

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 528.8

DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-3-333-339

Геоинформационное обеспечение проектирования геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений

© 2019 г. А.Н. Соловицкий

*Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
san.mdig@mail.ru*

Geoinformation support for the design of geodetic monitoring of the stress-strain state of the earth's crust in areas of development of coal deposits

A.N. Solovitskiy

*Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
san.mdig@mail.ru*

Received February 1, 2019

Revised May 30, 2019

Accepted June 6, 2019

Keywords: design, geo-information support, geodesic monitoring of the stress-strain state of the earth's crust, isolation and identification of blocks of the earth's crust, map errors, relaxation of deformations of blocks of the earth's crust,

Summary. The demand for geodetic monitoring as a control system in the areas of development of gas, liquid and solid mineral deposits has been established. Low use of coal deposits of Russia is noted. A problem hindering its development is formulated. It partly consists of the geographic information support for the design of such monitoring. Therefore, the aim of the work is geo-information support for the design of geodetic monitoring of the stress-strain state of the earth's crust in the areas of development of coal deposits. The objectives of the research are to develop the requirements for geo-information support for the design of the specified geodetic monitoring. The main features of these requirements are to ensure accuracy, adaptability, compliance with the intended purpose and a system approach. The practical use of these requirements is to improve the technology of designing geodetic constructions to create a geodynamic polygon.

Citation: Solovitskiy A.N. Geoinformation support for the design of geodetic monitoring of the stress-strain state of the earth's crust in areas of development of coal deposits. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka». Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying».* 2019, 6 (3): 333–339. [In Russian]. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-3-333-339.

Поступила 1 февраля 2019 г.

После доработки 30 мая 2019 г.

Принята к печати 6 июня 2019 г.

Ключевые слова: выделение и идентификация блоков земной коры, геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры, геоинформационное обеспечение, погрешности карт, проектирование, релаксация деформаций блоков земной коры.

Установлена востребованность геодезического мониторинга как системы контроля в районах освоения газовых, жидких и твердых месторождений полезных ископаемых. Отмечено его низкое использование на угольных месторождениях России. Сформулирована основная проблема, препятствующая его развитию. Одно из слагаемых указанной проблемы – геоинформационное обеспечение проектирования такого мониторинга. Цель работы – геоинформационное обеспечения проектирования геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений. Исследования предусматривают разработку требований к геоинформационному обеспечению проектирования указанного геодезического мониторинга. Основные особенности этих требований заключаются в обеспечении точности, технологичности, соответствия целевому назначению и системному подходу. Практическое использование указанных требований заключается в совершенствовании технологии проектирования геодезических построений для создания геодинамического полигона.

Для цитирования: Соловицкий А.Н. Геоинформационное обеспечение проектирования геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений // Изв. вузов «Геодезия и аэрофото-съемка». 2019. Т. 6. № 3. С. 333–339. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-3-333-339.

Введение

Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры (ГМНДСЗК) – комплексная триединая система его контроля, предусматривающая регистрацию кинематики блоков земной коры с учетом их строения и иерархии, определение их динамических параметров и оценку степени возможного риска проявления геодинамического явления (ГДЯ). Подобная система контроля востребована как на газовых, жидких и твердых месторождениях полезных ископаемых, так при строительстве АЭС, ГЭС и других инженерных объектов [1–9]. Однако, несмотря на определенные достижения, указанная система контроля в полной мере не разработана и не реализована, особенно это касается угольных месторождений, поскольку традиционные технологии геодезического контроля ориентированы на изучение кинематики и деформаций поверхности земной коры [1–5, 8, 9]. Основная проблема, препятствующая развитию ГМНДСЗК, — отсутствие моделей геодезических построений, адекватно отражающих их структуру и иерархию земной коры, а также определяющих напряженно-деформированное состояние ее блоков при современных достижениях геодезических технологий, их оперативности, точности и уровня автоматизации.

