

## ТРЕХМЕРНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ ЗЕМНЫХ НЕДР – ОСНОВА РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

**В.В. Спичак**, зав. лаб. Института физики Земли РАН, д-р физ.-мат. наук, академик РАН и НАН; [v.spichak@mail.ru](mailto:v.spichak@mail.ru)

*В статье рассматриваются вопросы геофизической томографии земных недр применительно к решению задач рационального природопользования. Представлены результаты анализа исследований в этой области в зарубежных и российских организациях геолого-геофизического профиля. Раскрыты основные проблемы, снижающие эффективность отечественных работ в области рационального природопользования, и сформулированы предложения, направленные на ее повышение. По мнению автора, ключевым вопросом является создание государственного Центра инновационных геофизических технологий, основными задачами которого были бы разработка, сопровождение и внедрение передовых геофизических технологий в практику рационального природопользования.*

**Ключевые слова:** критические технологии, геофизическая томография, рациональное природопользование, трехмерные модели, комплексная интерпретация, геологическая среда, минерально-сырьевые ресурсы, геотермальная энергия, сейсмическое районирование, кадастровая оценка.

## THREE-DIMENSIONAL GEOPHYSICAL IMAGING OF THE SUBSURFACE – THE BASIS OF RATIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND NATURAL RESOURCES USE

**V.V. Spichak**, Head of Laboratory, Institute of Earth Physics, Russian Academy of Sciences, Ph.D. of Physics and Mathematics, Academician of Academy of Natural Sciences, [v.spichak@mail.ru](mailto:v.spichak@mail.ru)

*Issues of geophysical tomography of the earth's interior with regard to rational nature management are considered. The results of studies in this direction in different Russian and foreign geological – geophysical organizations are presented. The main drawbacks decreasing the effectiveness of the native works in the rational nature management are discovered and the suggestions aimed at its increasing are formulated. In the opinion of the author, the key issue should be launching of the State Centre for Innovative Geophysical Technologies, the main tasks of which would be their development and servicing aimed at rational nature management.*

**Keywords:** critical technologies, geophysical tomography, rational nature management, three-dimensional models, joint geophysical interpretation, geological medium, mineral resources, geothermal energy, seismic zoning, cadastral estimation.

Актуальность **геофизической томографии** (от греч. *tomos* – ломоть, слой и *grapho* – пишу), то есть, изучения геологических объектов путем исследования особенностей прохождения через них электромагнитных и упругих (сейсмических и др.) волн, связана с тем, что эффективность решения таких задач природопользования, как поиск, разведка и освоение природных ресурсов, оценка и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера, поиск мест для захоронения радиоактивных отходов, прогноз и мониторинг состояния геологической среды, лицензирование недр и др., напрямую зависит от полноты и достоверности наших знаний о петрофизических свойствах земных недр.

Если в недалеком прошлом эти задачи решались, главным образом, за счет геологической информации и применения геостатистических методов, то сегодня, когда легко дос-

тупные ресурсы близки к исчерпанию, в мире все больше применяются глубинные геофизические методы, позволяющие, в принципе, осуществлять геофизическую томографию земных недр и на этой основе решать перечисленные выше практические задачи.

Целью статьи является рассмотрение потенциальной роли трехмерной геофизической томографии земных недр для решения задач рационального природопользования в РФ и формулирование мер, направленных на повышение эффективности российской геолого-геофизической отрасли в целом.

### **Потенциальная роль и место геофизической томографии в научно-технологическом комплексе Российской Федерации**

Решение задач рационального природопользования связано со следующими критическими технологиями РФ [1]:

- технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи;
- технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику;
- технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения;
- технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;
- технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем.

Выполнение работ по трехмерной геофизической томографии земных недр могло бы сформировать опережающий научно-технологический задел по приоритетному направлению развития науки и технологий в Российской Федерации «Рациональное природопользование», а также служить для обеспечения более эффективного выполнения ФЦП, главными заказчиками которых является ряд министерств РФ.

