

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

Том II

**ГЕОЛОГИЯ УРАНА,
ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

Москва
2011

УДК 504.0
ББК 26.2
Г35

Экстремальные природные явления и катастрофы : в 2 т. / Отв. ред. А.О. Глико;
ИФЗ РАН. – М. : ИФЗ РАН, 2010; 2011.

ISBN 978-5-91682-012-6

Г35 Т. 2 : Геология урана, геоэкология, гляциология / Отв. ред. В.М. Котляков, ИГ РАН;
отв. сост. А.Л. Собисевич, ИФЗ РАН; – М. : ИФЗ РАН, 2011.

ISBN 978-5-91682-014-0

Во втором томе коллективной монографии изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с изучением актуальных проблем современной геологии урановых месторождений, геоэкологии и гляциологии, имеющих целью обеспечение безопасности населения и важных промышленных объектов на территории Российской Федерации. Анализируются основные промышленно-генетические типы урановых месторождений; рассмотрены новые прогрессивные технологии добычи радиоактивных материалов; изучено поведение актинидов в условиях долгосрочного хранения и захоронения отработанного ядерного топлива. Полученные научные результаты отражают современные проблемы безопасности атомной энергетики.

Приведены новые научные данные, связанные с изучением эволюции Антарктического и арктических ледниковых покровов, от состояния которых зависит уровень Мирового океана. Достаточно внимания уделено геоэкологическим проблемам Северного Кавказа. Анализируются уникальные данные, полученные при проведении глубокого kernового бурения ледника на Западном плато вулканической постройки Эльбруса.

Изучены наиболее опасные геоэкологические процессы на территории РФ, которые могут привести к гибели людей, ранениям и потере здоровья, а также к значительным материальным ущербам; разработан специальный ГИС-проект, который является готовым к использованию продуктом со всеми элементами, присущими автоматизированной информационной системе специального назначения, содержащей развернутые базы данных.

Полученные новые научные результаты и разработанные технологии уже востребованы на практике.

Для специалистов в области наук о Земле, строительства и чрезвычайных ситуаций.

УДК 504.0
ББК 26.2

The Volume II of the collective monograph presents the results of both theoretical and experimental studies of actual problems of modern geology of uranium deposits, geoecology and glaciology in order to mitigate issues on public safety and potentially hazardous industrial facilities and consequent risks on the territory of Russian Federation. Primary types of industrial uranium ore deposits are analysed, new progressive technologies of prospecting of radioactive materials are considered, the behaviour of actinides in long-time storages and nuclear waste burial sites are studied. The results obtained represent modern safety problems of nuclear power engineering.

New scientific data related to evolution of glaciers in Arctic and Antarctica governing the global level of world ocean are presented. Specific attention is paid to geoecological problems in Northern Caucasus. Genuine data gathered in the course of deep core drilling on the Western plateau of the Elbrus volcano.

Most significant hazardous geoecological processes on the territory of Russian Federation, threatening populated areas in terms of human health and injury, substantial property damage are studied. The specialized geographical information system (GIS) is the database driven product with high level of automation and it has been developed in frames of the actual research initiative.

The new fundamental scientific results obtained and the new technologies developed are of particular interest for practical applications.

The book will satisfy the needs of specialists in Earth sciences, industrial construction applications and hazard assessment.

ISBN 978-5-91682-014-0
ISBN 978-5-91682-012-6

© Российская академия наук, 2011
© Коллектив авторов, 2011

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПРИРОДНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ РИСКОМ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Учреждение Российской академии наук Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение экологической безопасности населения от угроз, связанных с воздействием загрязненных компонентов природной среды (особенно на урбанизированных территориях), в настоящее время выдвигается в качестве одной из приоритетных задач. Значительное ухудшение экологической обстановки наблюдается не только на локальном, но и на региональном, и даже на глобальном уровнях. Не вызывает сомнения, что технология обеспечения экологической безопасности должна опираться на стратегию управления риском. Несмотря на то, что исследования в области рисков, связанных с загрязнением природной среды, активно разрабатываются зарубежными и российскими специалистами, единая теоретическая и методическая база разработана недостаточно, что и обусловило постановку данной работы.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При определении понятий геохимической опасности и геохимического риска за основу взяты установившиеся в настоящее время понятия опасности и риска [Оценка и управление..., 2003; Природные опасности..., 2002; Природные опасности России..., 2003].