Геодезическое информационное обеспечение (ГИО) проектирования ГМНДСЗК — составная часть указанной проблемы, которая недостаточно освещена в отечественной и зарубежной литературе [10–15]. До настоящего времени не разработаны требования к ГИО для проектирования ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений [10–15]. Это касается как перечня и содержания цифровых карт, так и информации для его обеспечения [10, 13–15]. Цель исследования — разработка требований к ГИО для проектирования геодинамического полигона (ГДП) для проведения ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений. Реализация указанных требований обеспечит информационную основу для получения новых знаний о напряженно-дефор-

мированном состоянии (НДС) блоков земной коры разных рангов при освоении угольных месторождений, которые позволят решить не только проблему создания указанного мониторинга, но и задачи геодинамической безопасности угольного предприятия. Все это позволяет считать актуальной разработку требований к ГИО для проектирования ГДП при проведении ГМНДСЗК. Использование полученных результатов обеспечит создание геодезических построений локального мониторинга для оценки геодинамической опасности при освоении угольных месторождений.

Методы и результат исследований

К основным требованиям к ГИО для проектирования ГМНДСЗК относятся: точность; технологичность; соответствие целевому назначению; системный подход. В первую очередь для проектирования указанного мониторинга необходимо выделить и идентифицировать блоки земной коры, что невозможно без информации о рельефе местности, полученной с помощью наземных и дистанционных методов, включая БПЛА-технологии [13–17]. Известно, что современный рельеф сформировался в новейшее время, поэтому в качестве методологической основы ГМНДСЗК можно принять гипотезу о действии и релаксации напряжений [17]. Известно, что период релаксации напряжений T_r для земной коры в целом можно оценить формулой [18]

$$T_r = \frac{\eta}{\mu},$$

где η — эффективная вязкость; μ — модуль твердости.

При $\eta = 10^{24}–10^{25}$ Па·с и $\mu = 0,3–0,4$ дин/см² период релаксации напряжений равен $10^5–10^6$ лет. Следовательно, потребуется метод для изучения характера геодинамических процессов, происходивших в районе разработки месторождения не менее 1 млн лет назад. Это — морфоструктурный анализ [16, 17]. В указанном методе взаимодействие блоков земной коры и их деформация в исследуемом районе оцениваются камерально на основе цифровой

картографической информации. При этом результаты оценки периода времени релаксации деформаций блоков земной коры (при их взаимодействии) в зависимости от используемого картографического материала в традиционной технологии не определены. Автором предлагается следующая методология, которая реализует указанные требования в рамках соответствия целевому назначению и точности.

Известно, что погрешность определения отметок по картографическим материалам не превышает $1/3$ высоты сечения рельефа. Зная средние скорости вертикальных движений ($V=0,1$ мм/год), оценим период T , за который изменения высот, обусловленные геодинамическими процессами, не превышают погрешности m_n определения отметок. В цифровых технологиях погрешности картографической информации зависят от разрешающей способности устройств (в исследуемом случае 1200 пикселей на дюйм). Указанную зависимость представим в следующем виде:

$$T = \frac{m_n}{V}.$$

При отсутствии выраженности в рельефе границ блоков земной коры использование цифровых геофизических карт, по мнению автора, вызывает значительный интерес. Так, для гравиметрических карт погрешности информации оцениваются по полным погрешностям интерполирования $m_{\Delta g}$. Период времени T , за который изменения силы тяжести, обусловленные геодинамическими процессами, не превышают $m_{\Delta g}$ (рис. 1), равен:

$$T = \frac{m_{\Delta g}}{0,3086V}.$$

На рис. 1 представлены периоды времени, обусловленные геодинамическими процессами, которые соответствуют погрешностям цифровых топографических и гравиметрических карт. Результаты, приведенные на рис. 1, показывают, что информация о геодинамических процессах, отраженная в масштабном ряду карт, позволяет оценить значительные периоды времени, ранжируя их по возрасту.

