

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В НЕДРАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А.М. Романов e-mail: ramix06@mail.ru

Республиканское государственное предприятие Институт геофизических исследований Республики Казахстан

Согласно оценке Комитета экологии РК в недрах Семипалатинского испытательного полигона сосредоточено свыше 90% активности продуктов ядерных взрывов. Мониторинг радиационной ситуации недр включает установление местоположения потоков подземных вод и выявление связи потоков вод с очагами взрывов.

Выполнены теоретические, экспериментальные и натурные исследования. Установлено, что взаимодействие твердой и жидкой фаз литосферы определяется динамическим, структурным и вещественным факторами. Динамический фактор – скорость движение вод, структурный – поперечное сечение потоков вод, вещественный – состав горных пород и вод. Эти факторы могут влиять на межфазный переход веществ только через посредство электрического поля потенциала течения.

Динамический фактор определяется на основе данных естественного электрического поля потенциала течения поверхностными съемками (ЕП), а также каротажа скважин. Структурный фактор определяется совместными данными съемок кажущегося сопротивления (КС) и ЕП. Вещественный фактор – данными КС. Натурные исследования выполнены на площадках Дегелен (взрывы в штольнях с выходом потоков радиоактивных вод на поверхность) и Балапан (подземные взрывы в скважинах). Отложение радионуклидов из потоков поверхностных вод в горные породы долины ручьев отмечено преимущественно в местах динамических, структурных и вещественных особенностей площадки Дегелен, отвечающих теоретическим представлениям и экспериментальным данным. Влияние этих особенностей на отложение радионуклидов доказано результатами поверхностных бета- и гамма-съемок, определяющих активности стронция-90 и цезия-137 соответственно.

Это позволило перейти к следующему этапу: доказательству возможности дистанционного определения миграции радионуклидов в недрах. По 16 независимым участкам площадки Балапан проведены электроразведочные съемки методами КС и ЕП. С их помощью выделены структуры, в которых могут быть потоки вод, в том числе содержащих радионуклиды. Определение местоположения зон с повышенной активностью радионуклидов выполнено съемкой эксхалляции трития. Связь повышенной активности газового трития с особенностями проявлений динамического, структурного и вещественного факторов объясняется теми же причинами, что и переход веществ между твердой и жидкой фазами горных пород.

Результаты представленных работ могут использоваться при оценке радиационной безопасности недр, проектировании, эксплуатации и постэксплуатации объектов атомной промышленности, а также при инспекции на местах предполагаемых подземных ядерных взрывов.

По ориентировочной оценке Комитета экологии РК в недрах Семипалатинского испытательного полигона сосредоточено свыше 90% активности продуктов ядерных взрывов. Это представляет угрозу для персонала, ведущего горные работы, а также для населения и окружающей среды при поступлении этих продуктов на поверхность земли и в атмосферу. Для оценки радиационной безопасности необходимо определение возможности поступления радиоактивных веществ из недр в биосферу. Мониторинг радиационной ситуации включает установление структуры недр и динамики перераспределения радионуклидов в результате взаимодействия потоков вещества с вмещающими горными породами.

Радионуклиды, как природные, так и техногенные, относятся к химическим элементам. После взрыва, или иного поступления в окружающую среду, их поведение в геосфере определяется геологическими процессами. В настоящее время эти процессы преимущественно описываются с помощью представлений химической термодинамики. Определяющим условием применимости химической термодинамики является закрытость системы, в которой происходят реакции взаимодействия веществ. Причем реагирующие вещества и продукты реакции остаются на месте прохождения реакции.

Геологическая среда представляет собой трехфазную систему: газ, вода и твердотельные образования (минералы). Фактически она является открытой, т.к. потоки газов и вод подвижны. Они привносят новые реагирующие вещества и выносят продукты реакции. Таким образом, условие применимости химической термодинамики не соблюдается. Приемы, использующие положение о квазистационарности геологических процессов, относятся к попытке утверждения о том, что их интегральное и дифференциальное представления выражаются одними и теми же

формульными характеристиками. Принятие носит априорный характер и его справедливость не доказана.

Автором выполнены исследования по определению энергии электрического поля ионных соединений, сгруппированных по кислотной составляющей. Установлена высокая, статистически значимая прямая связь энергии электрического поля с термодинамическими параметрами этих же соединений - энтропией и удельной теплоемкостью. Несколько слабее, но тем не менее, статистически значима отрицательная связь электрической энергией поля с термодинамическими параметрами – энтальпией, а также энергией Гиббса [1].