Геохимическая опасность – геохимическое состояние компонентов природной среды, представляющее угрозу для людей и/или окружающей его среды

Геохимический риск – мера геохимической опасности, включает следующие количественные показатели:

а) вероятность формирования геохимической опасности и ее реализации, б) величину ущерба при реализации геохимической опасности, в) неопределенности в величинах ущерба и вероятности. Геохимический риск учитывает не только вероятность реализации геохимической опасности (например, вероятность воздействия загрязненных почв, подземных или поверхностных вод на здоровье человека или агрессивных подземных вод и грунтов на подземные части зданий и сооружений), но и вероятность формирования загрязненных и агрессивных компонентов природной среды (геохимической опасности).

Математическое выражение риска:

$$R = PL, \quad (1)$$

где R – величина риска, P – вероятность неблагоприятного события (например, неблагоприятных эффектов для здоровья человека при употреблении загрязненной воды), L – ущерб.

Общая концептуальная модель формирования геохимической опасности и возникновения геохимического риска включает: 1 – модель формирования опасной геохимической ситуации при воздействии техногенных источников (лицо, принимающее решение (ЛПР), – техногенные источники – природная среда) и 2 – модель реализации геохимической опасности (воздействия на человека, непосредственно или опосредованно через объекты материальной сферы, пищевые цепи и т. п.).

В структуре геохимической опасности и риска выделяются следующие элементы: субъект опасности, среда, объект опасности. Субъект опасности первого ранга – лицо, принимающее решение (ЛПР). Функционирование ЛПР приводит к созданию техногенных

источников (субъектов второго ранга), по сути представляющих техногенную опасность, при реализации которой в природной среде создается опасная геохимическая ситуация. Объект опасности первого ранга на урбанизированных территориях – человек. Таким образом, субъектом и объектом опасности первого ранга является человек, но в первом случае – это ЛПР, а во втором случае – человек как биологический вид, как член социума. К объектам опасности второго ранга относятся объекты материальной сферы, через которые опосредованно передаются опасные воздействия на человека, а также растительность, животные, рыбы и т. п., используемые человеком в пищу. Понятие «среда» включает компоненты природной среды.

В рамках первой модели рассматривается воздействие субъектов первого и второго рангов на компоненты природной среды (природные объекты опасных техногенных воздействий – почвы, подземные воды, горные породы, поверхностные воды, донные отложения), определяется вероятность формирования опасного геохимического состояния (геохимической опасности), во второй модели – исследуется воздействие опасной геохимической ситуации на человека (непосредственно или опосредованно через объекты материальной сферы, пищевые цепи и т. п.), оценивается вероятность возникновения «конечного» неблагоприятного события.

В первой модели вероятность возникновения в результате техногенного воздействия опасной геохимической ситуации – события (Н) – определяется по следующей зависимости:

$$P(H) = P(F_i) P(S/F_i) P(F_r/F_i \& S) P(V/F_r), \quad (2)$$

где $P(F_i)$ – вероятность того, что в течение заданного периода времени на среду будет оказано техногенное воздействие F_i ; $P(S/F_i)$ – условная вероятность того, что в случае F_i природный объект окажется в зоне воздействия источника; $P(F_r/F_i \& S)$ – условная вероятность опасного (больше критериального) результирующего воздействия F_r в случае исходного воздействия F_i и соответствующего расположения природного объекта; $P(V/F_r)$ – условная вероятность проявления неустойчивости природной среды V при результирующем воздействии F_r .

