

СОВРЕМЕННЫЕ СВЕДЕНИЯ О СЕЙСМОДЕФОРМАЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

© **В.Н. Пучков,**

доктор геолого-минералогических наук,
член-корреспондент РАН,
директор,
Институт геологии,
Уфимский научный центр РАН,
ул. К. Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская Федерация

© **Р.С. Мусалимов,**

ассистент кафедры,
Башкирский государственный университет,
ул. Заки Валиди, 32,
450074, г. Уфа, Российская Федерация,
эл. почта: musalimovramil@yandex.ru

В статье с учетом последних инструментальных сейсмических наблюдений выполнен анализ текущего состояния геодинамического мониторинга на территории Республики Башкортостан.

В последние время произошел пересмотр представлений о роли геодинамического (сейсмодеформационного) фактора при оценке эколого-промышленной опасности объектов недропользования. Оказалось, что даже в несейсмоактивных регионах в связи с интенсивной добычей полезных ископаемых происходит мощное техногенное воздействие на окружающую среду, приводящее к нарушению сложившегося природного напряженно-деформированного состояния массива недр. При этом естественные напряженно-деформационные поля подвергаются техногенному преобразованию и приводят к учащению геодинамической активности. Это нередко приводит к авариям трубопроводных систем, разрушению фундаментов зданий и загрязнению водоносных горизонтов, а в конечном итоге может привести к тяжелым экологическим и социально-экономическим последствиям: оседанию земной поверхности и техногенным землетрясениям.

Установка сейсмической станции «Башкортостан-1» расширила возможности инструментального мониторинга территории РБ. За последние несколько лет был зафиксирован целый ряд сейсмических событий, которые носят как тектонический, так и антропогенный характер. Причинами, провоцирующими геодинамическую активность, являются увеличение объемов добываемого сырья и глубины разрабатываемых месторождений, отбор большего количества попутной воды.

Кроме того, представлен сравнительный анализ учета современной аномальной геодинамики недр в двух соседних республиках: Башкортостане и Татарстане, выделены основные характеристики и их значения.

По результатам выполненных исследований очевидна необходимость в современной системе долговременного мониторинга, позволяющей на основе сейсмических, геодезических, геологических и других наблюдений не только констатировать происходящие события, но и предупреждать развитие неблагоприятных природных техногенных процессов в одном из крупнейших нефтегазовых регионов страны, как Республика Башкортостан.

Ключевые слова: геодинамика, землетрясения, сейсмика, деформационные процессы, техногенное воздействие, месторождение нефти, мониторинг

© V.N. Puchkov¹, R.S. Musalimov²

MODERN DATA ON SEISMIC DEFORMATION MONITORING IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

^{1,2}Bashkir State University,
32, ulitsa Zaki Validi,
450076, Ufa, Russian Federation,
e-mail: musalimovramil@yandex.ru

The article deals with the analysis of the current state of geodynamic monitoring in the Republic of Bashkortostan based on the latest instrumental seismic observations.

Recent years saw a revision of approaches to the role of geodynamic (seismic deformation) factor in the assessment of environmental and industrial hazard for objects of subsoil use. It has been found out that even in seismically inactive regions, a powerful technogenic impact on the environment can be observed due to intensive mining that leads to disruption of the existing natural stress-strain state of the bowels of the array.

This often leads to accidents in pipeline systems, destruction of the foundations of buildings and pollution of aquifers, and can eventually result in serious environmental and socio-economic effects: subsidence of the earth's surface and man-made earthquakes.

"Bashkortostan-1" seismic station has facilitated and enhanced instrumental monitoring in the Republic of Bashkortostan. A series of seismic events of both tectonic and anthropogenic nature have been recorded over the past few years. The causes inducing technogenic geodynamic

activity are as follows: an increase in the volume of extracted raw materials and the depth of the producing fields, production of a large amount of associated water.

In addition, a comparative analysis has been undertaken to account for current anomalous subsurface geodynamics in two neighbouring republics of Tatarstan and Bashkortostan with a focus on their main characteristics and values.

