

Мониторинг опасных геологических процессов

УДК 622.831

В.Б. Болтыров, Л.А. Стороженко, С.А. Дегтярев

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА УРАЛЕ

Аннотация. Получение исходной информации для обоснования эффективных мероприятий по предотвращению негативных последствий опасных геологических процессов (ОГП) осуществляется с помощью их мониторинга на конкретных территориях. В результате специализированного дистанционного зондирования разрабатываются комплекты сопряженных тематических карт разного масштаба, совместная обработка которых позволяет выявить закономерности пространственно-временного распределения ЧС и наметить зоны (участки), наиболее предрасположенные к возникновению ЧС. Инженерно-геологические карты активизации ОГП являются заключительным этапом прогнозирования. Они составляются для каждого типа ОГП. Для решения проблем устойчивости инженерных сооружений используется комплекс методов исследований массивов горных пород, выявление потенциально опасных тектонических нарушений, геодинамическая активность которых может послужить причиной возникновения катастроф.

Ключевые слова: опасные геологические процессы, мониторинг, устойчивость инженерных сооружений, прогнозирование.

Для цитирования: Болтыров В.Б, Стороженко Л.А., Дегтярев С.А. Методы изучения опасных геологических процессов на Урале // Управление техносферой: электрон. журнал. 2019. Т.2. Вып. 1. URL: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere>

Введение

Территория Урала представляет собой урбанизированный регион с большим количеством работающих горнорудных предприятий, интенсивно воздействующих на техносферную оболочку. Следует отметить параллельно, что не меньшую опасность представляют сегодня заброшенные старые рудники, не прошедшие процедуры консервации или ликвидации [1]. Экология вокруг таких карьеров и шахт катастрофична, природные воды в них переполнены тяжелыми металлами, а рН нередко опускается до 2-3.

Опасные геологические процессы (далее ОГП) имеют как эндогенную, так и экзогенную природу, однако сегодня в существенной степени тесно взаимосвязаны с техногенезом. Ряд исследователей [2], например, считают, что

опасные сейсмические явления на этой территории обусловлены преимущественно хозяйственной деятельностью человека. Другие [3, 4], на наш взгляд, правомерно полагают, что Урал представляет активную тектоническую зону, в которой сочетаются природные и техногенные процессы, которые требуют тщательной расшифровки и разделения. По их мнению, известный «Уральский каталог сейсмических событий» [5] требует пересмотра и тщательного анализа для восстановления их природы. По мере роста промышленного и военного производства количество экзогенных событий возрастает, что может привести к искусственному завышению уровня сейсмической активности. Поэтому авторы призывают к объективной оценке сейсмичности территорий, на которых расположены важные энергетические предприятия. Ибо по опыту работы на других территориях Евразии без предварительного анализа достоверности сейсмических событий и их событий природы были допущены серьезные ошибки.

С другой стороны, на несомненно тектоническую природу сейсмических событий указывают относительно мощные землетрясения последних лет (Сыростанское, 2002; Сабарское, 2003; Катав-Ивановское, 2004, 2006, 2018; Качканарское, 2010, и др.). Все они приурочены к известным тектоническим разломам и являются следствием поддвига Восточно-Европейской плиты под Уральскую складчатую структуру. Сюда же следует отнести наиболее мощное Билимбаевское землетрясение 1914 года с максимальной магнитудой, превышающей 5.0. Уральской сейсмологической сетью за десятилетие регистрируется около 30 предположительно тектонических землетрясений с магнитудой до 4,5 [3].

Однако большинство из около 90 задокументированных сейсмических событий на Урале увязывают с техногенными геодинамическими процессами, приуроченными к горнодобывающим предприятиям [3, 6]. Причиной около 10 % сейсмических событий явились экзогенные процессы: обвалы, карстовые явления, оползни. Для оставшейся трети опасных сейсмических явлений

причины не выяснены. Следует, однако, подчеркнуть, что современные сейсмические приборы позволяют разделять эти проявления. Анализ сейсмограмм, полученных современными приборами, достаточно отчетливо позволяет разделять промышленные взрывы, включая ядерные, от природных явлений: тектонических и горно-тектонических землетрясений.

Асейсмогенные тектонические движения, как и сейсмогенные, обусловлены иерархично-блоковым строением литосферы. Благодаря наличию блоков различных порядков, их подвижности и сложным перемещением относительно друг друга осуществляется саморазвитие Земли, ее приспособление к различным проявлениям как внутренних, так и внешних, в том числе космических сил.