Согласно «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 года» [2] «решающее значение в развитии научных геологических исследований имеет возможность обработки и освоения огромного объема геологических, геофизических, геохимических и дистанционных данных на основе современных информационных технологий. Принципиально новым является переход от качественных оценок к количественным моделям» (стр. 4). «Выявление новых источников минерального сырья становится все более сложным и дорогостоящим из-за усложнения условий проведения геолого-разведочных работ. Стоящие перед геологической отраслью проблемы определяют необходимость разработки новых подходов, научных теорий, методов и технологий поисков и разведки.» И далее: «весьма актуальным становится повышение глубинности исследований» (стр. 5).

Среди приоритетных направлений развития «геологической отрасли», как в РФ традиционно называют Министерство природных ресурсов и экологии РФ, планируется:

- повышение инвестиционной привлекательности геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы;
- совершенствование системы сбора, обработки, анализа, хранения и предоставления в пользование геологической информации;
- совершенствование научно-технического обеспечения геолого-разведочных работ;
- оценка и прогноз состояния недр на территориях, подверженных опасным геологическим процессам и явлениям;
- создание условий для внедрения инновационных технологий.

Как отмечается в «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» [3], для противодействия угрозам в сфере экологической безопасности и рациональ-

ного природопользования силы обеспечения национальной безопасности во взаимодействии с институтами гражданского общества создают условия для внедрения экологически безопасных производств, поиска перспективных источников энергии, формирования и реализации государственной программы по созданию стратегических запасов минерально-сырьевых ресурсов, достаточных для обеспечения мобилизационных нужд Российской Федерации и гарантированного удовлетворения потребностей населения и экономики в водных и биологических ресурсах» (стр. 14).

В «Энергетической стратегии России на период до 2030 г.» [4] в качестве стратегической цели отмечается «своевременность геологоразведки, подготовки и освоения новых месторождений (залей, площадей, участков, провинций) традиционных видов топлива, своевременность подготовки к использованию замещающих инновационных энергоресурсов и источников энергии по мере исчерпания традиционных ископаемых энергоресурсов» (стр. 15).

Существенная роль в Стратегии отводится развитию использования новых возобновляемых источников энергии и энергоносителей: «Вовлечение в топливно-энергетический баланс таких новых возобновляемых источников энергии, как геотермальная, позволит сбалансировать энергетический спрос и снизить экологическую нагрузку со стороны предприятий энергетики на окружающую среду» (там же, стр. 38–39). Согласно этому документу «роль государственного участия в развитии энергетического сектора будет заключаться преимущественно в поддержке инновационных направлений развития энергетического сектора (неуглеводородная энергетика и др.)» (там же, стр. 13). При этом для достижения стратегической цели инновационной и научно-технической политики в энергетике необходимо «воссоздание и развитие научно-технического потенциала, включая фундаментальную науку, прикладные исследования и разработки» (там же, стр. 27), в том числе, в области геофизической томографии земных недр.

Согласно «Основам государственной политики в области обеспечения безопасности населения Российской Федерации и защищенности критически важных и потенциально опасных объектов от угроз природного, техногенного характера и террористических актов на период до 2020 года» [5] необходимо создание условий для уменьшения рисков чрезвычайных ситуаций и реализации превентивных мер. Исходя из мировой практики наиболее развитых в экономическом плане государств, отношение средств, вложенных в предупреждение чрезвычайных ситуаций, к предотвращенному ущербу составляет 7–10 %. Если говорить о естественных катастрофах (таких, как землетрясения и извержения вулканов), то этот КПД напрямую зависит от точности предварительной оценки пространственного расположения возможных очагов землетрясений в земной коре и магматических камер активных вулканов, которые можно определить только на основе трехмерной геофизической томографии земных недр.