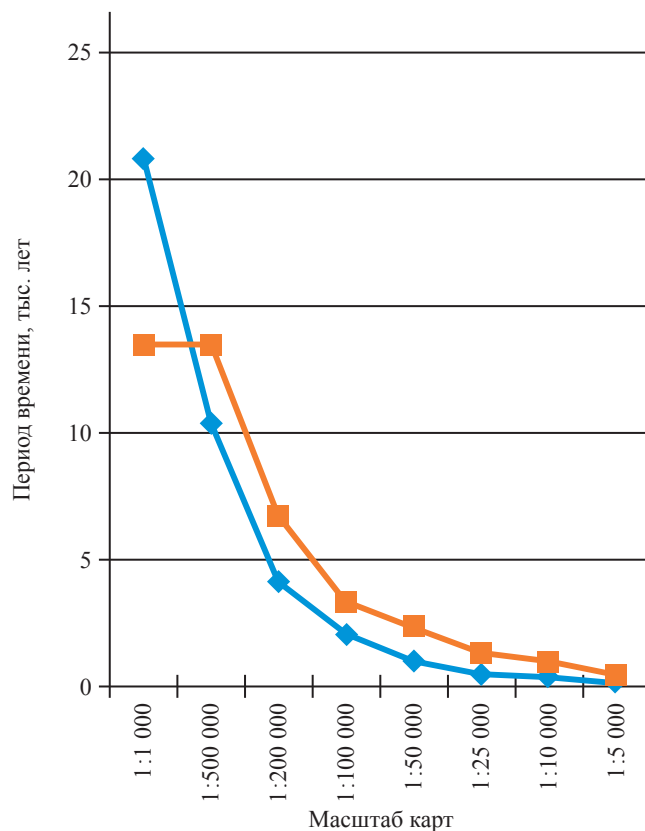


Рис. 1. Периоды времени релаксации геодинамических процессов, соответствующие погрешностям карт: — топографические карты; — геофизические карты

Fig. 1. Periods of relaxation time of geodynamic processes, corresponding to the errors of maps: — topographic maps; — geophysical maps

Что касается учета погрешностей этого ряда карт, то, если действие напряжений σ_0 прекратилось 1 млн лет назад, доля действующих напряжений σ_T в зависимости от исследуемого периода T_p , соответствующего этим погрешностям, составит [19] (рис. 2)

$$\sigma_T = \sigma_0^{-T_i/T_r}.$$

Использование цифрового представления картографической информации более предпочтительно, так как его погрешности характеризуют меньший период релаксации действовавших напряжений, чем соответствующие оценки с помощью карт по традиционной бумажной технологии. Анализ рельефа на цифровых картографических материалах, включая полученные методами дистанционного зондирования, имеет большое значение, так как

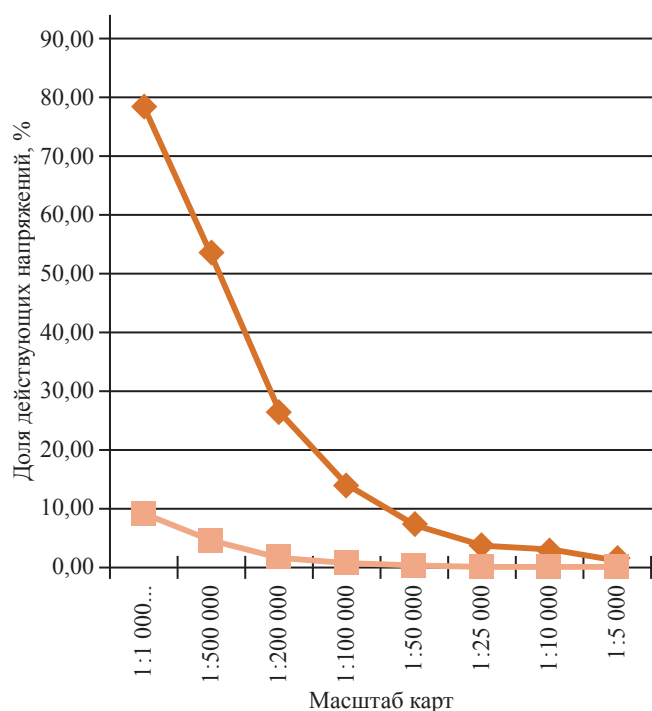


Рис. 2. Доля действующих напряжений от исследуемого периода, соответствующего погрешностям карт:

— бумажные технологии; — цифровые технологии

Fig. 2. Proportion of effective voltages from the period under study, corresponding to the map errors

— conventional technology; — digital technology

рельеф — индикатор геологических структур [13, 16, 17]. Индикаторы структур земной коры на этих материалах — линеаменты, изучению которых уделяется серьезное внимание при исследовании геодинамических процессов. Основой использования таких геоиндикаторов в качестве показателей геодинамических процессов является отражение механических перемещений земной коры в ландшафте. Таким образом, анализ линеаментов, выделенных по материалам дистанционных съемок, широко используется как для изучения расположения, так и ранжирования структур земной коры [13, 16, 17].

Автором применен системный подход в разработке требованиями к ГИО для проектирования и создания ГМНДСЗК в районах освоения угольных месторождений, который включает в себя:

1) применение компьютерных технологий для выделения линеаментов;

2) комплексирование материалов для интерпретации блочной структуры земной коры;

3) совершенствование критериев выделения блоков земной коры;

4) облегчение идентификации блоков земной коры визуальным методом;

5) обеспечение регистрации кинематики блоков земной коры с учетом адекватности и иерархии структуры земной коры;

6) однозначность нумерации блоков земной коры.

Компьютерные программы обработки рельефа позволяют выделять линеаменты и линеаментные зоны. Центр компьютерного инжиниринга Кемеровского государственного университета оснащен программными пакетами PhotoScan, Pix4D и QGIS. Трехмерные модели рельефа дают наглядное представление об историческом соотношении его форм, а комплексные данные служат источником новой информации. По мнению автора, наиболее эффективно комплексирование ДДЗ с геофизическими материалами. Обычно при геодинамическом районировании комплексно используют карты гравитационных аномалий и магнитных полей. К качественным признакам разломов в аномальном гравитационном и магнитном полях относятся: линейные ступени; линейные аномалии обоих знаков; линейные нарушения изолиний полей; линейные границы областей с разным рисунком изолиний этих полей.

Выделение блоков земной коры на основе морфоструктурного анализа картографических материалов предусматривает определение максимальных высот водоразделов, тектонических уступов, а также равнинных участков. Для разграничения блоков земной коры используют качественные признаки элементов рельефа и гидрографии: спрямленные участки речных долин, цепочки озер и болот, перевалы, подножия склонов [16]. Согласно методологии геодинамического районирования, соседние участки исследуемой территории относят к разным блокам, если разность их высот превышает ΔH_0 (ΔH_0 — принятая минимальная раз-

ность высот) [16]. Выбор H_0 неоднозначен [16, 17]. Автор предлагает предельно минимальное значение ΔH_0 принять равным не менее утроенной величины погрешности определения высот на картах m_h , а именно:

$$\Delta H_0 \geq 3m_h.$$

Предельно минимальное значение ΔH_0 характеризует экстремальный вариант. С позиций структурного чтения рельефа земной поверхности более оптимальным критерием (рис. 3) является условие

$$\Delta H_0 \geq 2h,$$

где h — высота сечения рельефа.

Идентификация (установление границ на местности) блоков земной коры заключается в определении их положения на местности и в горных выработках [16, 17]. Визуальный метод основан на опознавании границ блоков земной коры на местности и в горных выработках по их качественным признакам. Детальные материалы дистанционного зондирования (в масштабах 1: 500–1:10 000), особенно полученные с помощью БПЛА-технологий, существенно облегчают этот процесс, так как геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры является локальным — основные исследуемые блоки земной коры V и VI рангов, размеры которых составляют не более 10 км. Для установления целевого назначения цифрового картографического обеспечения проектирования и создания ГМНДСЗК автором предложены следующие критерии:

$$T_p \Rightarrow \min^*$$

$$m_p \leq 0,05d,$$

где T_p — период релаксации геодинамических процессов; m_p — средняя квадратическая погрешность положения оси разлома; d — ширина разлома.

