

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Пермское отделение межрегиональной общественной организации  
«ЕВРО-АЗИАТСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАЗВЕДОЧНОЙ И ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

Сборник  
научных трудов

Выпуск 2 (7)



Пермь 2019

УДК 550.83  
ББК 26.3242  
Т337

*Главный редактор:* д-р техн. наук, проф. **В. И. Костицын**

**Теория** и практика разведочной и промышленной геофизики: сборник научных трудов / гл. ред. Т337 В. И. Костицын; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – 361 с.

ISBN 978-5-7944-3191-9

ISBN 978-5-7944-3371-5 (вып. 2 (7))

Сборник научных трудов подготовлен по материалам VII международной научной-практической конференции «Теория и практика разведочной и промышленной геофизики». Представлен широкий спектр исследований в области современной сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки, электроразведки, петрофизики и геофизических исследований скважин.

**УДК 550.83**  
**ББК 26.3242**

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

д-р геол.-мин. наук, проф. **А. Е. Абетов** (Казахстан); д-р тех. наук, проф. **В. А. Гершанок**; д-р физ.-мат. наук **А. С. Долгаль**; PhD, доц. **О. Н. Ковин**; д-р физ.-мат. наук, проф. **И. Н. Корчагин** (Украина); канд. тех. наук, доц. **Г. А. Шароглазова** (Беларусь); канд. тех. наук, доц. **А. В. Шумилов**; д-р физ.-мат. наук, проф. **М. Н. Юдин**

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:** д-р тех. наук, проф., лауреат премии Правительства РФ **В. Н. Конешов** (Институт физики Земли РАН); **В. М. Неганов** (ПАО «Пермнефтегеофизика»)

ISBN 978-5-7944-3191-9

© ПГНИУ, 2019

ISBN 978-5-7944-3371-5 (вып. 2 (7))

*На лицевой стороне обложки:* заведующие кафедрой геофизики А. К. Маловичко (1954–1989) и Р. П. Савелов (1989–1995)

*На обратной стороне обложки:* коллектив кафедры геофизики ПГНИУ и юбиляры кафедры

УДК 528.22.551.24 (075.8)

Г. А. Шароглазова, В. Н. Коровкин, К. И. Маркович

Полоцкий государственный университет. 211440, Беларусь,

г. Новополоцк, ул. Блохина, д. 29;

e-mail: g.sharoglazova@psu.by

**ВЗАИМОУСЛОВЛЕННЫЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ  
И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*Аннотация.* Представлена оценка взаимообусловленного влияния тектонических и техногенных факторов на устойчивость природных и инженерных объектов Беларуси. Исследования базируются на методах повторных геодезических измерений, дистанционного зондирования, сейсмологических и геолого-геофизических данных, теории деформации сплошных сред, ГИС технологиях. Показано, что на всех исследуемых объектах наблюдается взаимообусловленное влияние геодинамики и техногенеза на окружающую среду.

**Ключевые слова:** геодинамика, техногенез, повторные геодезические измерения, дистанционное зондирование, экология, инженерные сооружения.

**G. A. Sharoglazova, V. N. Korovkin, K. I. Markovich**

Polotsk State University. 29 Blokhin Str., Novopolotsk 211440, Belarus;

e-mail: g.sharoglazova@psu.by

**THE INTERDEPENDENT INFLUENCE OF NATURAL  
AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE GEOECOLOGICAL  
AND ENGINEERING-GEOLOGICAL PROCESSES  
IN THE TERRITORY OF BELARUS**

*Abstract:* The assessment of the interdependent influence of tectonic and technogenic factors on the stability of natural and engineering objects of Belarus is presented. The studies are based on the methods of repeated geodetic measurements, remote sensing, seismological, geological and geophysical data, the theory of deformation of continuous media, and GIS technologies. It is shown that the interdependent influence of geodynamics and technogenesis on the environment is observed on all the studied objects.

**Keywords:** geodynamics, technogenesis, repeated geodetic measurements, remote sensing, ecology, engineering structures.