The results of the research clearly suggest the need for modern system of long-term monitoring, which allows not only to record the events, but also prevent the development of man-made adverse natural processes on the basis of seismic, geodesic, geological and other observations in such major oil and gas region as the Republic of Bashkortostan.

Key words: geodynamics, earthquakes, seismic survey, deformation processes, technogenic impact, oil field, monitoring

Введение. История сейсмометрического изучения землетрясений в Башкортостане насчитывает несколько десятилетий. В 1970–1980-х годах лаборатория геофизики Института геологии Башкирского филиала АН СССР под руководством И.С. Огарина вела наблюдения с помощью сейсмометра, установленного в штольне на берегу р. Уфы под трамплином. Однако в дальнейшем по ряду обстоятельств эту работу пришлось свернуть.

В 1990–2000-х годах вопросами сейсмотектоники занялась группа исследователей института, которую возглавил Ю.В. Казанцев [1; 2; 3 и др.]. Основой сейсмологических исследований этой группы была регистрация микросейсмических колебаний с использованием в основном автономных сейсмических станций (С007 и ПАСС). Обработка полученных сейсмических материалов (в частности, около 5 км лент с магнитной записью на 9 профилях только в Зауралье) велась С.А. Ковачевым по оригинальной методике (Институт прикладных сейсмоакустических исследований РАЕН). В результате этих исследований Ю.В. Казанцевым была построена первая сейсмотектоническая карта Башкортостана [2] и были сделаны общие выводы о сейсмической подвижности территории Башкортостана и коррелируемости интенсивности сейсмических шумов с тектоническими структурами, выделены области тектоносейсмического риска [3]. К сожалению, в связи с болезнью и смертью ученого эти исследования также были свернуты.

В последнее время произошла определенная переоценка традиционных представлений о роли тектоногенного и карстогенного фактора в возникновении землетрясений в спокойных платформенных районах в сторону большего значения техногенной составляющей, хотя само это явление и раньше было известно [4]. В частности, даже в платформенно-равнинных

(не сейсмоактивных) регионах в связи с освоением подземного пространства происходит мощное техногенное воздействие на окружающую среду, которое приводит к нарушению сложившегося природного напряженно-деформированного состояния массива недр. Последствиями такого воздействия являются: порыв трубопроводных систем, смятие и срезание буровых колонн, загрязнение водоносных горизонтов, разрушение фундамента сооружений, а в наиболее негативных случаях – обширные оседания земной поверхности и техногенные землетрясения.

До недавнего времени территория Республики Башкортостан в отношении традиционного метода регистрации землетрясений с помощью высокоточных постоянно действующих стационарных сейсмостанций фактически являлась «белым пятном». Вплоть до 2013 г. сейсмичность можно было исследовать только станциями соседних регионов: Республики Татарстан, Пермского края, Свердловской и Оренбургской областей.

Установка первой сейсмической станции в Республике Башкортостан. В 2013 г. силами научного сообщества с привлечением частных инвестиций была введена в эксплуатацию сейсмическая станция «Башкортостан-1» (ВА1R). Перед началом установки были проведены измерения уровня микросейсмического шума. По результатам рекогносцировки было выбрано место близ пос. Лекаревка Уфимского района. Специально для монтажа оборудования и проверки ее функционирования в республику прибыли специалисты Геофизической службы (ГС) РАН.

В специальном павильоне (рис. 1) на 5-метровой глубине установлено 3 сейсмометра высокой чувствительности. Каждый из них регистрирует различные виды колебаний Земли: удаленные – со всего земного шара и местные. Кроме того, станция включена в Уральскую сейсмическую сеть ГС РАН.