Во второй модели вероятность «конечного» неблагоприятного события определяется по зависимости:

$$P = P(H) P(S^*/H) P(V^*/H \& S^*), \quad (3)$$

где $P(H)$ – вероятность возникновения в результате техногенного воздействия опасной геохимической ситуации (формула (2)), $P(S^*/H)$ – условная вероятность контакта S^* реципиента (объекта опасности) с «контактным» компонентом природной средой, $P(V^*/H \& S^*)$ – условная вероятность проявления реципиентом уязвимости V^* в случае контакта с природной средой в ее опасном состоянии Н.

Математическое выражение геохимического риска в соответствии с изложенной концепцией можно представить в виде:

$$R = P(F_i) P(S/F_i) P(F_r/F_i) P(V/F_r) P(S^*/H) P(V^*/H \& S^*). \quad (4)$$

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГНОЗА ТЕХНОПРИРОДНОГО ГЕОХИМИЧЕСКОГО РИСКА

Методология прогноза техноприродного геохимического риска основана на следующей концепции: наступление «конечного» неблагоприятного события рассматривается как сложное событие, являющееся результатом последовательно обусловленных простых событий – воздействия техногенного источника, нахождения объекта в зоне воздействия источника, формирования опасного результирующего воздействия, проявления неустойчивости природной среды, контакта реципиента с компонентом природной среды, проявления реципиентом уязвимости.

Процедура прогноза геохимического риска включает следующие этапы:

Этап 1. Формулировка цели и задач исследования, требований к проводимым исследованиям.

Этап 2. Разработка концептуальной модели формирования геохимической опасности и возникновения геохимического риска.

Этап 3. Прогноз геохимического риска (реализация модели).

Этап 1. Формулировка цели и задач исследования, требований к проводимым исследованиям.

Формулировка цели и задач проводимых работ должна включать:

1. Определение:

- субъекта/субъектов опасности (ЛПР и техногенных источников), риск воздействия которых необходимо оценить. В том случае если субъекты опасности не выявлены, необходима постановка задачи их идентификации,
- объекта опасности (для кого или для чего оценивается риск),
- «контактного» компонента природной среды, пространственного расположения точки (участка) фиксации опасного геохимического состояния, временной интервал оценки воздействия на реципиента компонента природной среды,
- вида выражения риска (экономический, физический и др.).

2. Требования:

- к процедуре оценки опасности и риска и используемым методам (стандартным, модифицированным с учетом специфики решаемых задач и т. п.).
- к исходным данным,
- к точности результатов работ.

В зависимости от поставленной цели прогноз риска может проводиться для всех стадий жизненного цикла объекта. Приложенные усилия и затраченные ресурсы при оценке рисков должны соответствовать величине предполагаемых ущербов.

Этап 2. Разработка общей концептуальной модели формирования геохимической опасности и возникновения геохимического риска

На этой стадии разрабатывается общая концептуальная модель формирования геохимической опасности на исследуемом участке и возникновения риска при ее реализации для конкретных реципиентов (объектов опасности). Для построения концептуальных моделей не существует формальных правил. Термин концептуальная модель в данном случае означает систему представлений человека, набор предположений, используемый для описания системы с заданной целью, которая формулируется как определение геохимического риска, т. е. «предметного» риска загрязнения компонентов природной среды и риска различных видов ущерба при их контакте с объектами опасности. Создание концептуальной модели важно, поскольку является основанием для последующей оценки риска. Разработка концептуальной модели должна быть выполнена на стадии обоснования инвестиций и корректироваться на каждой последующей стадии проектирования, а в случае необходимости корректировки оценки риска и управляющих решений также и на стадии эксплуатации – по мере поступления новой информации.

Общая концептуальная модель формирования геохимической опасности и риска включает следующие концепции: формирования геохимической опасности (модель I); реализации геохимической опасности (модель II); вида ущерба.