**Введение.** Известно, что геодинамика и техногенез – два основных фактора, которые влияют на ландшафт Земли и отвечают за экологическую безопасность. На развитие естественных геологических процессов с каждым годом все активнее накладывается антропогенное вмешательство, в результате которого на поверхности Земли увеличивается число техногенных форм рельефа. Свежим примером может служить обрушение сопки в районе Бурейской ГЭС в Хабаровском крае.

В то же время, ряд техногенных объектов, например, горнодобывающие шахты будут априори находиться в зонах влияния тектонических разломов, так как месторождения полезных ископаемых, как правило, приурочены к этим разломам. Эксплуатация же месторождений будет усиливать сейсмотектоническую активность района. Факты показывают, что техногенные влияния на тектонически-активных участках земной поверхности могут увеличить геологическую опасность до уровня катастрофы [1].

Если факты реагирования окружающей среды на внешние и внутренние воздействия установлены [2–6], то последствия этого реагирования изучены слабо. Велика вероятность того, что техногенные воздействия не только изменят природные геологические процессы, но и вызовут новые, не характерные для конкретной территории, инженерно-геологические процессы, как правило, нелинейные, сложно прогнозируемые и отрицательно воздействующие на экологические процессы. Современный уровень изученности проблемы взаимообусловленного влияния тектонических и техногенных факторов на состояние земной коры, скорее, следует отнести к этапу накопления экспериментальных данных и началу разработок математических алгоритмов, учитывающих совокупные влияния.

В Беларуси вопросам инженерной геодинамики и геологии уделяется значительное внимание. К современному этапу исследований (начиная с 1991 г.) ее территория полностью покрыта геологической съемкой 1:200 000 масштаба, а районы крупных промышленных городов – 1:50 000 масштаба. Для этого этапа характерны [7–8] повышенное внимание инженеров-геологов к эколого-геологическим проблемам (в том числе в связи с аварией на Чернобыльской АЭС), а также совершенствование технологий инженерно-геологических исследований путем привлечения метода повторных геодезических измерений, внедрения спутникового дистанционного зондирования Земли, беспилотных съемочных аппаратов, ГИС-технологий и т. д.

В Беларуси взаимообусловленность техногенных и тектонических влияний максимально ярко проявляется на территории активно

эксплуатируемого с 1961 г. Старобинского месторождения, а также на таких энергоёмких объектах как каскад ГЭС на реке Западной Двине, магистральные трубопроводы (МТ), Белорусская АЭС. На некоторых из них созданы геодинамические полигоны (ГДП). Остановимся подробнее на первых трех из перечисленных объектов.

**Старобинское месторождение** – крупнейшее месторождение калийных солей – расположено в северо-западной части тектонически-активной структуры – Припятский прогиб. В структурном отношении оно приурочено к Старобинской центриклинали, центральное место в которой занимает Стоходско-Могилевский разлом. Оно контролируется также глубинными тектоническими разломами, показанными на рис. 1.

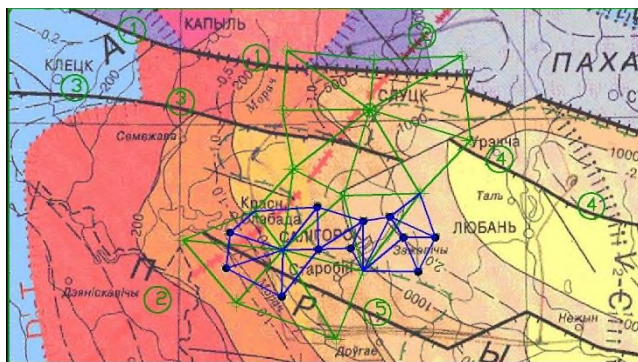


Рис. 1. Расположение тектонических разломов в районе Старобинского месторождения [9] и предлагаемая схема геодинамического полигона в виде треугольников (зеленым обозначены геодизические построения 1-ого уровня, синим – геодизические построения 2-го уровня). Тектонические разломы, ответственные за вероятные сейсмические события: 1 – Северо-Припятский; 2 – Стоходско-Могилевский; 3 – Ляховичский; 4 – Речицкий; 5 – Червонослободско-Малодушинский