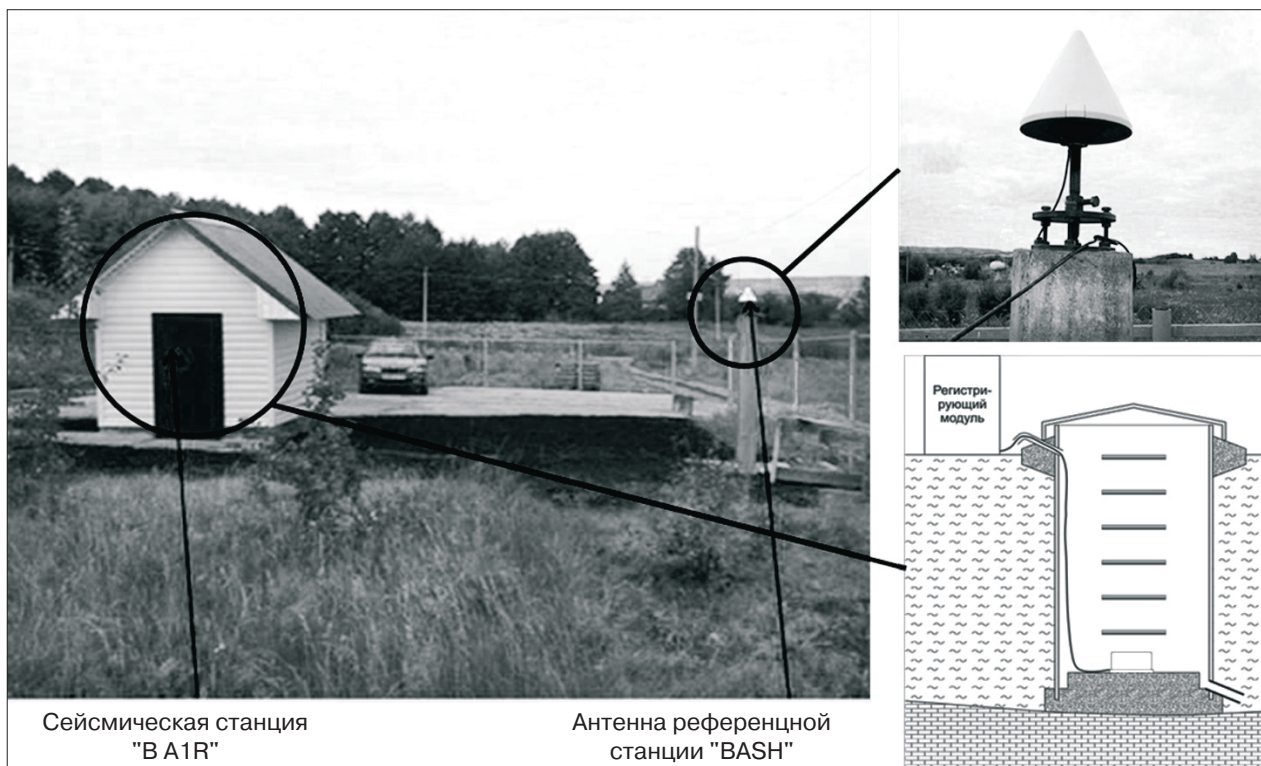


Рис. 1 Сейсмическая станция «Башкортостан-1» и антенна референционной станции «BASH»

Станция BA1R совмещена с постоянно действующей базовой станцией BASH, что дает возможность исследовать взаимное влияние сейсмодинамических процессов на изменение геопроостранственных данных.

Современные сведения о сейсмичности территории Республики Башкортостан. После установки станции расширились возможности инструментального мониторинга территории РБ. За 2 года работы зафиксирован целый ряд землетрясений, в т.ч. на месторождениях нефтедобывающего комплекса. В общей сложности за период наблюдений с 2007 по 2015 год ГС РАН были зарегистрированы и определены параметры для 14 сейсмических событий (табл. 1).

Первое инструментально зафиксированное тектоническое землетрясение произошло в 2007 г. в районе г. Дюртюли с локальной магнитудой $M_L=3.6$. Позже, в 2011 и 2012 гг., произошла серия землетрясений в районе г. Мелеуз. Наиболее сильное из них с локальной магнитудой $M_L=3.8$ вызвало большой общественный резонанс и тревогу населения.

По представленным в табл. 1 данным видно, что за последние 2 года увеличилось число фиксаций сейсмических событий локального характера в Чишминском районе РБ (а именно в окрестностях пос. Кляшево, расположенного в 20 км от г. Уфы).