Согласно опытам по различию нагрева ионопроводящих сред в приэлектродных зонах электролизных ячеек установлено, что это различие связано со структурированием воды вблизи электродов. Как известно, чем больше структурирование среды – тем ниже ее энтропия. В то же время, при структурировании вещества происходит выделение тепла. Представляется справедливым предположение о том, что электрическая энергия ионных соединений, а также их энтропия (и удельная теплоемкость) являются сторонами одного и того же процесса – взаимодействия химических элементов [2]. Согласно опытам с электролизной ячейкой ориентировочное соотношение тепловой и электрической энергии составляет 1:4 [2], тогда, как предполагалось их равенство. Возможно, что при более строгом учете параметров процесса соотношение будет уточнено.

Высокая теснота связи термодинамических и электрофизических параметров обосновывают возможность использования последних для изучения взаимодействия горных пород и вод. Этим доказывается применимость параметров химической термодинамики для открытых средств через посредство электрофизических параметров. Выполнены теоретические, экспериментальные и натурные исследования. Установлено, что взаимодействие твердой и жидкой фаз литосферы определяется динамическим, структурным и вещественным факторами. Динамический фактор – скорость движение вод, структурный – поперечное сечение потоков вод, вещественный – состав горных пород и вод. Эти факторы могут влиять на межфазный переход веществ только через посредство электрического поля, в частности – потенциала течения.

Динамический фактор определяется на основе данных естественного электрического поля потенциала течения поверхностными съемками (ЕП), а также каротажа скважин. Структурный фактор определяется совместными данными съемок кажущегося сопротивления (КС) и ЕП. Вещественный фактор – данными КС.

В результате подземных ядерных взрывов формируются зоны трещиноватости, заполняющиеся водой. При прохождении по зонам трещиноватости площадь поперечного сечения водного потока изменяется. На участках расширения сечения происходит возрастание положительного потенциала вод относительно вмещающих горных пород. Кроме того, согласно известному гидродинамическому опыту в местах расширения поперечного сечения потока давление воды на стенки возрастает. Соответственно возрастает поступление воды и содержащихся в ней веществ во вмещающие породы. И наоборот.

Натурные исследования первого этапа выполнены на площадке Дегелен (потоки радиоактивных вод из штолен с выходом на поверхность земли) [2]. По руслу ручья Узынбулак проведены маршрутные съемки мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения, кажущегося электрического сопротивления (КС) и потенциала течения (рисунок 1). Максимум МЭД оказался приурочен к краевой части явно выраженного максимума ЕП (потенциала течения) и к краевой части максимума КС.

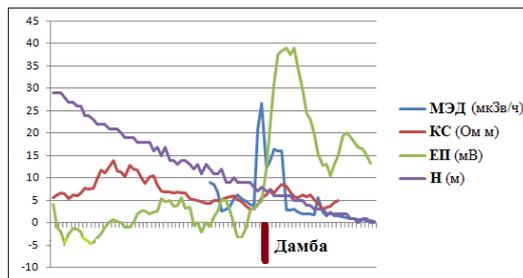
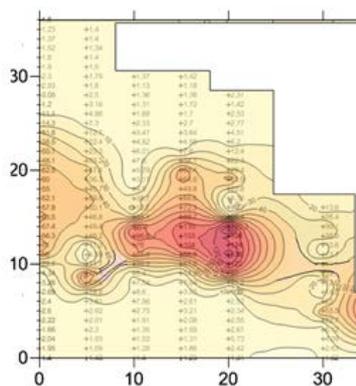
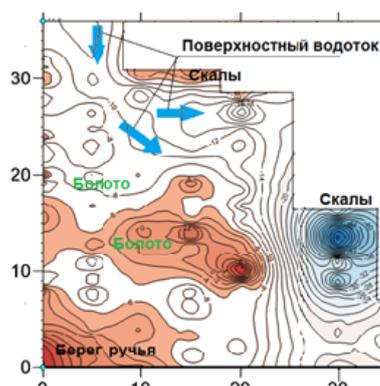


Рисунок 1 – Результаты маршрутных съемок на участке дамбы, перегораживающей ручей Узынбулак)

Аналогична приуроченность аномалии МЭД к зоне максимума ЕП в русле ручья Байтлес (рисунок 2).



