.

post graduate student of the department
of physical geodesy and remote sensing,
Siberian state University
of geo-systems and technologies
e-mail: silaeva_91@mail.ru

**VISUALIZATION THE DEFORMATION
FIELDS FEATURES ACCORDING TO DATA
OF GEODETIC OBSERVATIONS***Abstract:*

Several examples of visualization the deformation fields features according to geodetic observations in Kachkanarsky integrated works (GOK) (Kachkanar, Sverdlovsk region) are viewed. They can be further represented as layers in a GIS, thereby facilitating the process of geodynamic object expert evaluation and subsequent development of optimal organizational solutions on providing industrial safety of subsurface object management.

Key words: rock mass deformation, geodetic observations, displacements and deformations, visualization, monitoring

Моделирование картографическими методами природных, техногенных, социально-экономических и экологических систем (геосистем) позволяет выявить многие необходимые для их анализа свойства и характеристики, в том числе скрытые закономерности их пространственного распределения. При этом многое зависит от успешного исследования, адекватного объекту и его компонентам: отображению, визуализации количественной и качественной пространственно-временной информации. Этим объясняется большое значение картографического метода для народного хозяйства в обеспечении всех видов научной, хозяйственной, образовательной, культурной, оборонной деятельности общества, включая задачи территориального управления и планирования, инженерного проектирования, строительства и освоения земель на всех уровнях.

Среди многих приложений тематического картографирования на современном этапе особую важность приобретают техногенные и экологические территориальные факторы (источники и характер воздействия на геосферу и биосферу, уровни загрязнения основных природных компонентов окружающей среды, особенности миграции ареалов загрязнения по территории и т. п.). В конечном счете, экологическое состояние территории обуславливает как общую концепцию хозяйственного использования территории, так и множество частных вопросов (развитие либо сокращение тех или иных отраслей промышленности, комфортность проживания населения, особенности рекреационного использования территории и пр.) [1].

На сегодняшний день в тематической картографии весьма эффективным средством наглядного и обобщенного представления экологической обстановки в пределах конкретной территории являются интегральные экологические карты, примером которых может служить созданная в Сибирском государственном университете геосистем и технологий экологическая карта для г. Новосибирска. Очень важную информацию и возможность реализации последующих обоснованных организационных решений дают цифровые карты для анализа радиационной обстановки.

При картографировании используются различные информационные источники, например аэрокосмические снимки, в частности, они были использованы при картографировании экзогенных геологических процессов региональных морфосистем [2]. Разнообразие видов и большие объемы информации о природных ресурсах предполагают использование и совершенствование геоинформационных систем.

Ниже рассмотрены примеры использования тематического картографирования при изучении геодинамических процессов как природного, так и техногенного происхождения. Тематические карты позволяют более качественно исследовать различные геодинамические системы в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф [3]. Для региональных геодинамических объектов это могут быть сейсмоактивные области [4 – 5] и зоны вулканизма [6 – 7].

Визуализация смещений точек земной поверхности [8] по результатам цикловых геодезических и гравиметрических измерений позволяет более обоснованно выделять активные геологические структуры, блоки, тектонические разломы. Это знание необходимо для прогнозирования мест возможных сейсмических событий и принятия соответствующих профилактических мер для обеспечения безопасности населения, промышленных объектов и др.

Масштабная разработка и эксплуатация месторождений полезных ископаемых вызывает изменение внутреннего состояния приповерхностного слоя земной коры. При добыче нефти и газа меняется внутрипластовое давление: добыча угля, полиметаллов и т. д. вызывает аналогичные явления, приводящие к горным ударам.

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых нарушение устойчивости бортов карьера приводит к аварийным ситуациям: оползневым процессам, разрушению транспортных магистралей, завалам дорогостоящей техники – и нередко сопровождается человеческими жертвами. При этом большую роль в устойчивости бортов карьера играет напряженно-деформированное состояние, изменяющееся как под воздействием техногенных факторов (выемки руды и породы), так и под влиянием природных факторов – современной геодинамической активности тектонических нарушений [9].