Общая концептуальная модель разрабатывается на основе представлений: а) о техногенных источниках, виде и интенсивности исходных воздействий, б) о природных условиях, в которых происходит трансляция и трансформация опасных техногенных воздействий, формирование опасного результирующего воздействия и геохимической опасности на исследуемом участке, в) о процессах трансформации исходного техногенного воздействия и формирования результирующего воздействия на «контактный» компонент природной среды, г) о устойчивости «контактного» компонента природной среды к внешнему воздействию, д) о условиях контакта данного компонента природной среды с реципиентом, е) о возможном ущербе для реципиента при реализации геохимической опасности.

Процедура разработки общей концептуальной модели включает следующие этапы:

- идентификация техногенных источников,
- разработка концептуальной модели природной среды (геологического строения, гидрогеологических, гидрологических, почвенных и других условий, эколого-геохимического состояния компонентов природной среды),
- определение условий и процессов изменения исходного техногенного воздействия на пути трансляции воздействий от техногенного источника к реципиенту,
- характеристика реципиента – объекта опасности,
- разработка общей концептуальной модели.

1. Идентификация (инвентаризация) техногенных источников воздействия (техногенной опасности). Процедура идентификации заключается в установлении характерных особенностей, параметров, показателей источников техногенного воздействия, которые могут привести или привели к формированию опасной геохимической ситуации на оцениваемой территории, характера распределения источников по площади, вида, состава и количества загрязняющих веществ

В зависимости от цели проводится идентификация: а) проектируемого техногенного источника/источников, б) потенциального источника/источников, воздействие которых может привести к возникновению риска для различных реципиентов на рассматриваемой территории, в) источника/источников, воздействие которых уже привело к формированию опасной геохимической ситуации.

На данной стадии:

- устанавливается вид исходных воздействий – прямой (химический) и косвенный (физический, биологический и др.), характер действия – детерминированный или случайный, интенсивность и продолжительность воздействия, вероятность отказа, преобладание тех или иных видов воздействия;
- определяется перечень загрязняющих веществ, которые могут поступать в окружающую среду, проводится анализ токсичности, выделение канцерогенных веществ (при оценке риска для здоровья расчеты для канцерогенов и неканцерогенов различны),
- устанавливается расположение источника по отношению к рассматриваемому участку,
- проводится сбор данных о нештатных ситуациях и причинах их возникновения (для действующих техногенных источников собирается информация об случившихся аварийных ситуациях, для проектируемых – об аварийных ситуациях на объектах-аналогах), в том числе определяются:
 - форма и характер проявления нештатной ситуации (взрыв, выброс, разрыв трубопровода и т. п.),
 - интенсивность и направленность воздействий (выброс в атмосферу, наземные разливы из поврежденных емкостей с реактивами и наземных систем коммуникаций, утечки из подземных коммуникаций с указанием глубина заложения коммуникаций и т. д.),
 - перечень компонентов, поступающих в окружающую среду,
 - характеристика физико-химических свойств (способность к разложению, сорбции, осаждению).

2. Разработка концептуальной модели природной среды на пути трансляции опасных воздействий от техногенного источника к реципиенту.

Основные этапы в развитии концептуальной модели природной среды:

- сбор и анализ опубликованных и фондовых материалов, данных инженерно-геологических

и инженерно-экологических изысканий, научных исследований, режимных наблюдений за развитием геохимических опасностей, в случае отсутствия информации – проведение изысканий в необходимом объеме,

- разработка концептуальной модели природной среды,
- анализ неопределенностей,
- определение состава и объема дополнительных исследований, разработка программы исследований,
- проведение дополнительных исследований и уточнение концептуальной модели.