Оценкой возможного влияния последствий его эксплуатации на тектонику района занималось большое число исследователей. Анализ космфотоматериалов на территорию этого месторождения [10] свидетельствует об активизации дизъюнктивов по их проявлениям в системе линеаментов. Современная геодинамика Старобинского месторождения [8, 11] характеризуется сложным тектоническим строением; проявлением разломов, как в кристаллическом фундаменте, так и в соленосной толще, относительно высокой сейсмичностью, развитием газо-

динамических явлений и техногенными изменениями ландшафта. Многолетняя эксплуатация месторождения привела к сложной экологической ситуации в районе, вызванной засолением почв и подземной гидросферы, трансформацией рельефа земной поверхности, активизацией сейсмотектонических процессов и другими изменениями геологической среды.

Недостатком этих исследований, на наш взгляд, является слабое использование возможностей метода повторных геодезических измерений, которые на данном месторождении ведутся практически в пределах подрабатываемых территорий, почти не затрагивая тектонические разломы, ответственные за возможные сейсмические катастрофы. Согласно карте проявления сейсмотектонических процессов на территории Беларуси [12] максимальная концентрация землетрясений наблюдается в районе Солигорска. Эпицентры землетрясений приурочены к указанным тектоническим разломам, особенно за период эксплуатации месторождения.

Грамотно поставленные повторные геодезические измерения, дополненные геолого-геофизическими, сейсмологическими исследованиями и данными дистанционного зондирования, позволят зафиксировать деформации объекта, вызванные как тектоническими факторами, так и совокупностью различных воздействий.

На территорию Старобинского месторождения предлагается выполнить структурное дешифрирование материалов аэрокосмических съемок (МАКС), составить космоструктурную карту по данным структурного дешифрирования материалов аэрокосмических съемок, сравнить с результатами геологической съемки предыдущих лет, а также организовать ГДП «Старобин» [13] (рис. 1).

**Магистральные нефтепроводы РБ.** К настоящему времени известно много фактов приуроченности аварий на МТ к зонам повышенной геодинамической активности. Так установлено, что практически все чрезвычайные ситуации природного и природно-техногенного характера на нефтегазопроводах в Приуралье происходят в пределах таких зон. Аналогичный вывод сделан многими авторами на основе аэрокосмогеологических исследований практически во всех нефтегазоносных регионах России [2, 3].

Выполненные нами исследования [6] расположения аварий на МНТ Беларуси показали, что в более чем 70 % случаев они приурочены к активным тектоническим структурам. Наблюдается явная корреляция между числом аварий, положением тектонических разломов и их активностью: на участке МНТ Полоцк – Браслав протяженностью 100 км, расположенного в активном Полоцко – Курземском поясе тек-

тонических разломов, в исследуемый период произошло 10 аварий; на участке Полоцк – Унеча (Витебская и Могилевская мульды, спокойные тектонические структуры), 450 км – 3 аварии; Унеча – Восточный край Припятского прогиба (район Гомеля), 166 км – 7 аварий; Припятский прогиб, активная тектоническая структура, 330 км – 44 аварии; Западный край Припятского прогиба Полеская седловина – Кобрин, 210 км – 22 аварии.

На наш взгляд, данную статистику нельзя игнорировать и исследования по обозначению опасных геологических участков МТ на территории РБ необходимо активизировать. В настоящее время этой проблеме уделяется недостаточное внимание, что связано со сложностью разработки алгоритмов, учитывающих влияние совокупных факторов на устойчивость трубопроводов. В научно-технических работах обращается, в основном, внимание на совершенствование гидравлических, тепловых и других «механических» расчетов; каждое влияние рассматривается отдельно [14, 15].