Поэтому в районах эксплуатации месторождений создаются техногенные геодинамические полигоны. На них проводятся регулярные комплексные наблюдения, в том числе геофизические и геодезические. Результатом многоцикловых геодезических измерений является определение смещений центров, реперов геодезической сети, развитой в пределах месторождений. Таким образом, по количественным данным возможно понимание деформационных полей, блоковой структуры и количественные характеристики их динамики.

Для визуализации характеристик деформационных полей использовались результаты определения смещений пунктов геодезической сети Качканарского горнообогатительного комбината (ГОК) (г. Качканар, Свердловская обл.) в 2010 и 2011 годах. Интерполяционная картина векторов горизонтальных движений на территории ГОКа представлена на рис. 1. Зеленым цветом изображена сеть конечных элементов, использованная совместно с величинами и направлениями пространственных векторов сдвижений как основа для дальнейших геометрических построений и деформационных расчетов.

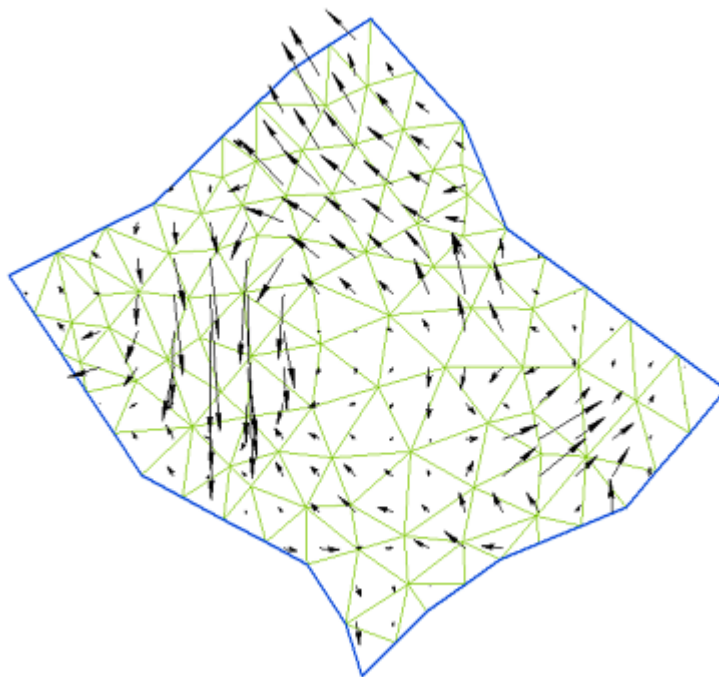


Рис. 1 – Векторы горизонтальных движений геодинамического полигона

Как видно из рисунка, наибольшие величины имеют векторы сдвижений, приуроченные к западной (Западный карьер) и северной (Северный карьер) частям исследуемого участка, несколько меньше величины векторов сдвижений на восточной границе (Главный карьер). Направления действия векторов согласованы между собой только в пределах областей, формирующих прибортовые массивы соответствующих карьеров.

В целом на участке четко выделяются три блока деформирования с различным характером пространственного распределения векторов сдвижений. При этом межблоковое пространство, в котором геодинамические движения имеют незначительные величины, является своеобразным водоразделом, разделяющим блоки с различным характером деформирования.

Изменение границы и формы сети конечных элементов, отражающее характер деформирования исследуемого участка, приведено на рис. 2.

Как и в предыдущем случае, достаточно четко выделяются три блока с деформированной конечноэлементной сетью, приуроченные к месту расположения карьеров Главный, Западный и Северный [10].

Полученные в результате инструментальных наблюдений векторы горизонтальных сдвижений с использованием математического аппарата механики сплошной среды преобразованы в тензорное представление деформационного поля с выделением главных компонентов тензора деформаций (рис. 3). Направления действия деформаций показаны стрелочками, синий цвет соответствует деформациям сжатия, красный – деформациям растяжения (депрессии).