Гамма-активность



Естественное электрическое поле

Рисунок 2 – Сопоставление данных распределений радионуклидов (гамма-активности) и потенциала течения электрического поля на участке ручья Байтлес

Представленные результаты по двум независимым участкам являются сходными. Они не только доказывают наличие электрофизических факторов, но и демонстрируют их взаимодействие в процессе межфазного перехода веществ. Отложение радионуклидов из потоков поверхностных вод в горные породы долины ручьев происходит преимущественно в местах динамических, структурных и вещественных особенностей площадки Дегелен, отвечающих теоретическим представлениям и экспериментальным данным [2].

Это позволило перейти к следующему, более сложному этапу: доказательству возможности дистанционного определения миграции радионуклидов в недрах. По 16 независимым участкам площадки Балапан проведены электроразведочные съемки методами КС и ЕП.

На примере данных площадной электроразведочной съемки методом срединного градиента по участку ПЯВ скважины № 1067 выявлена серия линейно вытянутых понижений КС (рисунок 3). Протяженность их достигает 600 – 700 м, а ширина 20-50 м. Эти понижения интерпретируются как зоны интенсивного «подновления» имеющихся геологических разломов различных направлений [2]. На рисунке 4 приведена карта распределений КС на участке ПЯВ в скважине № 1225. В центре находится локальное понижение КС (1). Наряду с этим устанавливается еще семь аналогичных понижений (2-8).