На наш взгляд, выходом из сложившейся ситуации может послужить постановка повторных геодезических измерений по деформационным маркам, установленным в местах частых аварий на трубопроводе. Это позволит определить величины изменения положения трубопровода от его проектного положения, вызванного всем комплексом воздействий, так как сила и слабость геодезических измерений как раз и состоит в том, что они фиксируют пространственное изменение положения объекта в результате совокупности воздействий, а не отдельных факторов.

Расчет напряженно-деформированного состояния трубопровода и его изменений во времени, на наш взгляд, можно выполнить через абсолютную величину изгибающего момента  $M_0$  трубы по результатам геодезических измерений (рис. 2), где  $Y_i$  – отклонения положения трубопровода от проектного, полученные из нивелирования, на деформационных марках, закрепленных на трубе.

Абсолютную величину изгибающегося момента  $M_0$  находим по одной из экспериментальных формул

$$M_0 = EI \frac{Y_{-2} - 8Y_{-1} + 14Y_0 - 8Y_1 + Y_2}{4h^2} + \frac{gh^2}{6},$$

$$M_0 = EI \frac{Y_{-2} - 16Y_{-1} + 30Y_0 - 16Y_1 + Y_2}{10h^2} + \frac{gh^2}{6}, \quad (1)$$

где  $EI$  – жесткость трубопровода на изгиб;  $g$  – сила тяжести трубопровода, отнесенная к единице его длины;  $Y_i$  – высотные смещения трубопровода, полученные по результатам нивелирования.

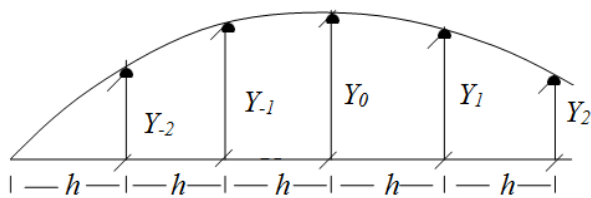


Рис. 2. Изгиб трубопровода по вертикали, измеренный нивелирным методом, как иллюстрация к расчету напряжений трубопровода вследствие этого изгиба

Модуль упругости  $E$  для стали применяется равным  $2,1 \cdot 10^5$  Мпа, а момент инерции поперечного сечения трубопровода  $I$  находится по формуле

$$I = \frac{\pi D^3 d}{8}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр трубопровода;  $d$  – толщина стенки трубопровода.

Величину  $g$  находим по формуле

$$g = \pi D d \gamma, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – удельный вес стали.

Найдя величину изгибающего момента  $M_0$ , находим далее значение напряжений изгиба по формуле

$$\sigma_0 = \frac{4M_0}{\pi D^2 d}. \quad (4)$$

Оптимальное значение расстояния  $h$  для расчетов принимается равным  $12D$ ,  $20D$ ,  $22D$ .

Если объем предварительной информации связать не с длиной линейного сооружения, а с предварительным нахождением точек перегиба оси трубопровода, то число измерений можно уменьшить. Конечно, формулы (1) и методику их применения для определения НДС трубопровода по данным геодезических измерений необходимо исследовать, чтобы довести до практического применения, но наличие рационального зерна в данном предложении не вызывает сомнения.

**Гидроэлектростанции (ГЭС)** В работе рассмотрен каскад ГЭС на реке Западной Двине, возводимый в период с 1930-х годов по настоящее время. Все входящие в указанный каскад гидроэлектростанции расположены на одной реке и принадлежат к одной активной тектонической структуре: Полоцко-Курземскому поясу тектонических



разломов (рис. 3), то есть геодинамика и техногенез здесь также взаимосвязаны.