Методология обеспечения регистрации кинематики блоков земной коры с учетом адекватности и иерархии структуры земной коры разработана автором настоящей статьи [17]. Для реализации современного подхода обес-

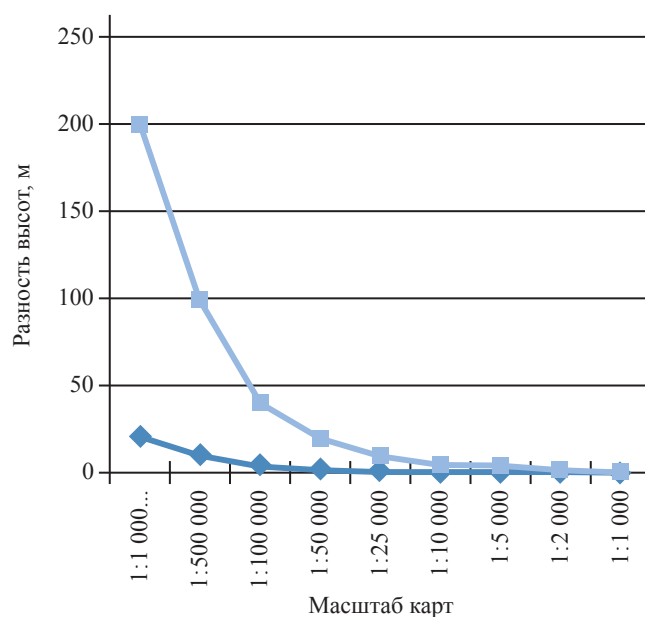


Рис. 3. Зависимости разностей высот от масштаба карт и их погрешностей:

—♦— предельно-минимальная разность высот;
—■— оптимальная разность высот

Fig. 3. Dependencies of height differences on the scale of their error maps:

—♦— maximum permissible height difference;
—■— optimal height difference

печения однозначности информации о выделенных блоках земной коры, основанного на использовании информационных технологий, мной предлагается следующий классификатор выделения блока земной коры, который обеспечивает уникальный его номер. Он содержит: код региона; год проведения выделения; метод проведения геодинамического районирования (геологический — 01; геофизический — 02; геоморфологический — 03; картографический — 04; дистанционного зондирования — 05; комплексный — 06); ранг и собственный порядковый номер исследуемого блока земной коры. Код региона определяет субъект Российской Федерации согласно административно-политическому делению; ранг блока — принятая иерархия строения земной коры, например при геодинамическом районировании Кузбасса применена шестиранговая система, поэтому указанный номер блока земной коры будет выражен 12-тизначным числом: 42:2018:06:05:000 000 000 300.

Заключение

Выполненные исследования позволяют сделать ряд важных выводов.

1. Для проектирования геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры важна информация о рельефе местности, полученная с помощью наземных и дистанционных методов, включая БПЛА-технологии, без использования которых невозможно создать пространственную ячейку геодинамического полигона, в котором регистрируется кинематика блоков земной коры.

2. Установлены периоды релаксации геодинамических процессов, соответствующие точности картографической информации, полученной на основе бумажной и цифровой технологии. Полученные результаты исследо-

ваний обеспечивают выбор серий геофизических и топографических карт. Показаны преимущества цифровой формы представления картографической информации и ее отличия при оценке периода релаксации напряжений земной коры новейшего периода в случае использования ранее проведенных исследований.

3. Разработанные требования к геодезическому информационному обеспечению проектирования геодинамического полигона основываются на компьютерных технологиях, комплексировании геофизических и топографических материалов для интерпретации блочной структуры земной коры, совершенствования критериев выделения и методов идентификации, однозначности нумерации с целью использования в информационных технологиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ямбаев Х.К., Яценко В.Р. Геодезический мониторинг движений земной коры: состояние, возможности, перспективы // Интерэкспо-ГЕО-Сибирь-2012. Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерское дело»: Сб. материалов в 3 т.: Т. 3 (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). Новосибирск: изд. СГГА, 2012. С. 145–162.