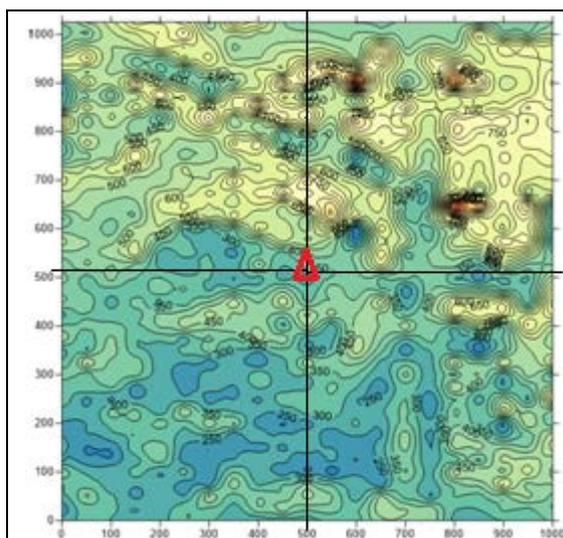


Рисунок 3 – Подновленные линейные структуры

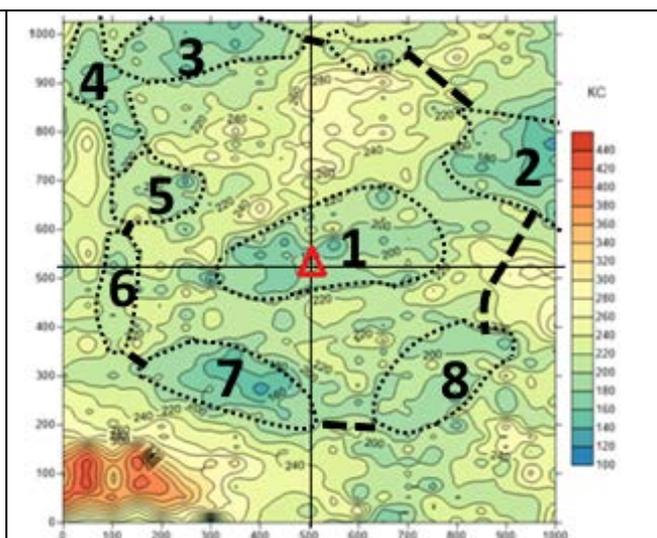


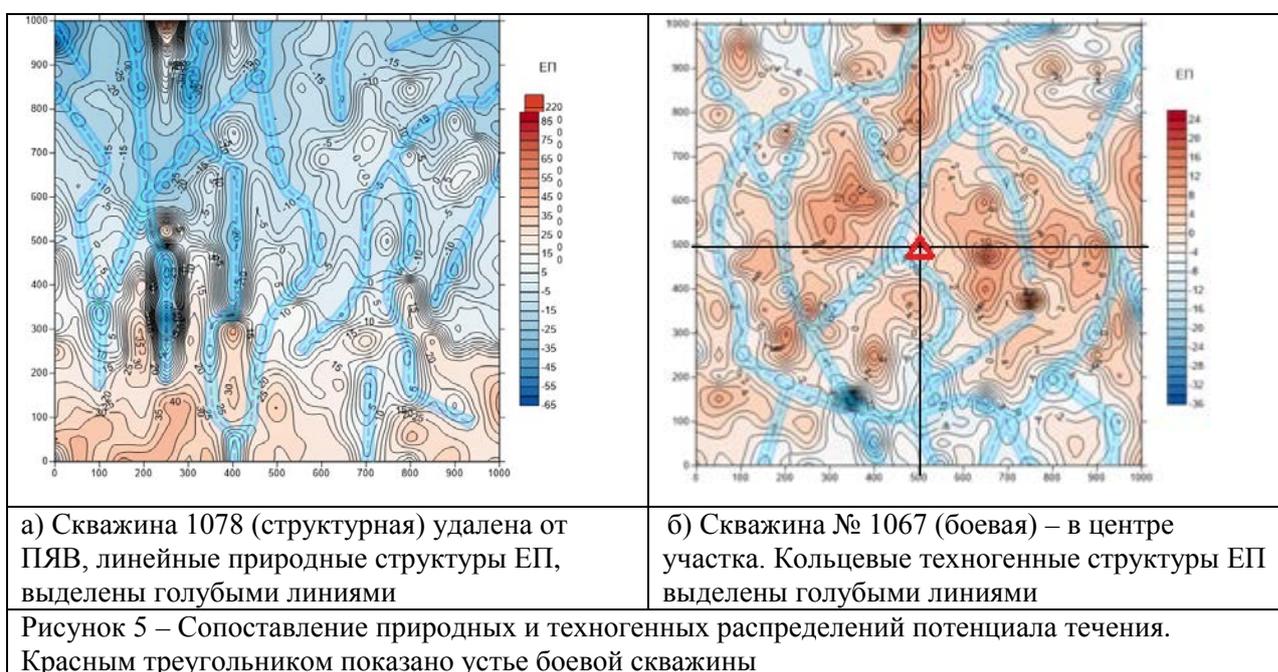
Рисунок 4 – Техногенные кольцевые структуры

Подновленные и вновь образованные структуры по данным КС на боевых скважинах. Красными треугольниками показаны устья скважин

Интерпретация:

- центральная зона 1 отмечает интенсивную трещиноватость горных пород непосредственно над очагом ПЯВ;
- зоны 2-8 объединяются в кольцевую зону, окружающую центральную зону.

Движение вод сопровождается формированием естественного электрического поля (ЕП). По данным электроразведки методом естественного электрического поля к особенностям распределений потенциала отнесены: понижение значений ЕП на участках истока и сужений русла потоков подземных вод, и повышение – на участках замедления и расширения потоков. Чем больше скорость течения, тем больше уровень потенциала, который прямо влияет на реакции обмена веществ между твердой и жидкой фазами горных пород. Миграция и межфазный переход радионуклидов возможны и в природных и в техногенных структурах. Форма зон водопроводимости природных и техногенных структур существенно различается. На удалении 1-2 км от эпицентров подземных ядерных взрывов распределения ЕП чаще представлены линейными зонами, свойственными природным зонам трещиноватости – разломам (рисунок 5 а). В непосредственной близости от мест подземных ядерных взрывов воздействие на вмещающие массивы горных пород проявлено локально и, преимущественно в форме колец, концентрических эпицентру. На расстоянии до 400 м и более от боевых скважин распределения ЕП имеют специфическую форму, близкую к кольцевой (рисунок 5 б). В целом на таких участках гидродинамические структуры характеризуются смешанными формами [2].