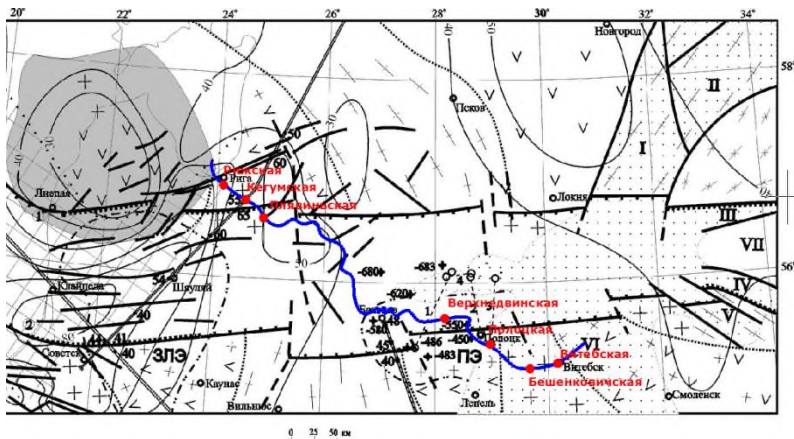


Рис. 3. Полоцко – Курземский пояс тектонических разломов и расположение каскада ГЭС (Рижская (с 1974 г.), Кегумская (с 1940 г.), Плявиньская (с 1966 г.), Верхнедвинская (проект), Полоцкая (с 2018 г.), Бешенковичская (проект), Витебская (с 2018 г.) на реке Западной Двине. Тектонические разломы даны по работе [16]

Статистика сейсмической активности в районе Латвийских ГЭС за последние 50 лет свидетельствует, что здесь происходили землетрясения до 6 баллов по шкале Рихтера. В результате исследований, выполненных нашим университетом и организациями НАНБ, установлено, что Полоцкая ГЭС расположена в зоне влияния тектонических разломов (Полоцкого, Чашникского и Туровлянского). На площадке ее строительства присутствует сейсмическая опасность от возникновения местных небольших, а также сильных землетрясений других регионов; на устойчивость сооружений могут неблагоприятно повлиять и ослабленные грунты тектонических разломов, где максимально проявляются деформации как тектонического происхождения, так и вследствие действия сезонных и технологических факторов; рекомендуемый уровень сейсмостойкости – 7 баллов.

В рамках НИР в 2014 г. Полоцкий университет создал ГДП «Полоцкая ГЭС» по мониторингу указанных разломов (рис. 4), на котором выполнено 3 цикла высокоточных спутниковых ГНСС наблюдений (2014, 2015, 2017 гг.). По результатам этих измерений вычислены [17] параметры горизонтальных деформаций земной коры (разно-

сти сторон, векторы горизонтальных смещений; компоненты деформации) и выполнена интерпретация с привлечением данных о возведении плотины, сооружений ГЭС и режиме заполнения водохранилища. По возможности, также учтено, что практически параллельно с Полоцкой ГЭС возводилась в 99 км выше по течению реки Витебская ГЭС проектной мощности 40 МВт, введенная в эксплуатацию летом 2017 г., через месяц после Полоцкой.

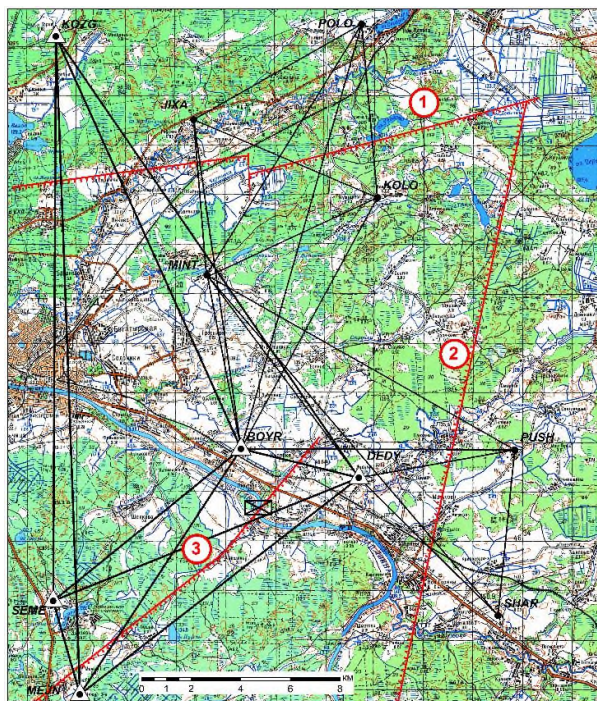


Рис. 4. Схема геодезической сети ГДП «Полоцкая ГЭС» и тектонические разломы

▲—▲ — пункты и стороны сети ГДП, отнаблюденные в 2014, 2015, 2017 гг.; ●—● — пункты и стороны сети ГДП, отнаблюденные в 2015, 2017 гг.; ☒ — Полоцкая ГЭС; — — — — тектонические разломы: ① — Полоцкий; ② — Чашникский; ③ — Туровлянский