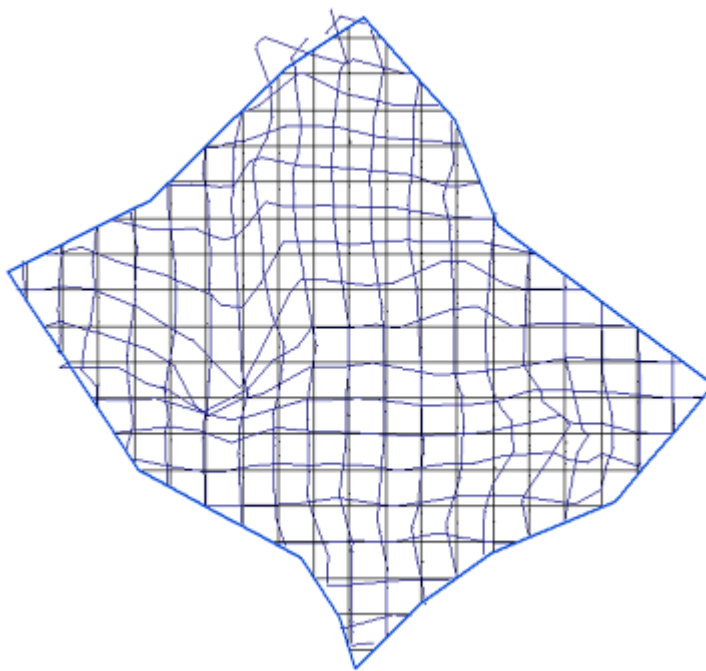


Рис. 2 – Изменение границы и формы сети конечных элементов

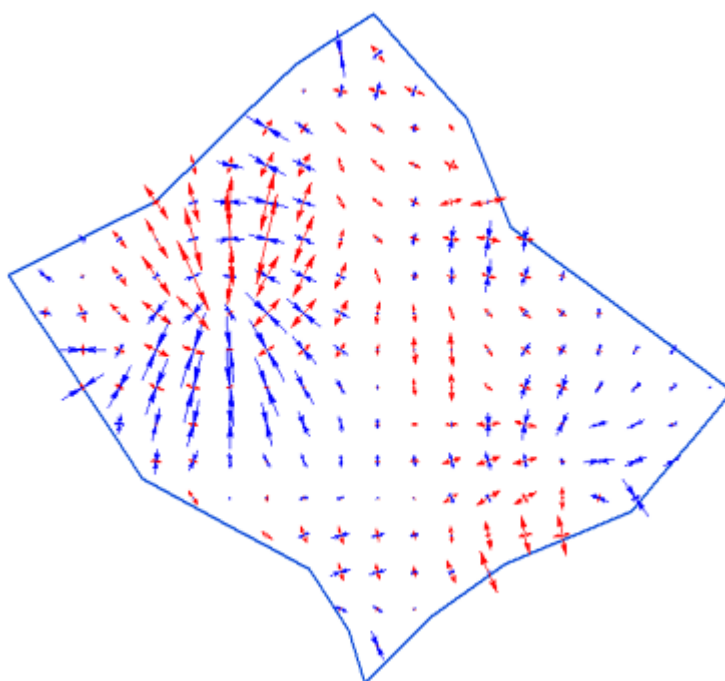


Рис. 3 – Визуализация тензоров горизонтальных деформаций

В большинстве случаев для тематического картографирования наиболее удобным является представление деформационных полей в виде градиентной заливки, цвет которой отражает как направление действий, так и амплитуду смещений и деформаций. Пример визуализации общих полей смещений, а также поля деформаций сдвига приведен на рис. 4. При этом как для каждой характеристики поля смещений (общее, широтное, меридиональное), так и для каждой характеристики поля деформаций (главные и их первый инвариант, сдвиговые и др.) может быть построено собственное графическое отображение.