20 мая 2014 г. в 18:26:21 на расстоянии 5 км к юго-западу от сейсмостанции BA1R было зафиксировано сейсмическое событие с $M_L=2.8$, а через 1м31s (в 18:27:52) – его афтершок с $M_L=1.6$. С привлечением студентов географического факультета Башкирского государственного университета был произведен опрос населения и сбор макросейсмических данных (более 70 анкет в 15 населенных пунктах).

Как видно из п.п. 8, 10, 11 и 12 табл. 1, землетрясения с магнитудой от 1,6 до 2,5 баллов регистрировались только станцией «Башкортостан-1», что свидетельствует о необходимости увеличения группировки сейсмических станций на территории РБ.

Указанные микросейсмические проявления с магнитудой $M_L \leq 3$ носят как тектонический, так и антропогенный характер [5; 6]. В пользу последнего выступает целый ряд характерных параметров: события имеют глубину очагов, сопоставимую с глубиной отработываемой залежи и периодический характер.

Анализ уровня техногенной нагрузки на территории нефтепромышленных объектов. В целом ряде нормативных документов [7; 8; 9], регламентирующих промышленную и экологическую безопасность объектов нефтегазового комплекса, предписано учитывать геодинамический фактор и вести горно-экологический

Т а б л и ц а 1 – Сейсмические события за инструментальный период наблюдений с 2007 по 2015 год

Пункт	Дата	Положение	Время в очаге, UTC	h, км	Магнитуда, M_L	Станции, зарегистрировавшие событие
1	21.05.2007	г. Дюртюли	01:52:31		3.6	PR1R, PR3R, PR0R, PR2R
2	11.03.2011	г. Мелеуз	23:15:07	10	3.8	ORR, OR2, OR3, PR1, PR3, PR4, KIZ, KAU, ARU
3	25.11.2011	г. Мелеуз	16:41:22	6	3.3	SOKR, PR1, PR3, SVUR, PR2, PR4, ARU
4	08.04.2012	г. Мелеуз	13:19:35	11	3.3	SOKR, PR1, PR3, PR2, PR4, ORR, ARU
5	05.09.2012	г. Учалы	20:11:03	1	3.0	ARU, PRO, PR3, PR4, SOKR, SVUR, ORR, OR2
6	17.03.2014	с. Уральск	23:00:35	5F	3.1	PR0R, PR1R, PR3R, PR4R, PR7R, SVUR, ARU, BA1R
7	20.05.2014	Чишминский р-н	18:26:21	4	2.8	BA1R, ARU
8	20.05.2014		18:27:52	4	1.6	BA1R
9	01.09.2014		14:51:54	20	2.8	PR1R, PR3R, PR0R, ARU, KAUR, BA1R, PR4R, SVE
10	01.09.2014		21:00:48	4	2.5	BA1R
11	03.09.2014		03:28:48	4	2.4	BA1R
12	06.09.2014		02:12:10	4	2.4	BA1R
13	01.11.2014	г. Учалы	11:13:10	1	2.5	PR1R, PR3R, PR7R, ARU, KAUR, BA1R
14	08.06.2015	Чишминский р-н	22:55:37	20	3.0	ARU, PR0R, BA1R, SVUR

мониторинг. При выявлении сейсмической активности на территории рассматриваемых месторождений необходимо принять непрерывный контроль сейсмической активности.

На территории соседнего Татарстана, в частности на Ромашкинском месторождении нефти, в районе с близкими сейсмологическими условиями благодаря организации инструментальных наблюдений с 1982 г. зарегистрированы 68 землетрясений. В конце 2005 г. работы были прекращены ввиду отсутствия финансирования, однако после ощутимого землетрясения

2008 г. в г. Альметьевске с магнитудой порядка 5 баллов, вызвавшего серьезную обеспокоенность у населения, при непосредственном участии правительства республики и ПАО «Татнефть» началось восстановление службы сейсмического контроля и расширение сети. В настоящее время система геодинамического мониторинга ПАО «Татнефть» является одной из лучших в России [10; 11].