Асейсмогенные движения подразделяются на два вида: трендовые, или однонаправленные, и циклические [7]. С первыми связаны медленные опускания и поднятия блоков горных пород, а также их смещение в горизонтальных или иных направлениях. Здания и сооружения, попадающие на активные межблоковые зоны с выраженным трендовым движением, испытывают деформации по достижению в их конструкции предельных напряжений, а разрушаются в результате превышения трендовыми деформациями допустимых значений (рис. 6) [8].

Циклические движения более распространены, их воздействие на объекты экономики более многогранно и, в зависимости от частоты циклов, выражаются как в непосредственном влиянии деформаций на сам объект, так и опосредованно через изменение свойств массива горных пород в разломных зонах под влиянием переменных циклических движений. Причинами аварий и катастроф в случае циклических движений являются превышение амплитудами этих деформаций допустимых значений, проявление усталостных эффектов в материале конструкций.

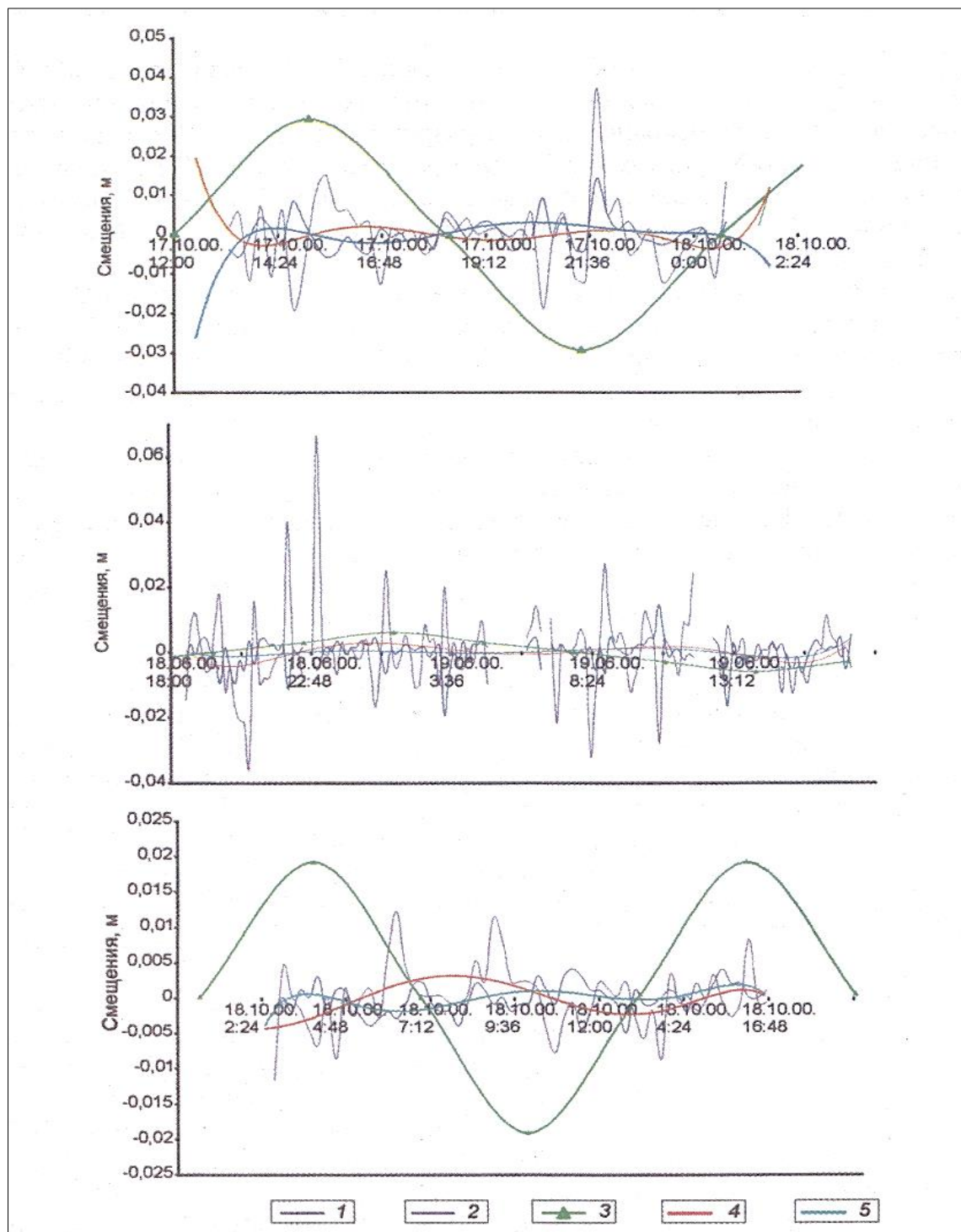


Рис. Графики приливных деформаций, зафиксированных в окрестности субширотной локальной разломной структуры на территории города Сургута с использованием GPS- приемников