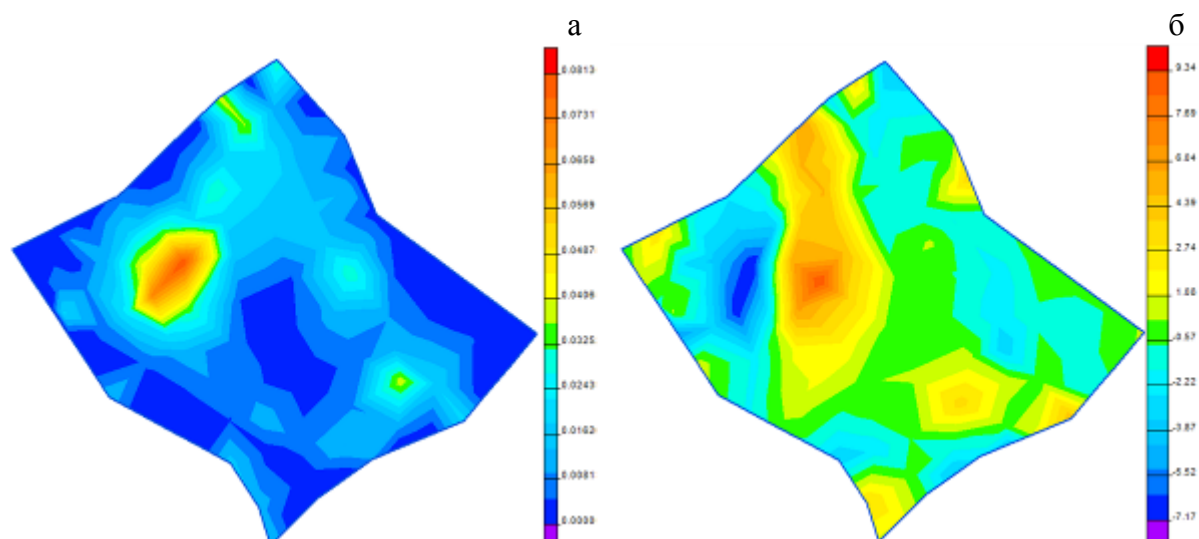


Рис. 4 – Пример визуализации полей смещений и деформаций:
а – общие перемещения δ (м); б – деформации сдвига γ_{xy} (10^{-5})

Визуализация полей вертикальных сдвижений и деформаций может быть выполнена в виде изолиний с градиентной заливкой, отражающих как направление действий, так и амплитуду смещений и деформаций, как показано на рис. 5. Альтернативными, в ряде случаев более наглядными методами является представление поля вертикальных смещений в виде теневой или сетевой (mesh) пространственных моделей.

В результате выполненной визуализации характеристик деформационных полей подтверждены первоначальные выводы о геодинамической ситуации на Качканарском ГОКе. На исследуемом участке представлены три области (кластера) деформирования. При этом пункты внутри каждого кластера, представленные узлами конечноэлементной модели, имеют сходные между собой характеристики физических полей горизонтальных смещений и деформаций. Картина вертикальных смещений также согласуется с ними.