Министерство регионального развития РФ является Генеральным заказчиком-координатором ФЦП «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах РФ на 2009–2018 гг.» [6]. Согласно этому документу «важнейшими результатами реализации Программы являются: снижение социального, экономического и экологического риска в сейсмических районах Российской Федерации; уменьшение потерь населения от разрушительных землетрясений; уменьшение ущерба, наносимого зданиям и сооружениям в результате землетрясения». Оценка и прогноз состояния геологической среды, а также построение детальных карт сейсмического районирования участков недр по результатам их трехмерной геофизической томографии способствовало бы достижению этих целей с наименьшими затратами.

Кроме того, НИОКР в этом направлении позволят создать хорошую основу для более эффективного поиска новых источников энергии (в частности, геотермальных) в ряде регионов РФ (Крым, Камчатка, Северный Кавказ, и др.), характеризующихся повышенным тепловым потоком, и, соответственно, их социально-экономического развития. Это, в част-

ности, напрямую касается регионов, перечисленных в ФЦП, выполняемых под патронажем Министерства регионально развития РФ:

- «Юг России (2014–2020)»;
- «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Забайкалья на период до 2018 года» и др.

Наконец, трехмерная геофизическая томография земных недр позволит более эффективно осуществлять поиск мест для захоронения радиоактивных отходов, а также проводить дистанционный мониторинг состояния геологической среды в местах локализации оборонных объектов. Соответственно, это повысит эффективность обеспечения ядерной и радиационной безопасности населения [5].

#### **Работы по геофизической томографии, проводимые за рубежом**

Работы по трехмерной геофизической томографии земных недр проводятся, в основном, за рубежом (см. ссылки в аналитическом документе [7]). В частности, НИОКР по электромагнитной томографии осуществляются в ряде зарубежных университетов и исследовательских центров: SEMI (Консорциум по электромагнитному моделированию и инверсии Университета Юты, США); EST (Отделение наук о Земле Лаборатории Беркли, США); AIST (Национальный институт передовой прикладной науки и технологии, Цукуба, Япония) и некоторых других.

Исследования по трехмерной сейсмической томографии земных недр проводятся, главным образом, в крупных нефтяных компаниях (Shell, Statoil, Schlumberger), а также в ряде университетов США: Colorado School of Mines (Горная Школа Колорадо, Голден), MIT (Массачусетском Технологическом Институте, Кембридж), университете Rice (Хьюстон, Техас) и некоторых других.

Наконец, в мире все шире применяется комплексный количественный анализ данных, полученных в результате трехмерной геофизической томографии земных недр. Ведущими центрами по этому направлению можно считать GFZ (Центр физики Земли, Потсдам, Германия); Университет Ланкастера (Великобритания), компанию Schlumberger Doll Res.; CICESE (Центр научных исследований и высшего образования, Энсенада, Мексика); а также соответствующие департаменты Геологических служб США, Великобритании, Австралии.

Наработки в этой области реализуются в ходе выполнения крупных транснациональных проектов, осуществляемых под эгидой Международного Союза геодезии и геофизики (IUGG), Европейского геофизического союза (EGU), Международной программы научного бурения на континентах (ICDP) и других международных организаций. Еще в 80–90 гг. XX века в США был проведен эксперимент EMSLAB (EMSLAB-Juan de Fuca: ElectroMagnetic Study of the Lithosphere and Asthenosphere Beneath the Juan de Fuca Plate), задуманный как широкомасштабное электромагнитное зондирование литосферы и астеносферы под плитой Хуан де Фука, расположенной в Тихом океане к западу от североамериканского континента. В проведении эксперимента и анализе его результатов участвовали геофизики из восьми стран, в том числе США, Канады, Австралии, Японии, СССР и др.