Измерительные базы: а – 10 – 1 (точки расположены на бортах разлома); б – 01 – 04 (точки находятся внутри разломной зоны; в – 13 – 12 (точки расположены вне разлома); кривые: 1 – удлинения; 2 – превышения; 3 – приливов; 4 – полиномиальная превышений; 5 – полиномиальная удлинений.

Трендовые движения отражают перемещения блоков горных пород и связаны с изостазией, просадочными явлениями или ротационными силами, тогда как циклические движения причинно связаны с солнечно-лунными притяжениями, т.е. имеют космогенное происхождение.

Экзогенные процессы обусловлены как естественными природными источниками энергии, так и хозяйственной деятельностью человека. К природным процессам относятся физическое и химическое разрушение горных пород (процессы выветривания), деятельность поверхностных и подземных вод, гравитационных сил, криогенных процессов и др.

На рассматриваемой территории широко развиты также техногенные, инженерно-геологические процессы: переработка берегов водохранилищ, понижение уровня грунтовых вод и образование депрессионных воронок, подтопление; накопление техногенных образований в виде свалок бытовых и промышленных отходов, отвалов горных пород, хвостохранилищ и отстойников и др.

Мониторинг опасных геологических процессов

Для получения исходной информации для обоснования эффективных мероприятий по предотвращению негативных последствий ОГП на изучаемой территории необходимо проводить их мониторинг на конкретных территориях.

При этом необходимо решить следующие задачи:

- определить пространственное распространение и генетическую приуроченность к тем или иным структурно-вещественным и геолого-геоморфологическим комплексам различных типов, видов и разновидностей ОГП;
- выявить основные и производные факторы, определяющие развитие ОГП;
- составить прогноз развития ОГП в пространстве и во времени.

Решение первых двух задач осуществляется в ходе специального

обследования территории или в процессе ранее проведенных комплексных или специальных инженерно-геологических и других видов съемок и исследований. В результате должна быть получена системно организованная информационная основа в виде комплектов сопряженных тематических карт и материалов специализированного, дистанционного зондирования. В зависимости от решаемых задач эти комплекты разрабатываются в обзорном, региональном, локальном и детальном масштабах [9].

Материалы дистанционного зондирования в процессе ретроспективного мониторинга группируются по определенным временным интервалам. Продолжительность отрезков времени между повторными дистанционными съемками зависят от интенсивности изменений ОГП во времени: от высокодинамичных объектов, где периодичность дистанционного зондирования определяется продолжительностью цикла развития ОГП (сезон, месяц, сутки и т.д.), до стабильных объектов с периодичностью дистанционного зондирования в десятки лет.

В итоге ретроспективного мониторинга на сопряженных тематических картах и материалах специализированного дистанционного зондирования исследуются системные взаимосвязи природных и техноприродных объектов и устанавливаются закономерности пространственно-временного распределения экологически и экономически значимых изменений объектов. На основе этих закономерностей применительно к каждой группе объектов разрабатывается программа мониторинга в реальном масштабе времени. Эффективность мониторинга в реальном масштабе времени резко возрастает при рациональном комплексировании работ, выполняемых синхронно в обзорном, региональном, локальном и детальном масштабах [9].

По результатам ретроспективного мониторинга и мониторинга в реальном масштабе времени разрабатываются и постоянно пополняются комплекты сопряженных тематических карт и материалов специализированного дистанционного зондирования. Их совместная обработка позволяет выявить

закономерности пространственно-временного распределения чрезвычайных ситуаций и наметить зоны (участки, полосы), наиболее предрасположенные к возникновению тех или иных чрезвычайных ситуаций. Эти данные, а также временная привязка чрезвычайных ситуаций, выполненная при ретроспективном мониторинге, позволит сделать обоснованный пространственно-временной прогноз возникновения и развития чрезвычайных ситуаций. На базе этого прогноза разрабатывается и реализуется программа мониторинга чрезвычайных ситуаций. По завершению ликвидационных работ сведения о чрезвычайных ситуациях наносятся на соответствующие тематические карты и материалы дистанционного зондирования и обрабатываются в общем комплексе сопряженных работ.