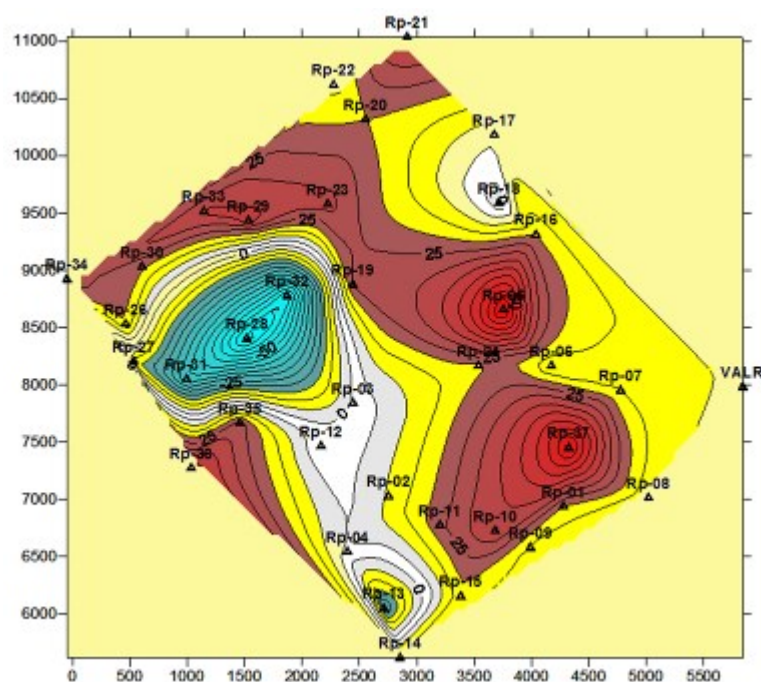


Рис. 5 – Визуализация вертикальных смещений в виде изолиний с градиентной заливкой

Таким образом, рассмотрены примеры визуализации характеристик деформационных полей по данным геодезических наблюдений, выполненных на Качканарском горнообогатительном комбинате. На основе полученных данных выполнена оценка напряженно-деформированного состояния массива в области влияния карьеров Качканарского ГОКа, установлена группировка векторов движений в кластеры, границы которых во многом совпадают с тектоническими структурами Гусевгорского месторождения. Поля деформаций могут быть далее представлены как векторные или растровые слои в ГИС, различных базах пространственной информации [11], тем самым облегчается процесс экспертной оценки исследуемого геодинамического объекта и последующей выработки оптимальных организационных решений по обеспечению промышленной безопасности.

Литература

1. Мазуров Б.Т. Интегральные экологические карты как инструмент исследования динамики экологической обстановки промышленного центра / Б.Т. Мазуров, О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2. – С. 88 – 91.
2. Мазуров Б.Т. Использование аэрокосмических снимков в картографировании экзогенных геологических процессов морфосистем «Байкальской горной страны» / Б.Т. Мазуров, Л.А. Пластинин, В.П. Ступин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4. – С. 113 – 117.
3. Мазуров Б.Т. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф / Б.Т. Мазуров, В.К. Панкрушин, В.А. Середович // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. – 2004. – № 9. – С. 30 – 35.
4. Мазуров Б.Т. Некоторые примеры определения вращательного характера движений земных блоков по геодезическим данным / Б.Т. Мазуров // Геодезия и картография. – 2010. – № 10. – С. 58 – 61.
5. Мазуров Б.Т. Поля деформаций Горного Алтая перед Чуйским землетрясением / Б.Т. Мазуров // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 48 – 50.
6. Мазуров Б.Т. Идентификация напряженно-деформированного состояния вулканической области по результатам геодезических и геофизических наблюдений / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 7. – С. 58 – 62.
7. Мазуров Б.Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 3. – С. 93 – 102.
8. Мазуров Б.Т. Компьютерная визуализация полей смещений и деформаций / Б.Т. Мазуров // Геодезия и картография. – 2007. – № 4. – С. 51 – 55.
9. Сашурин А.Д., Мельник В.В., Панжин А.А. Решение задачи устойчивости бортов в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм карьеров // Инженерная защита. – 2015. – № 2 (7). – С. 80 – 86.
10. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Организация геодинамического мониторинга на карьерах Качканарского ГОКа // Проблемы недропользования. – 2015. – № 1 (4). – С. 45 – 54.
11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных. База экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений / Сашурин А.Д., Мельник В.В., Панжин А.А. и др.; заявитель и правообладатель Институт горного дела УрО РАН. – №2014620345. – 2014.