Анализ распределения параметров деформаций на ГДП «Полоцкая ГЭС» показал, что они не только связаны с технологическим

циклом строительства и введением в эксплуатацию Полоцкой электростанции, но и распространяются на значительные территории от нее, охватывая все тектонические разломы, в зоне влияния которых она находится. Не исключено, что наблюдаемые деформации в какой-то степени коррелируются и с возведением Витебской ГЭС.

**Заключение.** Проведенные исследования убедительно свидетельствуют, что техногенные процессы с каждым годом все глубже накладываются на естественные геологические процессы, и это антропогенное вмешательство в подавляющем большинстве случаев сказывается отрицательно на экологии окружающей среды, что следует из выводов по каждому из объектов:

1. Многолетняя эксплуатация Старобинского месторождения привела к сложной экологической ситуации в районе. Крайне желательно усилить исследования геодинамических процессов и техногенеза на его территории путем создания современного ГДП с постановкой согласованных исследований всех наук о Земле. Выполнение разрозненных исследований является крайне неэффективным;

2. Деформации земной поверхности на ГДП «Полоцкая ГЭС» коррелируются с технологическими этапами возведения гидроэлектростанции и охватывают все тектонические разломы, в зоне влияния которых она расположена. В районе каскада ГЭС на реке Западной Двине желательно организовать мониторинговую геодинамическую сеть;

3. На аварийно-опасных участках МТ следует организовать мониторинговые геодезические измерения с выходом на расчеты НДС линейной части трубопровода, обусловленного совокупным влиянием тектонических и техногенных факторов;

4. Рекомендуется более широкое использование материалов дистанционного зондирования и ГИС технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Трифонов В. Г.* Стихийные бедствия в системе современных геодинамических процессов // Современная геодинамика и глубинное строение территории СССР. М.: Наука, 1990. С. 11–16.

2. *Ульмасвай Ф.* Геологические условия возникновения зон потенциальной аварийности магистральных газопроводов на севере Западной Сибири // Газовая промышленность, 1997. №7. С. 37–38.

3. *Михалев В. В., Копылов И. С., Аристов Е. А., Коноплев А. В.* Оценка техноприродных и социально-экологических рисков возникновения ЧС на магистральных продуктопроводах Пермского Приуралья // Трубопроводный транспорт: теория и практика. М.: ВНИИСТ, 2005. № 1. С. 75–77.

4. *Копылов И. С.* Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания, 2014. № 5–2. С. 110–114.