2. Лобанова Т.В., Квочин В.А., Матвеев И.Ф., Клишко В.К., Мюнх А.Ф. Мониторинг процессов формирования напряжений при горно-тектонических ударах // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: Тр. междунар. конф. Новосибирск: изд. ИГД СО РАН, 2006. С. 248–254.

3. Лобанова Т.В., Е.В. Новикова. GPS-мониторинг смещений породного массива в районе тектонических разломов Таштагольского месторождения // ГИАБ. 2009. № 6. С. 286–295.

4. Гуляев Ю.П., Лесных И.В., Каленицкий А.И. Геоэкология и геодезический мониторинг // Современное состояние геодезической науки та виробництва. Зб. Наук. Праць. Львів: Ліга-Прес, 2004. С. 423–426.

5. Мирошниченко Н.А. О перспективах построения системы мониторинга движений породного массива // Тр. Междунар. конф. Новосибирск: Ин-т горн. дела СО РАН, 2004. С. 459–463.

6. Комиссаров В. В., Дергачев А. А., Тимофеев В. А., Емалов А. Ф., Хабиров В. В., Шевченко И. В., Матвеев Е. Е. О системе геодинамического мониторинга полигона «Северный» // Тр. междунар. конф. Новосибирск: Ин-т горн. дела СО РАН, 2005. С. 125–129.

7. GPS monitoring in the N-W part of the volcanic island of Tenerife, Canaries, Spain: Strategy and results // Geodetic and geophysical effects associated with seismic and volcanic

REFERENCES

1. Yambaev Kh.K., Yaschenko V.R. Geodesic monitoring of movements of the earth's crust: state, possibilities, prospects. *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderskoe delo*. Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: T. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Surveying. Novosibirsk: SSGA Publ., 2012: 145–162. [In Russian].

2. Lobanova T.V., Kvochin V.A., Matveev I.F., Klimko V.K., Munch A.F. Monitoring of the processes of formation of stresses during mountain-tectonic impacts. *Geodinamika i napryazhennoe sostoyanie neдр Zemli: Tr. mezhdunar. konf.* Geodynamics and stress state of the Earth's interior. Tr. International konf. Novosibirsk: IGD SB RAS, 2006: 248–254. [In Russian].

3. Lobanova T.V., Novikov E.V. GPS monitoring of rock mass displacements in the area of tectonic faults of the Tashtagol field. *GIAБ*. 2009, 6: 286–295. [In Russian].

4. Gulyaev Yu.P., Lesnykh I.V., Kalenitsky A.I. Geoecology and geodesic monitoring. *Suchasni dosyagnennya geodezichnoi nauki ta virobnicztva*. Modernization of geodesic science and science and technology. ST. Of science Prats. Lviv: Liga-Pres, 2004: 423–426. [In Russian].

5. Miroshnichenko N.A. About prospects of construction of system of monitoring of movements of the rock mass. *Tr. mezhdunar. konf.* Tr. International. conf. Novosibirsk: In-t gorn. dela SO RAN, 2004: 459–463. [In Russian].

6. Komissarov V.V., Dergachev A.A., Timofeev V.A., Emalov A.F., Khabirov V.V., Shevchenko I.V., Matveyev E.E. On the system of geodynamic monitoring of the landfill «North». Tr. Intern. Conf. Novosibirsk: In-t gorn. dela SO