В 1992 г. в Европе силами ученых и специалистов из 31 страны при финансовой поддержке Европейского научного фонда (ESF) (в размере примерно 250 тыс. евро в год и дополнительно привлеченных ресурсов в размере примерно 5 млн евро в год) был начат широкомасштабный международный проект EUROPROBE ([www.geofys.uu.se/eprobe](http://www.geofys.uu.se/eprobe)), в рамках которого выполнялись субпроекты BRIDGE, EUROBRIDGE, SVEKALAPKO, BEAR, TESZ, URALIDES, URSEIS, POLONAISE и др. Главной заявленной целью всего проекта было изучение структуры и геодинамических процессов в литосфере европейского континента от Атлантики до Урала, хотя важными побочными целями были разведка георесурсов, уменьшение рисков природных катастроф, поиск мест для захоронения токсичных отходов и др.

В ходе выполнения проекта URALIDES изучалось происхождение геологических структур Среднего Урала по сейсмическим данным. В проекте TESZ анализировались карты

гравитационных и магнитных полей Европы. Проект SVEKALAPKO был сконцентрирован на изучении геологии и геохронологии метаморфических коллизионных зон высокого давления Кольского шва и связанных с ним зон аккреции. В рамках проекта EUROBRIDGE сейсмические данные вдоль профиля длиной 1500 км, протянутого от Белоруссии до Украины, анализировались совместно с палеомагнитными данными, а также данными геохронологии. В проекте BEAR было проведено площадное магнитотеллурическое зондирование, покрывавшее территорию Северной Скандинавии и большую часть Финляндии. Наконец, в проекте GEODE, связанном с EUROPROBE, помимо чисто научных целей рассматривались вопросы поиска крупных месторождений полезных ископаемых.

В национальном проекте EARTHSCOPE ([www.earthscope.org](http://www.earthscope.org)), который осуществляется на территории США, вся территория страны покрывается равномерной сеткой датчиков для измерения сейсмических, магнитотеллурических, геодезических данных. Одновременно осуществляются спутниковые измерения, с помощью которых, помимо прочего, определяется локализация и пути миграции магмы в вулканоактивных областях, а также потенциально сейсмоопасные зоны. На основании построенных трехмерных петрофизических моделей среды и их комплексного количественного анализа создаются базы данных для последующего решения прикладных задач. Наряду с изучением структуры североамериканского континента, его динамики и эволюции, ставятся задачи оценки и снижения риска природных катастроф, а также поиска и разведки природных ресурсов.

Таким образом, налицо мировая тенденция к комплексной трехмерной геофизической томографии земных недр с помощью регулярной сети геофизических зондирований; создания баз цифровых данных; построения трехмерных петрофизических моделей среды и их последующего анализа для решения задач рационального природопользования.

#### **Отечественные фундаментальные и прикладные исследования**

В России проводятся исследования по отдельным направлениям геофизической томографии. В частности, в области построения трехмерных моделей среды по электромагнитным данным – в Лаборатории методологии интерпретации электромагнитных данных ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Новосибирском Государственном Техническом Университете, Сибирском научно-исследовательском институте геологии, геофизики и минерального сырья (Новосибирск)). Количественные методы комплексирования результатов геофизических зондирований разрабатываются на кафедре геофизики *Российского государственного геологоразведочного университета*, в упомянутой выше Лаборатории ЦГЭМИ ИФЗ РАН, ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика» и Лаборатории геоинформатики ВНИИ Геосистем Министерства природных ресурсов и экологии РФ.

Под патронажем РОСНЕДР РФ уже многие годы проводятся геофизические исследования вдоль сети опорных профилей. В тоже время, следует признать, что, несмотря на большой объем выполненных полевых работ и затраченных средств, их эффективность крайне низка. По мнению автора, это связано с рядом причин:

– анализ геофизических данных в условиях их недостаточности, зашумленности и неравномерной сети измерений часто проводится методами, не позволяющими снизить негативное воздействие этих факторов;

– интерпретация геофизических зондирований вдоль отдельных профилей проводится, как правило, с помощью одномерной/двумерной инверсии электромагнитных или сейсмических данных, что не позволяет строить адекватные трехмерные геолого-геофизические модели участков земных недр;

– комплексный анализ разных геофизических данных зачастую проводится на качественном уровне, что не позволяет выходить на построение количественных петрофизических моделей и, как следствие, делать научно-обоснованные выводы о глубокозалегающих георесурсах, сейсмическом районировании местности, подходящих местах для захоронения токсичных и ядерных отходов и т.д.