5. *Кугаенко Ю. А., Мельников Д. В.* Проявление техногенеза в геодинамически активном районе Мутновского гидроэнергетического комплекса (Южная Камчатка) // География и природные ресурсы, 2006. № 3. С. 30–37.
6. *Шароглазова Г. А., Коровкин В. Н., Липский В. К., Ялтыхов В. В., Соловьев А. Н.* Геолого-тектонические условия возникновения аварийности на магистральных нефтепроводах Белоруссии // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2008. № 1. С. 58–60.
7. *Галкин А. Н., Матвеев А. В., Павловский А. И., Санько А. Ф.* Инженерная геология Беларуси. Инженерная геодинамика Беларуси. Часть 2. Витебск, ВГУ, 2017. 451 с.
8. *Галкин А. Н., Матвеев А. В.* Инженерная геология Беларуси. Региональная инженерная геология. Часть 3. Витебск. ВГУ, 2018. 184 с.
9. Тэктанічная карта Беларусі. Нацыянальны атлас Беларусі. Минск, 2002. С. 46–47.
10. *Михайлов В. И., Тяшкевич И. А., Боборыкин А. М.* Изучение местных сейсмических явлений по картам и аэрокосмическим снимкам // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1991. № 5. С. 111–118.
11. *Губин В. Н., Ковалев А. А.* Космическая геология Беларуси. Мн.: Лазурек, 2008. 120 с.
12. *Аронова Т. И.* Особенности проявления сейсмотектонических процессов на территории Беларуси // Литосфера, 2006. № 2 (25). С. 103–110.
13. *Шароглазова Г. А.* Проектирование геодинамических исследований в районах взаимообусловленного влияния тектонических и техногенных факторов на состояние земной коры // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки, 2012. № 8. С. 166–171.
14. *Бородавкин П. П., Синюков А. М.* Прочность магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1984. 246 с.
15. *Клейм Г. К.* Расчет подземных трубопроводов. М.: Недра, 1969. 125 с.
16. *Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И., Астапенко В. И., Данкевич И. В.* Полоцко-Курземский пояс разломов // Доклады национальной академии наук Беларуси, 2002. Том 46. № 6. С. 85–89.
17. *Шароглазова Г. А., Маркович К. И.* Результаты исследований деформаций земной коры в районе каскада гидроэлектростанций на р. Западной Двине // Геодезия и картография, 2018. Т. 79. № 10. С. 7–15.

## REFERENCES

1. *Trifonov V. G.* Stikhiynye bedstviya v sisteme sovremennykh geodinamicheskikh processov [Natural disasters in the system of modern geodynamic processes]. Modern geodynamics and the deep structure of the USSR. М.: Nauka, 1990, pp. 11–16. (In Russian).
2. *Ulmasvaj F. C.* Geologicheskie usloviya vznikoneniya zon potentsialnoy avarijnosti magistralnykh gazoprovodov na severe Zapadnoy Sibiri [Geological conditions for the occurrence of zones of potential accident of the gas

pipelines in the north of Western Siberia]. Gas industry, 1997, no. 7, pp. 37–38. (In Russian).

3. *Mikhalev V. V., Kopylov I. S., Aristov E. A., Konoplev A. V.* Otsenka tekhnoprirodnnykh i sotsial'no-ekologicheskikh riskov vozniknoveniya ChS na magistral'nykh produktoprovodakh Permskogo Priural'ya [Assessment of technological and social-environmental risks of accidents on the main product pipelines of the Perm Urals]. Pipeline transport: theory and practice. M.: VNIIST, 2005, no. 1, pp. 75–77. (In Russian).

4. *Kopylov I. S.* Inzhenerno-geologicheskaya rol geodinamicheskikh aktivnykh zon [Engineering and geological role of geodynamic active zones]. Successes in modern science, 2014, no. 5–2, pp. 110–114. (In Russian).

5. *Kugaenko Yu. A., Melnikov D. V.* Proyavlenie tekhnogeneza v geodinamicheski aktivnom rayone Mutnovskogo gidroenergeticheskogo kompleksa (Yuzhnaya Kamchatka) [Manifestation of technogenesis in the geodynamically active region of the Mutnovskiy hydropower complex (South Kamchatka)]. Geography and natural resources, 2006, no 3, pp. 30–37. (In Russian).

6. *Sharoglazova G. A., Korovkin V. N., Lypski V. K., Jaltykhov V. V., Solovyov A. N.* Geologo-tektonicheskie usloviya vozniknoveniya avariynosti na magistralnykh nefteprovodakh Belorussii [Geological and tectonic conditions for the occurrence of accidents at the main oil pipelines of Belarus]. Automated technologies for research and design, 2008, no. 1, pp. 58–60. (In Russian).

7. *Galkin A. N., Matveev A. V., Pavlovsky A. I., Sanko A. F.* Inzhenernaya geologiya Belarusi. Inzhenernaya geodinamika Belarusi. Chast 2 [Engineering geology of Belarus. Engineering geodynamics of Belarus. Part 2] Vitebsk, VSU, 2017. 451 p. (In Russian).