Инженерно-геологические карты активизации ОГП являются заключительным этапом прогнозирования. Они составляются для каждого типа ОГП. Основами для создания инженерно-геологических карт прогноза активизации ОГП являются: карта распространения и условий развития ОГП; карта районирования по интенсивности проявления (пораженности территорий ОГП). Составлению карт условий развития и интенсивности проявления ОГП предшествует инженерно-геологическое районирование, выполненное по различным принципам, методам и показателям, в зависимости от характера решаемых задач и масштабов исследований [9].

Для решения проблем устойчивости инженерных сооружений целесообразно использовать комплекс дистанционных, геологических, геоморфологических, геофизических и геохимических методов исследования массивов горных пород, выявления потенциально опасных тектонических нарушений (разломов), геодинамическая активность которых может послужить причиной возникновения катастроф [10, 11].

Можно рекомендовать следующий комплекс методов, позволяющий получить достоверную информацию о структуре массива горных пород и состоянии пород в зонах тектонических нарушений, которые могут вызвать

разрушение инженерных сооружений в результате трендовых или циклических движений:

а) обычное или компьютерное линеamentное дешифрирование с использованием топографических карт, аэрофото- и космических снимков;

б) построение карты разломной тектоники территории с использованием геологических, геофизических, геоморфологических, геохимических данных и результатов линеamentного дешифрирования;

в) наземная заверка выявленных разломов с помощью геофизических и геохимических методов, позволяющих выявить состояние тектонических нарушений и качественно оценить их геодинамическую активность;

г) для оценки численных параметров геодинамической активности тектонических движений, а именно: скорости, амплитуды и частоты движений, необходимо использовать современные высокоточные методы традиционной и спутниковой геодезии, позволяющие производить как дискретные измерения, так и регулярный мониторинг деформаций и напряжений в верхней части земной коры в пределах урбанизированных территорий.

Основным достоинством моделирования как метода познания окружающего мира является возможность получать данные о явлениях и процессах, не доступных непосредственному изучению. Особенно это касается сложных природных процессов (землетрясения, асейсмогенные движения, оползни, сели, карст и т.д.), проявляющихся в большом многообразии их типов и особенностей развития. При этом природные среды представляют собой сложные системы, поведение которых определяется протеканием многих параллельно идущих процессов разного характера. При математическом моделировании должно быть дано математическое описание изучаемого процесса с формированием соответствующей модели в виде уравнений, систем уравнений, отражающих связь между учитываемыми факторами и прогнозируемыми параметрами, характеризующими состояние и динамику процесса [9].

Для диагностики ОГП и оценки изменений геологической среды в результате естественных причин и хозяйственной деятельности человека особое значение для управления ОГП приобретают автоматизированные постоянно действующие эволюционные модели, апробированные в ряде регионов России. Это сложные человеко-машинные информационно-вычислительные комплексы, реализующие на основе оперативной обработки результатов текущих натуральных наблюдений и их прогнозирование с использованием соответствующих математических моделей на ЭВМ, выработку управленческих решений (рекомендаций) по защите территории в случае возможной активизации ОГП.

Выводы

Мониторинг опасных геологических процессов – это единая система регулярных наблюдений и контроля за развитием ОГП.

Объектами мониторинга служат территории активного проявления ОГП, выделенные по данным инженерно-геологических изысканий.

При строительстве и эксплуатации сооружений I и II уровней ответственности (плотины, гидро-, тепло и атомные электростанции, сооружения башенного типа, магистральные трубопроводы) мониторинг ОГП проводится в обязательном порядке.

В задачу мониторинга опасных геологических процессов входит своевременное выявление и прогнозирование развития ОГП, контроль и диагностика технического состояния сооружений инженерной защиты, сравнение полученных при наблюдениях данных с допустимыми параметрами для обеспечения геоэкологической безопасности объекта.