Ниже приведен сравнительный анализ учета современной аномальной геодинамики недр в двух регионах (табл. 2).

Т а б л и ц а 2 – Сравнительный анализ учета современной аномальной геодинамики недр в Республике Башкортостан и Республике Татарстан

Основные характеристики	Республика Башкортостан	Республика Татарстан
Площадь субъекта, км ²	142 947	67 847
Численность населения, чел.	4 071 064	3 868 730
Количество геодинамических полигонов, которые представляют собой высокоточную региональную нивелирную сеть, ед.	4	23
Количество сейсмических станций, ед.	1	14
Собственник станций	БашГУ	Правительство Республики Татарстан, ПАО «Татнефть»
Плотность станций на 10 000 км ²	0,002	2,063

Данные свидетельствуют о недостаточности станций наблюдений за сейсμοдеформационными процессами, что мешает объективному прогнозированию зон геодинамических рисков на территории РБ.

На территории Башкортостана ведется столь же интенсивная добыча углеводородов, что и в Татарстане, расположено порядка 250 нефтяных месторождений и обустроено 40 тыс. скважин, большинство из которых являются действующими. Однако создание и развитие

комплексной системы долговременного геодинамического мониторинга на уровне Правительства РБ не ведется.

В настоящее время основными районами добычи нефти (см. рис. 2) являются северо-западная, западная и центральная части республики, согласно [12].

Таким образом, сопоставив полученные данные с эпицентрами землетрясений на территории Арланского, Манчаровского и Алкинского месторождений, можно предположить,

что данные события вызваны интенсивной добычей нефти в указанных районах и являются зонами геодинамических рисков.

Заключение. Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что возможность постоянной подробной фиксации локальных сейсмических событий и их комплексный анализ напрямую связаны с созданием сети сейсмических станций. Подтверждается связь некоторых сейсмических событий с интенсивной разработкой нефтяных месторождений. Очевидна необходимость в современной системе долговременного мониторинга, позволяющей на основе сейсмических, геодезических, геологических и других наблюдений не только констатировать происходящие события, но и предупреждать развитие неблагоприятных природных техногенных процессов в таком нефтегазовом регионе страны как Республика Башкортостан.