8. *Galkin A. N., Matveev A. V.* Inzhenernaya geologiya Belarusi. Regionalnaya inzhenernaya geologiya. Chast 3 [Engineering geology of Belarus. Regional engineering geology. Part 3]. Vitebsk, VSU, 2018. 184 p. (In Russian).

9. Tektanichnaya karta Belarusi. Nacyanalny atlas Belarusi [Tectonic map of Belarus. National Atlas of Belarus]. Minsk, 2002, pp. 46–47. (In Belorussian).

10. *Mikhaylov V. I., Tyashkevich I. A., Boborykin A. M.* Izuchenie mestnykh seysmicheskikh yavleniy po kartam i aerokosmicheskim snimkam [Local seismic phenomena studying using maps and aerospace images]. Izv. universities. Geodesy and aerial photography, 1991, no. 5, pp. 111–118. (In Russian).

11. *Gubin V. N., Kovalev A. A.* Kosmicheskaya geologiya Belarusi [Space geology of Belarus]. Mn.: Lazurak, 2008. 120 p. (In Russian).

12. *Aronova T. I.* Osobennosti proyavleniya seysmotektonicheskikh protsessov na territorii Belarusi [Features of the manifestation of seismotectonic processes in Belarus]. Lithosphere, 2006, no. 2 (25), pp. 103–110. (In Russian).

13. *Sharoglazova G. A.* Proektirovanie geodinamicheskikh issledovaniy v rajonah vzaimoobuslovlennogo vliyaniya tektonicheskikh i tekhnogennykh faktorov na sostoyanie zemnoy kory [Designing geodynamic studies in areas of the interdependent influence of tectonic and technogenic factors on the state of the earth's crust]. Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Science, 2012, no. 8, pp. 166–171. (In Russian).

14. *Borodavkin P. P., Sinyukov A. M.* Prochnost magistralnykh truboprovodov [Durability of pipelines]. M.: Nedra, 1984. 246 p. (In Russian).
15. *Kleyim G. K.* Raschet podzemnykh truboprovodov [Calculation of underground pipelines]. M.: Subsoil, 1969. 125 p. (In Russian).
16. *Garetskiy R. G., Karataev G.I., Astapenko V.I., Dankevich I.V.* Polotsko-Kurzemskiy poyas razlomov [Polotsk-Kurzeme Fault Belt]. Reports of the National Academy of Sciences of Belarus, 2002. Vol. 46, no. 6, pp. 85–89. (In Russian).
17. *Sharoglazova G. A., Markovich K. I.* Rezultaty issledovaniy deformatsiy zemnoy kory v rayone kaskada gidroelektrostantsiy na r. Zapadnoy Dvine [[The results of studies of deformations of the earth's crust in the region of the cascade of hydroelectric power stations on the Western Dvina River]. Geodesy and Cartography, 2018. Vol. 79, no. 10, pp. 7–15. (In Russian).

**УДК: 519.632.4, 550.371.4**

**М. Н. Юдин, Д. С. Даев, А. Д. Каринский, Н. А. Севостьянов**  
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. 117997, Россия, г. Москва ул. Миклухо-Маклая д. 23; e-mail: yudinmn@gmail.com

## **О РАСЧЕТЕ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АНОМАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ. ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ**

***Аннотация.** В работе приведены результаты численных экспериментов, иллюстрирующих важную часть алгоритма решения трехмерной задачи ВЭЗ по методу Шварца. Для этой цели выбрана тестовая трехслойная модель среды, во втором слое которой содержится локальная вставка, являющаяся источником аномального поля. Основное внимание уделено деталям расчета плотности источников, локализованных в теле. Приведены алгоритмы и результаты расчетов непрерывных и дискретных величин плотности источников аномального потенциала (оригиналов) и их Фурье-спектров.*

*Для разработки программ, тестовых расчетов и визуализации результатов использованы средства системы компьютерной математики (СКМ) Маткад.*

***Ключевые слова:** Метод Шварца, математическое моделирование; метод ВЭЗ; аномальный потенциал локальных проводящих объектов.*