- hazards. Edited by Jose Fernandez. Birkhauser Verlag, 2004. P. 1359–1377.
8. Панжин А.А., Усанов С.В. Мониторинг напряженно-деформированного состояния подработанной территории // Тр. междунар. конф. Новосибирск: Ин-т горн. дела СО РАН, 2004. С. 526–529.
9. Козырев А.А., Рыбин В.В., Каспарьян Э.В., Панин В.И., Мальцев В.А. Применение высокоточных геодезических методов для мониторинга деформационных процессов в зонах ведения крупномасштабных горных работ // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: Тр. междунар. конф. Новосибирск: изд. СО РАН, 1999. С. 356–362.
10. Соловьев И.В., Майоров А.А. Проектирование информационных систем. Фундаментальный курс / Под ред. В.П. Савиных. М.: Академический проект, 2009. 398 с.
11. Лисицкий Д.В., Кацко С.Ю. Технологическая платформа «Единое геоинформационное пространство» – основа социально-экономического развития территорий // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2015. № 5/С. С. 250–255.
12. Ознамец В.В. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий. М.: МАКС Пресс, 2018. 134 с.
13. Кресникова Н.И., Васильевых Н.А. Применение данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий для обеспечения территориального планирования // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. Т. 62. № 2. С. 212–217.
14. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий. Новосибирск: изд. СГГА, 2004. 260 с.
15. Бондур В.Г. Аэрокосмический мониторинг нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса. Реальности и перспективы // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса. М.: Научный мир, 2012. С. 15–37.
16. Син Тао, Батугина И.М. Геодинамическое районирование селитебных зон. Пекин, 2010. 149 с.
17. Соловьев А.Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород / Под ред. П.В. Егорова. Кемерово: изд. КузГТУ, 2003. 260 с.
18. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 100 с.
19. Соболев В.В. Физика горных пород. Днепропетровск: Полиграфист, 2003. 255 с.
- RAN, 2005: 125–129. [In Russian].
7. GPS monitoring in the N-W part of the volcanic island of Tenerife, Canaries, Spain: Strategy and results. Geodetic and geophysical effects associated with seismic and volcanic hazards. Ed.: Jose Fernandez. Birkhauser Verlag, 2004: 1359–1377.
8. Panzhin A.A., Usanov S.V. Monitoring of the stress-strain state of the undermined territory. *Tr. mezhdunar. konf.* Tr. Intern. conf. Novosibirsk: In-t gorn. dela SO RAN, 2004: 526–529. [In Russian].
9. Kozzyrov A.A., Rybin V.V., Kasparyan E.V., Panin V.I., Maltsev V.A. The use of high-precision geodesic methods for monitoring deformation processes in the areas of large-scale mining operations. Geodynamics and stress state of the Earth's interior: *Tr. mezhdunar. konf.* Tr. Intern. conf. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1999: 356–362. [In Russian].
10. Solovyov I.V., Mayorov A.A. Designing information systems. Fundamental course. Ed.: V.P. Savinykh. Moscow: Academic project, 2009: 398 p. [In Russian].
11. Lisitsky D.V., Katsko S.Yu. The technological platform «Common geo-informational space» is the basis of socio-economic development of the territory. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying». 2015, 5/C: 250–255. [In Russian].
12. Oznamets V.V. *Geodezicheskoe informatsionnoe obespechenie ustoychivogo razvitiya territoriy*. Geodetic and informational support of sustainable development of territories. Moscow: MAKS Press, 2018: 134 p. [In Russian].
13. Kresnikova N.I., Vasilevykh N.A. Remote sensing and geoinformation technology data usage for spatial planning ensuring. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying». 2018, 62 (2): 212–217. [In Russian].
14. Karpik A.P. Methodological and technological bases of geoinformation support of territories. Novosibirsk: SSGA, 2004: 260 p. [In Russian].
15. Bondur V.G. Aerospace monitoring of oil and gas territories and oil and gas facilities. Reality and perspectives. *Aerokosmicheskij monitoring ob`ektov neftegazovogo kompleksa*. Aerospace monitoring of oil and gas facilities. Moscow: Scientific world, 2012: 15–37. [In Russian].
16. Shin Tao, Batugina I.M. Geodynamic zoning of residential areas. Pekin, 2010: 149 p.
17. Solovitsky A.N. The integral method of controlling the stress state of a block rock massif. Ed.: P.V. Egorov. Kemerovo: KuzSTU, 2003: 260 p. [In Russian].
18. Sherman S.I. Physical patterns of the development of faults of the earth's crust. Novosibirsk: Science, 1977: 100 p. [In Russian].
19. Sobolev V.V. Physics of rocks. Dnepropetrovsk: Polygraphist, 2003: 255 p. [In Russian].