В состав мониторинга ОГП включают следующие виды работ:

- измерения оседания, смещения, просадок и других деформаций поверхности под воздействием геологических процессов;
- измерение деформаций зданий и сооружений;
- наблюдение за изменением напряженного состояния в массиве

грунтов и сопутствующими явлениями (обрушения кровли и стенок подземных выработок, пучение);

- наблюдения за изменением геофизических полей (гравитационных, электрических, магнитных и др.)
- наблюдения за аномальными деформациями земной коры, изменением режима, температуры, химического состава подземных вод в сейсмоактивных зонах;
- система автоматической сигнализации на случай появления недопустимых деформаций (карстовых, мерзлотных и др.)

Основой мониторинга служит наблюдательная сеть. Для долговременных наблюдений используется контрольно-измерительная аппаратура, в состав которой входят грунтовые и глубинные реперы, деформационные марки, а также датчики, соединительные и регистрационные устройства для измерения напряжений в грунтах и горизонтальных перемещений.

Данные наблюдений служат основой для принятия оперативных, краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елохина С.Н. Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. С. 180.
2. Ломакин В.С., Халевин Н.И. О сейсмичности Урала // Уральский геофизический вестник, 2002. №3. С. 89 – 96.
3. Кусонский О.А. Геофизические обсерваторские исследования на Урале. Екатеринбург, РИО УрО РАН, 2012. С. 280.
4. Степанов В.В. и др. [2003] Природа землетрясений Урала и ее влияние на оценку сейсмической опасности энергетических объектов. Инженерные изыскания в современных условиях. Москва: ЦСГНО, ОАО «Институт Гидропроект», 2003. С. 35 – 42.
5. Кашубин С.Н., Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона: под ред. В.И. Уткина. / В.С. Дружинин, Гуляев и др., Екатеринбург: УрО РАН, 2001. С. 25.

6. Маловичко А.А. Изучение и мониторинг природной и техногенной сейсмичности Урала // Вестник УрО РАН, 2004. №2.
7. Сашурин А.Д. Полевые исследования динамических смещений в зоне тектонического разлома / А.А. Панжин, Н.К. Кострюкова, О.М. Кострюков // Rock Mechanics — a challenge for society: материалы регионального симпозиума ISRM EUROCK, 2001. Эспо, Финляндия (Balkema) Роттердам (Brook field). С. 157 – 162.
8. Кострюкова Н.К., Кострюков О.М. Локальные разломы земной коры – фактор природного риска. М.: Изд-во Академии горных наук, 2002. С. 239.
9. Осипов В.И. Опасные экзогенные процессы: под ред. В.И. Осипова / В.М. Кутепов, В.П. Зверев и др., М.: ГЕОС, 1999. С. 290.
10. Болтыров В.Б., Нарышкин Ю.В. Разломы и катастрофы: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. С. 110.
11. Рагозин А.Л. Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы. Москомархитектура, ГУГО ЧС г. Москвы. М.: Изд-во ГУП НИИЦ, 2002. С. 49.

Поступила в редакцию 17.01.2019

Сведения об авторах

Болтыров Владимир Босхаевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
профессор кафедры геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
620144, Уральский федеральный округ,
Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
E-mail: glzchs@mail.ru

Стороженко Любовь Александровна

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
620144, Уральский федеральный округ, Свердловская обл.,
г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,
E-mail: stor_luba@mail.ru

Дегтярев Сергей Антонович

магистрант,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
620144, Уральский федеральный округ, Свердловская обл.,
г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,
E-mail: ljstymail@gmail.com

V.B. Boltyrov, L.A. Storozhenko, S.A. Degtyarev

METHODS FOR STUDYING HAZARDOUS GEOLOGICAL PROCESSES IN THE URALS

Annotation. Obtaining baseline information to substantiate effective measures to prevent the negative effects of hazardous geological processes is carried out by monitoring them in specific territories. As a result of specialized remote sensing, sets of conjugate thematic maps of different scales are developed, the joint processing of which allows us to identify patterns of the space-time distribution of emergencies and outline the zones (areas) most prone to emergencies. Geotechnical maps of the activation of the hazardous geological processes are the final stage of forecasting. They are compiled for each type of hazardous geological processes. To solve the problems of the stability of engineering structures, a set of methods for studying rock massifs is used, identifying potentially dangerous tectonic disturbances, the geodynamic activity of which can cause disasters.

Keywords: hazardous geological processes, monitoring, engineering stability, forecasting.