В результате отмеченных выше недостатков современный потенциал геофизической томографии как метода решения задач рационального природопользования в РФ практически не используется. С этим связаны риски:

- снижения общих объемов добычи полезных ископаемых (из-за отсутствия научно-обоснованных методик их поиска и разведки в труднодоступных условиях, в частности, на глубинах 3–5 км);

- сохранения неоптимальной структуры российского топливно-энергетического сектора, ориентированного на добычу углеводородов (идущих, главным образом, на экспорт) и практически не использующего такие возобновляемые источники энергии, как геотермальные ресурсы, которые могли бы быть востребованы во многих регионах РФ для обеспечения локальных нужд на региональном и даже муниципальном уровне (во многом, из-за традиционной ориентации на дорогостоящее бурение разведочных скважин, а не на передовые методики дистанционной оценки температуры и фильтрационно-емкостных свойств пород, основанные на результатах трехмерной геофизической томографии);

- неэффективной защиты населения, а также народно-хозяйственных и оборонных объектов, от сейсмической активности (из-за ориентации строительной отрасли на СНИПы, основанные на картах сейсмического районирования территории РФ в масштабе 1:10000000, в то время как на основе современных методик, основанных на результатах трехмерной геофизической томографии, это можно было бы делать в масштабе 1:200000);

- экономических потерь из-за отсутствия научно-обоснованной базы геолого-геофизической знаний для кадастровой оценки и лицензирования земельных участков, и т. д.

#### **Области возможного применения результатов исследований по геофизической томографии**

Между тем, решение задач рационального природопользования на основе результатов трехмерной геофизической томографии земных недр могло бы иметь множественное влияние (как в среднесрочной, так и в долгосрочной перспективе) в следующих областях:

##### **Технологическая**

Разработанные программно-алгоритмические средства построения трехмерных количественных геофизических моделей среды, составляющие суть геофизической томографии, а также косвенной оценки петрофизических свойств пород на больших глубинах по геофизическим данным, создадут новую технологическую платформу для более эффективного проведения поисково-разведочных работ в земных недрах и тем самым будут способствовать реализации «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 года» [2].

##### **Технико-экономическая**

Использование на практике разработанных методик количественного анализа геолого-геофизических данных позволит:

- существенно повысить точность пространственной локализации при поиске и разведке георесурсов (в частности, резервуаров нефти/газа, а также геотермальной энергии);

- осуществлять дистанционный 4D мониторинг состояния геосреды, а также запасов углеводородов и геотермальных ресурсов;

- снизить расходы на поиск и разведку георесурсов на больших глубинах, что делает их экономически выгодными и позволит ввести в народнохозяйственный оборот;

- уменьшить издержки, связанные со строительством в сейсмоактивных регионах по устаревшим СНИПам;

- повысить эффективность использования потенциала системы опорных геофизических профилей РФ.

##### **Экологическая**

Использование разработанных методик и программно-алгоритмических средств косвенной дистанционной оценки физико-механических и петрофизических характеристик среды позволит снизить объемы разведочного бурения скважин, что положительно отразится на экологической обстановке соответствующих регионов.

### **Социальная**

Применение принципиально новых методик и технологий рационального природопользования позволит:

- расширить наши знания о земных недрах без проникновения в их глубины;
- осуществлять дистанционный прогноз состояния геологической среды;
- уменьшить производственные издержки и повысить экологическую безопасность при проведении буровых работ;
- создать надежную научно-обоснованную базу для кадастровой оценки и лицензирования земельных участков.