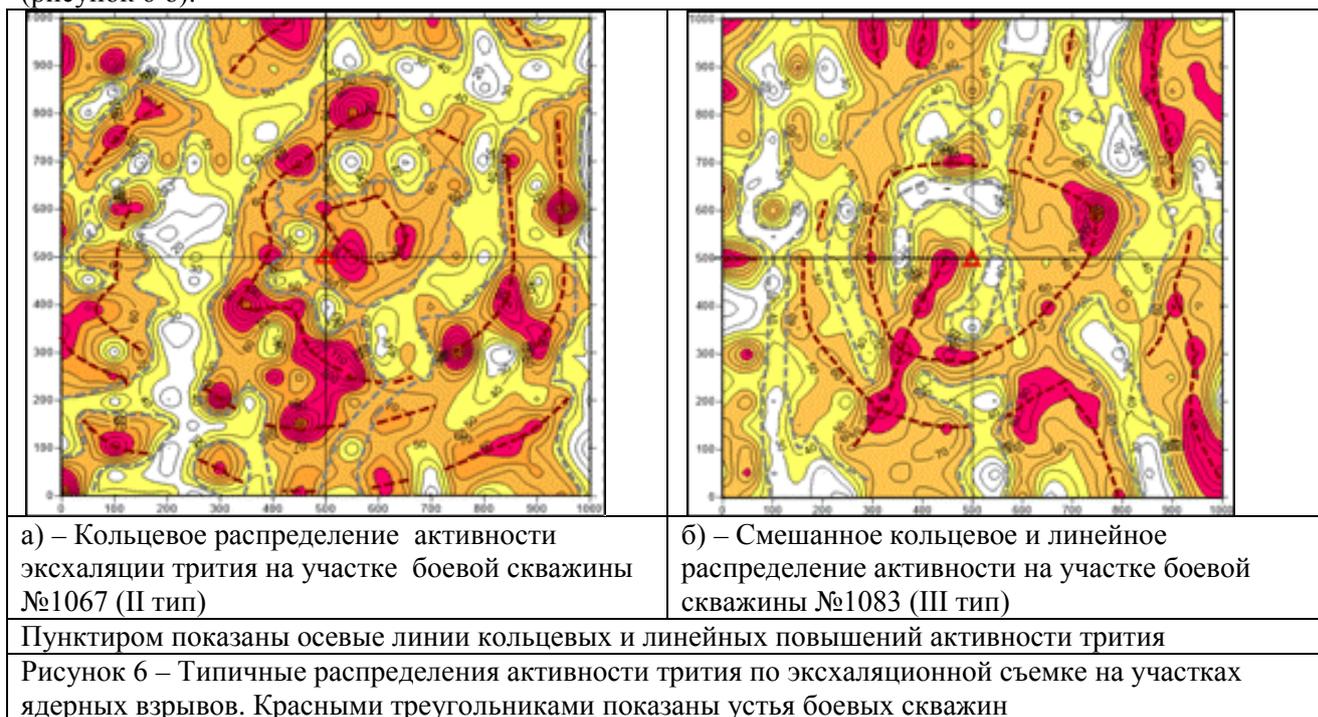


После установления местоположения водопроводящих структур с доказанным наличием потоков вод остается только уточнить, какие из них переносят радионуклиды из очагов ПЯВ. Наибольшей миграционной способностью среди остальных продуктов ядерных взрывов характеризуется газовый тритий. Именно он является главным маркером распространения радионуклидов в недрах.

Проведена площадная съемка эксхалиции трития по ряду участков. Установлены три основных типа распределений трития: первый тип – линейно-мозаичные повышения активности, проявленные на участках слабого или практического отсутствия нарушения геологических структур ядерными взрывами – за пределами участков боевых взрывов. На участках взрывов проявлены: второй тип – преимущественно линейные, связанные с природными разломами, интенсивно подновленными взрывами, а также третий тип повышений активности трития, связанные с техногенными (кольцевыми) структурами, образованными непосредственно взрывами. Обычно на участках взрывов распределения трития второго и третьего типа проявляются совместно.

Установлена пространственная связь аномальных повышений активности трития и гидродинамических структур, выявленных методами структурной геофизики. Кольцевые зоны, представленные сплошными и/или ограниченными по протяженности ореолами трития аномального уровня (рисунок 6 а). Эти зоны подразделяются на зоны низких и высоких значений активности. Они отвечают техногенным изменениям плотности горных пород в результате взрывов. Комбинации линейных и кольцевых зон (подновленных техногенных и кольцевых структур) являются наиболее распространенным вариантом, наблюдающимся на практике [2]

(рисунок 6 б).