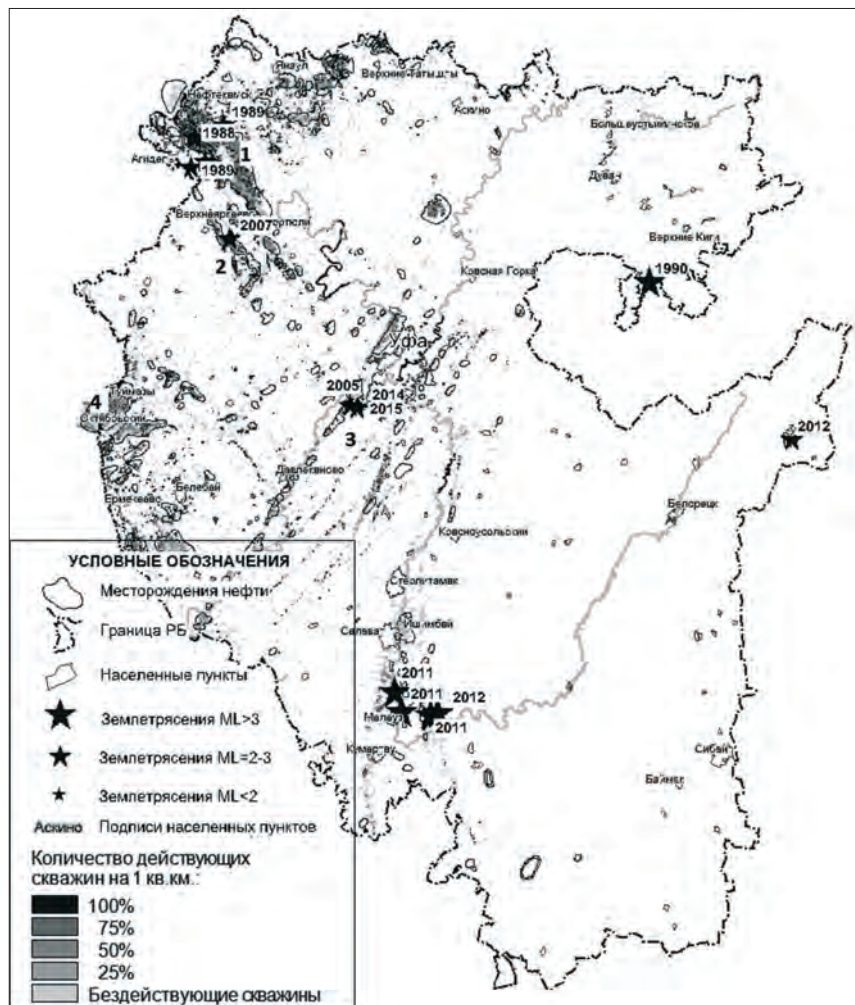


Рис. 2. Схема современного состояния нефтяных скважин и землетрясений на территории РБ. Месторождения нефти: 1 – Арланское; 2 – Манчаровское; 3 – Алкинское; 4 – Туймазинское

ЛИТЕРАТУРА

1. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Ковачев С.А., Шакуров Р.К. Сейсмогенез и структура Центрального Башкортостана. Уфа: АН РБ, 1996. 72 с.
2. Казанцев Ю.В. Первая сейсмотектоническая карта Башкортостана // Геология. Изв. Отд-ния наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2007. № 11. С. 3–28.

3. Казанцев Ю.В. К сейсмотектонике Башкирского Зауралья / Материалы VIII Межрегион. геолог. конф. // Геология. Изв. Отд-ния наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2008. № 12. С. 30–38.
4. Певзнер М.Е., Попова В.Н., Букринский В.А. Маркшейдерия: учеб. для вузов. М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2003. 419 с.
5. Кутушев Ш. Б., Мусалимов Р.С. Исследование геодинамических процессов на территории РБ по результатам GPS наблюдений (тезис докл.) //

Организация территории: статика, динамика, управление: материалы XI междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Изд-во БГПУ имени М. Акмуллы, 2014. С. 47–50.

6. Верховланцев Ф.Г., Голубева И.В. Природно-техногенная сейсмичность Республики Башкортостан // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: материалы 5-й науч.-техн. конф. Петропавловск-Камчатский, 2015. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 29.03.2016)

7. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Сер. 07. Вып. 15 / колл. авт. М.: ФГУП «НТЦ «ПБ»», 2004. 120 с.

8. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль: сб. док. Сер. 07. Вып. 1 / колл. авт. 2-е изд., испр. М.: Изд-во ЗАО «НТЦ «ПБ»», 2009. 132 с.

9. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны

недр (РД 07-408-01): утв. пост. Госгортехнадзора России от 22.05.01 г. № 18. М.: ФГУП «НТЦ «ПБ»», 2001. 6 с.

10. Хисамов Р.С., Гатиятуллин Н.С., Рахматуллин М.Х. Геодинамические процессы Республики Татарстан: природные и техногенные факторы // Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Казань, 10–12 сент. 2008 г.) / сост. В. В. Ананьев. Казань: Фэн, 2008. С. 445–449.

11. Гатиятуллин Р.Н., Кашуркин П.И., Рахматуллин М.Х., Баратов А.Р. Комплексная система геодинамического мониторинга юго-востока Татарстана // Георесурсы. № 1(51). 2013. С. 8–12.

12. Кутушев Ш.Б., Мусалимов Р.С. Применение модели пространственных данных для геодинамического мониторинга территории Республики Башкортостан // Геодезия и картография. М.: Изд-во ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», 2015. Спец. вып. С. 43–44.

REFERENCES

1. Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T., Kamaletdinov M.A., Kovachev S.A., Shakurov R.K. Seismogenez i struktura tsentralnogo Bashkortostana [Seismogenesis and structure of the central part of Bashkortostan]. Ufa, 1996. 72 p. (In Russian).