### **Национальная оборона, государственная и общественная безопасность**

Новые научно-обоснованные методики и соответствующие информационно-вычислительные средства позволят дистанционно оценивать состояние участков земных недр по измерениям геофизических полей на поверхности Земли и/или в атмосфере. В свою очередь, это позволит:

- снизить риски построения важных народно-хозяйственных и оборонных объектов в сейсмо- и вулканоактивных регионах;
- осуществлять поиск безопасных мест для захоронения токсичных и радиоактивных отходов;
- осуществлять дистанционный 4D мониторинг состояния земных недр в местах расположения важных народно-хозяйственных и оборонных объектов с целью прогнозировать состояние соответствующих участков земных недр.

### **Предложения по повышению эффективности работ по рациональному природопользованию**

В России есть все необходимые предпосылки для успешного решения задач рационального природопользования на основе трехмерной геофизической томографии земных недр:

- за последние 20–25 лет появилось понимание того, что базовая геофизическая информация, которая используется для оценки петрофизических и фильтрационно-емкостных свойств пород, а также построения литологических моделей, во-первых, должна учитывать трехмерность среды и, во-вторых, требует количественного комплексирования разных методов;
- в отдельных институтах РАН, а также в некоторых ВУЗах, в последние годы был создан научно-методический задел для успешного решения прикладных геофизических задач;
- продолжается государственное финансирование создания сети опорных геофизических профилей.

В то же время, низкая эффективность работ по рациональному природопользованию связана, по мнению автора, с рядом факторов:

- недооценкой государственными структурами актуальности рассматриваемой темы для развития российской экономики и общества;
- традиционной ориентацией соответствующих государственных институтов, главным образом, на устаревшие геологические, а не на передовые геофизические методы рационального природопользования (что проявляется, в частности, в неоправданно большом числе научно-исследовательских институтов геологического профиля и мизерном – геофизического);
- отсутствием государственных структур, ответственных за внедрение передовых достижений отечественной разведочной геофизики в различные отрасли российской экономики.

Для повышения эффективности работ по рациональному природопользованию, по мнению автора, необходимо создать государственный Центр инновационных геофизических технологий.

В задачи Центра инновационных геофизических технологий входили бы:

- разработка, сопровождение и внедрение инновационных геофизических технологий в практику;
- организация межведомственной кооперации в этой сфере;
- экспертиза геолого-геофизических проектов;
- консультации и переобучение персонала региональных геолого-разведочных организаций, а также заинтересованных специалистов других ведомств;
- международное сотрудничество (в частности, с Геологическими службами других стран) для организации транснациональных геолого-геофизических проектов.

### **Заключение**

В статье рассмотрены вопросы геофизической томографии земных недр применительно к решению задач рационального природопользования. Представлены результаты анализа исследований в этой области в зарубежных и российских организациях геолого-геофизического профиля. Раскрыты основные проблемы, снижающие эффективность отечественных работ в области рационального природопользования, и сформулированы предложения, направленные на ее повышение. Для этого, по мнению автора, необходимо создать государственный Центр инновационных геофизических технологий, основными задачами которого были бы разработка, сопровождение и внедрение инновационных геофизических технологий в практику.

В результате его работы можно будет существенно повысить технико-экономическую эффективность решения стратегических задач развития страны, сформулированных в «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 г.», «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года», «Энергетической стратегии России на период до 2030 г.» и др. правительственных документах.

### **Список литературы**

1. Распоряжение Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 1273-р «Перечень технологий, имеющих важное социально-экономическое значение или важное значение для обороны страны и безопасности государства (критических технологий)». Available at: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. № 1039-р «Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года». Available at: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/d26/strategija.doc>.
3. Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года». Available at: <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html>.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года». Available at: <http://minenergo.gov.ru/aboutminenergostrategy/Strategiya/Energostrategiya-2030.doc>.
5. Поручение Президента РФ от 15.11.2011 № Пр-3400 «Основы государственной политики в области обеспечения безопасности населения Российской Федерации и защищенности критически важных и потенциально опасных объектов от угроз природного, техногенного характера и террористических актов на период до 2020 года». Available at: [http://www.mchs.gov.ru/law/Ukazi\\_Prezidenta\\_RF/item/33094756](http://www.mchs.gov.ru/law/Ukazi_Prezidenta_RF/item/33094756).
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 апреля 2009 г. № 365 о федеральной целевой программе «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2018 годы». Available at: <http://www.gosstroy.gov.ru/images/fsp/postenovlenie-pr-365-23.04.2009.pdf>.
7. Спичак В.В. Разработка научно-методических основ и программно-алгоритмических средств трехмерной геофизической томографии земных недр. 2015. Аналитический документ по заказу ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ Минобрнауки РФ. 78 с.