С их помощью выделены структуры, в которых могут быть потоки вод, в том числе содержащих радионуклиды. Определение местоположения зон с повышенной активностью радионуклидов выполнено съемкой эксхалляции трития. Связь повышений активности газового трития с особенностями проявлений динамического, структурного и вещественного факторов объясняется теми же причинами, что и переход веществ между твердой и жидкой фазами горных пород.

Согласно рассмотрению представленных данных, учитывая связь термодинамических параметров и электрофизических факторов, устанавливается:

- электрическое поле оказывает силовое воздействие на межфазный переход веществ и определяется структурой геологического объекта, а также скоростью течения вод относительно твердой фазы [3]. Таким образом, электроразведочные данные, основанные на потенциале течения, отражают проявленность энтропии процесса взаимодействия горных пород и вод через посредство динамического и структурного факторов;
- силовая характеристика - напряженность электрического поля – наиболее проявлена на границах раздела фаз. Она определяет интенсивность межфазного перехода веществ и отражает проявленность удельной теплоемкости через посредство различия удельного электрического сопротивления фаз – вещественного фактора;
- электрофизические факторы используются в съемках методами структурной геофизики. Области использования - изучение радиационной ситуации недр, проектирование, эксплуатация и постэксплуатация объектов атомной промышленности, а также инспекция на местах предполагаемых подземных ядерных взрывов.

Литература

1. Романов А.М., Дополнение термодинамических представлений взаимодействия веществ в геосфере/ А.М. Романов./ - Курчатov, 2016 – 100 с.
2. Романов, А.М. Физико-геологическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов. - Семей: Издательский дом «Интеллект», 2017 – 110 с.
3. Романов А.М. Взаимодействие вод с горными породами/ А.М. Романов. - Алматы, ИВТ, НАК «Казатомпром», 2003 - 247 с.

DISTANT DETERMINATION OF MIGRATION ROUTES OF RADIONUCLIDES IN THE DEPTHS OF THE SEMPALATINSK TEST SITE

A. M. Romanov e-mail: ramix06@mail.ru

Republican state enterprise Institute of geophysical research of the Republic of Kazakhstan

According to the assessment of the Committee of ecology of Kazakhstan in the depths of the Semipalatinsk test site is concentrated more than 90% of the activity of the products of nuclear explosions. Monitoring of the radiation situation of the subsoil includes the establishment of the location of groundwater flows and the identification of the connection of water flows with the places of explosions.

Theoretical, experimental and in-situ studies were carried out. It was found that the interaction of solid and liquid phases of the lithosphere is determined by dynamic, structural and material factors. Dynamic factor – speed of water movement, structural factor-cross-section of water flows, material factor - composition of rocks and waters. These factors can affect the interfacial transition of substances only through the electric field of the flow potential.

The dynamic factor is determined on the basis of the data of the natural electric field of the flow potential by surface surveys (EP), and logging. The structural factor is determined by the joint data of the special resistivity (SR) and EP surveys. The material factor is determined by the data of SR.

Full-scale studies were performed at the Degelen (explosions in tunnels with the release of radioactive water flows to the surface) and Balapan (underground explosions in wells) area. The deposition of radionuclides from surface water flows into rocks of the brook valley Degelen area was observed mainly in the places of dynamic, structural and material features that correspond to theoretical concepts and experimental data. The influence of these features on the deposition of radionuclides is proved by the results of surface beta - and gamma-surveys determining the activity of strontium-90 and cesium-137, respectively.

This allowed us to proceed to the next stage: proving the possibility of remote determination of radionuclide migration in the subsoil. On 16 independent sites of the Balapan area conducted electrical survey by SR and EP. With their help, structures in which water flows, including those containing radionuclides, can be identified. The determination of the location of zones with increased activity of radionuclides is performed by the survey of tritium exhalation. The connection of the increase in the activity of gas tritium with the peculiarities of the manifestations of dynamic, structural and material factors is explained by the same reasons as the transition of substances between the solid and liquid phases of rocks.

The results of the presented works can be used in the assessment of radiation safety of subsoil, design, operation and post-operation of nuclear facilities, as well as in the field inspection of alleged underground nuclear explosions.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Романов
Алексей Михайлович
РГП «Институт геофизических исследований»
Нач. отдела комплексных геофизических исследований, к. г.-м. н.
Тел.: 8 (72251)23146 (доб. 135),
E-mail: ramix06@mail.ru