2. Kazantsev Yu.V. Pervaya seismotektonicheskaya karta Bashkortostana [The first seismotectonic map of Bashkortostan]. Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o zemle i prirodnykh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department for Earth and Natural Resource Sciences of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2007, no. 11, p. 3 (In Russian).

3. Kazantsev Yu.V. K seismotektonike Bashkirskogo Zauralya [On seismotectonics of the Bashkir Trans-Urals]. Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o zemle i prirodnykh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department for Earth and Natural Resource Sciences of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2008, no. 12, pp. 30–38 (In Russian).

4. Pevzner M.E., Popova V.N., Bukrinskiy V.A. Marksheyderiya [Mine surveying]. Moscow, 2003. 419 p. (In Russian).

5. Kutushev S.B., Musalimov R.S. Issledovaniye geodinamicheskikh protsessov na territorii RB po rezul'tatam GPS nablyudeniy [The study of geodynamic processes in the Republic of Bashkortostan based on the results of GPS observations]. Organizatsiya territorii: statika, dinamika, upravlenie [Organization of the territory: Statics, dynamics, control]. Proceedings of the 11th International Science and Research Conference. Ufa, BGPU, 2014. pp. 47–50 (In Russian).

6. Verkholantsev F.G., Golubeva I.V. Prirodno-tekhnogennaya seysmichnost Respubliki Bashkortostan [Natural-technogenic seismicity of the Republic of Bashkortostan]. Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dalnego Vostoka Rossii [Problems of integrated monitoring in the Far East of Russia]. Proceedings of the 5th Science and Technology Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2015. Available at: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (accessed March 29, 2016) (In Russian).

7. Okhrana nedr i geologo-marksheyderskiy kontrol. Instruksiya po proizvodstvu marksheyderskikh rabot (RD 07-603-03) [Protection of subsoil and geological surveying control. Instructions for the production of surveying works (RD 07-603-03)] Ser. 07. Vol. 15. Moscow, NTTs PB, 2004. 120 p. (In Russian).

8. Okhrana nedr i geologo-marksheyderskiy kontrol [Protection of subsoil and geological-surveying control]. Collected papers. Ser. 07. Vol. 1. Second edition, revised. Moscow, NTTs PB, 2009. 132 p. (In Russian).

9. Polozhenie o geologicheskoy i marksheyderskoy obespechenii promyshlennoy bezopasnosti i okhrany nedr (RD 07-408-01): utv. post. Gosgortekhnadzora Rossii ot 22.05.01 g. № 18 [Provision on geological and mine surveying industrial safety and subsoil protection (07-408-01 RD): approved by Gosgortekhnadzor of Russia of May 22, 2001, No. 18]. Moscow, NTTs PB, 2001. 6 p. (In Russian).

10. Khisamov R.S., Gatiatullin N.S., Rakhmatullin H.M. Geodinamicheskie protsessy Respubliki Tatarstan: prirodnye i tekhnogennye faktory [Geodynamic processes of the Republic of Tatarstan: Natural and technogenic factors]. Aktualnye problemy pozdney stadii osvoiniya neftegazodobyvayushchikh regionov [Topical issues of late stage development of oil and gas producing regions]. Proceedings of the International. Science and Research Conference (Kazan, September 10–12, 2008). V.V. Ananyev (compiler) Kazan, Fen, 2008, pp. 445–449 (In Russian).

11. Gatiatullin R.N., Kachurin P. I. Kompleksnaya sistema geodinamicheskogo monitoringa yugo-vostoka Tatarstana [Geodynamic monitoring integral system of south-eastern Tatarstan]. Georesursy, 2013, no 1(51), pp. 8–12 (In Russian).

12. Kutushev S.B., Musalimov R.S. Primenenie modeli prostranstvennykh dannykh dlya geodinamicheskogo monitoringa territorii Respubliki Bashkortostan [Application of the spatial data model for geodynamic monitoring in the Republic of Bashkortostan]. Geodeziya i kartografiya – Geodesy and Cartography, Moscow, Tsentr geodezii, kartografii i IPD, 2015. Special issue, pp. 43–44 (In Russian).