For citation: Boltyrov V.B., Storozhenko L.A., Degtyarev S.A. [Methods for studying hazardous geological processes in the urals]. *Upravlenie texnosferoj*, 2019, vol. 2, issue 1. (In Russ) Available at: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere>

REFERENCES

1. Elokhina S.N. *Gidrogeoekologicheskiye posledstviya gornogo tekhnogeneza na Urale*. [Hydrogeoecological consequences of mining technogenesis in the Urals]. Ekaterinburg: UIPTS, 2013, P. 180. (In Russ)
2. Lomakin V.S., KHalevin N.I. O seysmichnosti Urala [On the seismicity of the Urals]. *Ural'skiy geofizicheskiy vestnik*, 2002, no. 3, pp. 89 – 96. (In Russ)
3. Kusonskiy O.A. *Geofizicheskiye observatorskiye issledovaniya na Urale*. [Geophysical Observatory research in the Urals] Yekaterinburg, RIO UrO RAN, 2012, P. 280. (In Russ)
4. Stepanov V.V. [and other]. *Priroda zemletryaseniy Urala i eye vliyaniye na otsenku seysmicheskoy opasnosti energeticheskikh ob"yektov. Inzhenernyye izyskaniya v sovremennykh usloviyakh*. [The Nature of earthquakes in the Urals and its impact on the assessment of seismic hazard of energy facilities. Engineering surveys in modern conditions]. Moscow: CSGN, JSC "Institute Hydroproject", 2003, pp. 35 – 42. (In Russ)
5. Kashchbin S.N., Druzhinin V.S., Gulyayev etc. *Seysmichnost' i seysmicheskoye rayonirovaniye Ural'skogo regiona* [Seismicity and seismic zoning of the Ural region]: ed. by V. I. Utkin. Yekaterinburg: UrO RAN, 2001, P. 25. (In Russ)
6. Malovichko A.A. *Izucheniye i monitoring prirodnoy i tekhnogennoy seysmichnosti Urala* [Study

- and monitoring of natural and technogenic seismicity of the Ural] *Vestnik UrO RAN*, 2004, no. 2.
7. Sashchirin A.D., Panzhin A.A., Kostrukova N.K., Kostrukov O.M. *Polevyye issledovaniya dinamicheskikh smeshcheniy v zone tektonicheskogo razloma* [The field study of dynamic displacements in the zone of tectonic fracture]. *Rock Mechanics — a challenge for society: materials of the ISRM regional Symposium EUROCK*, 2001. Espo, Finlyandiya (Balkema) Rotterdam (Brook field). pp. 157 – 162. (In Russ)
 8. Kostryukova N.K., Kostryukov O.M. *Lokal'nyye razlomy zemnoy kory – faktor prirodnogo riska*. [The local faults of the earth's crust-a factor of natural risk]. Moscow: Publishing house of the Academy of mining Sciences, 2002, 239 p. (In Russ)
 9. Osipov V.I., Kutepov V.M., Zverev V.P. *Opasnyye ekzogennyye protsessy* [Hazardous exogenous processes], ed. by V.I. Osipova [and other]. Moscow: GEOS, 1999, P. 290. (In Russ)
 10. Boltyrov V.B., Naryshkin YU.V. *Razlomy i katastrofy: uchebnoye posobiye* [Faults and disasters: a training manual]. Ekaterinburg: Publishing house of UGGU, 2005, P. 110. (In Russ)
 11. Ragozin A.L. *Rekomendatsii po otsenke geologicheskogo riska na territorii g. Moskvy* [Recommendations for the assessment of geological risk in the territory of Moscow]. Moskomarkhitektura, HUGO CHS of Moscow. M Moscow: Publishing house sue NIAC, 2002, P. 49. (In Russ)

Received 17.01.2019

About the Authors

Boltyrov Vladimir Boshayevich

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Professor, Department of Geology and Emergency Protection Ural State Mining University
620144, Ural Federal District, Sverdlovsk region., Yekaterinburg, Kuibyshev st., 30
E-mail: glzchs@mail.ru

Storozhenko Lyubov Aleksandrovna

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
Associate Professor of the Department of Geology and Protection in Emergency Situations
Ural State Mining University
620144, Ural Federal District, Sverdlovsk Region, Ekaterinburg, Kuibyshev st., 30,
E-mail: stor_luba@mail.ru

Degtyarev Sergey Antonovich

master student
Ural State Mining University
620144, Ural Federal District, Sverdlovsk Region,
Ekaterinburg, Kuibyshev st., 30,
E-mail: ljstymail@gmail.com