## References

1. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 14 iyulya 2012 g. No. 1273-r «Perechen' tekhnologiy, imeyushchikh vazhnoe sotsial'no-ekonomicheskoe znachenie ili vazhnoe znachenie dlya oborony strany i bezopasnosti gosudarstva (kriticheskikh tekhnologiy)»* [The decree of the RF Government dated July 14, 2012. No. 1273-p «List of technologies, having important social and economic meaning or important meaning for national defense and state security (critical technologies)»]. Available at: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>.
2. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 21 iyunya 2010 g. No. 1039-r «Ctategiya razvitiya geologicheskoy otrasli do 2030 goda»* [Statement of The Government of the Russian Federation dated 21 June 2010. No. 1039-p «Strategy of development of geological branch till 2030»]. Available at: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/d26/strategija.doc>.
3. *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 12 maya 2009 g. No. 537 «O strategii natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda»* [The Decree of the President of the Russian Federation 12 may 2009. No. 537 «About strategy of national security of the Russian Federation until 2020»]. Available at: <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html>.
4. *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 noyabrya 2009 g. No. 1715-r «Energe-ticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda»* [Statement of The government of the Russian Federation dated 13 November 2009. No. 1715-R «Energy strategy of Russia for the period till 2030»]. Available at: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/Strategiya/Energostrategiya-2030.doc>.
5. *Poruchenie Prezidenta RF ot 15.11.2011 No. Pr-3400 «Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti obespecheniya bezopasnosti naseleniya Rossiyskoy Federatsii i zashchishchennosti kriticheski vazhnykh i potentsial'no opasnykh ob'ektov ot ugroz prirodnogo, tekhnogennogo kharaktera i terroristicheskikh aktov na period do 2020 goda»* [The order of the President of the Russian Federation on 15.11.2011. No. PR-3400 «Fundamentals of state policy in the field of safety of the Russian Federation population and security of critically important and potentially hazardous objects from threats of natural, man-made disasters and terrorist acts for the period up to 2020»]. Available at: [http://www.mchs.gov.ru/law/Ukazi\\_Prezidenta\\_RF/item/33094756](http://www.mchs.gov.ru/law/Ukazi_Prezidenta_RF/item/33094756).
6. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 23 aprelya 2009 g. No. 365 o federal'noy tselevoy programme «Povyshenie ustoychivosti zhilykh domov, osnovnykh ob'ektov i sistem zhizneobespecheniya v seysmicheskikh rayonakh Rossiyskoy federatsii na 2009–2018 gody»* [Resolution of the Government of the Russian Federation of 23 April 2009. No. 365 on the Federal target program «Increase of stability of dwelling houses, basic facilities and life support systems in seismic regions of the Russian Federation for 2009–2018 years»]. Available at: <http://www.gosstroy.gov.ru/images/fsp/poste-novlenie-pr-365-23.04.2009.pdf>.
7. Spichak V.V. (2015) *Razrabotka nauchno-metodicheskikh osnov i programmno-algoritmicheskikh sredstv trekhmernoy geofizicheskoy tomografii zemnykh neдр* [Development of scientific and methodological foundations and program-algorithmic tools for three-dimensional geophysical tomography of the earth's interior] *Analiticheskiy dokument po zakazu FGBNU NII RINKTsE Minobrnauki RF* [An analytical paper by the order of SRI FRCEC, Ministry of education and science of the Russian Federation]. P. 78.