Состав и объем исследований должен обеспечивать достаточную уверенность в концептуальной модели и информации для прогноза риска, соответствующей стадии исследований. В случае необходимости следует провести дополнительные исследования, основной задачей которых является получение информации, необходимой для уменьшения неопределенностей в концептуальной модели. В процессе всех стадий жизненного цикла системы субъект опасности среда-объект опасности по мере получения новой информации необходим критический анализ существующей концептуальной модели и в случае необходимости ее корректировка и усовершенствование. В том случае, если на исследуемом участке проводится оценка других видов риска, проводимые исследования целесообразно скорректировать для получения более полной информации о техногенных и природных условиях и уменьшения затрат. При оценке различных видов риска следует расположить по приоритетам риски таким образом, чтобы любая последующая, более детальная оценка риска могла сосредотачиваться на наиболее существенных рисках.

3. *Характеристика процессов вдоль пути трансляции исходных воздействий*, например, при выбросе загрязняющего вещества – процессы миграции в атмосферном воздухе, и далее через ненасыщенную и насыщенную зоны к рецептору – объекту опасности. В зависимости от природных условий и вида загрязняющего вещества в миграционных средах возможны дисперсия, разбавление, физико-химические процессы трансформации загрязняющих веществ в подземных и поверхностных водах и при взаимодействии с твердой фазой отложений: осаждение и окисление, сорбция (в том числе ионным обменом), деструкция и др., перечень которых определяется в зависимости от конкретных условий. На данном этапе следует сформулировать концептуальные представления о приоритетности загрязняющих веществ и процессов, целесообразности их учета при оценке риска, а также выбрать соответствующие математические модели.

4. *Характеристика рецептора – объекта опасности*. При оценке риска для здоровья населения характеристика рецептора включает состояние здоровья, уровень заболеваемости, возможность контакта с загрязненными компонентами природной среды

и др. При оценке риска для объектов заглубленных частей зданий и сооружений: тип фундамента – ленточный / столбчатый / плита / сваи / свай, глубина расположения подошвы, ростверка, нагрузка на грунты оснований, материал фундамента: камень / кирпич / бетон (блоки) / дерево и др.

5. *Характеристика ущерба* включает выбор методики расчета и составляющих ущерба: затраты на реабилитацию, поиск альтернативных источников водоснабжения и др.

Этап 3. Прогноз техноприродного геохимического риска (реализация модели)

На этой стадии выполняется анализ и количественный прогноз геохимического риска. В общем случае процедура анализа и прогноза риска включает следующие стадии:

1. Анализ всех составляющих геохимического риска.
2. Выбор метода прогноза геохимического риска.
3. Количественный прогноз геохимического риска.
4. Анализ полученных результатов.

В соответствии с формулами (2),(3) выполняется анализ основных событий, обуславливающих формирование геохимического риска. На данной стадии необходимо проанализировать ситуацию и определить, какие составляющие риска могут рассматриваться как вероятностные, какие – как детерминированные.

Прогноз риска выполняется на уровне сложности, которая зависит от стадии проектирования, важности реципиента – объекта опасности, интенсивности потенциальных воздействий техногенного источника, восприимчивости природной среды и реципиента к воздействиям, уровня неопределенности и величины предполагаемого риска. В соответствии с этим выбирается метод прогноза геохимического риска. Для оценки вероятности используются разные методы: от субъективных оценок вероятности, метода аналогии и экспертных оценок риска (метод «Дельфи», ранжирование, метод парного сравнения, метод балльной оценки) до сложных статистических процедур и численного стохастического моделирования.

На начальной *стадии (прединвестиционной)* при дефиците информации используются: метод аналогии, экспертный метод. На этой стадии могут иметь место различные версии или рабочие гипотезы, что обусловлено, как правило, недостатком информации. Также может использоваться экспертный подход, при котором эксперт может предложить ранги (номинальную шкалу) возможных значений для каждого параметра модели. Опытный эксперт должен быть способен выбрать ранги возможным значениям вместе с наиболее вероятным значением, например для таких параметров, как время перетекания воды через слабопроницаемые разделяющие слои или величина проницаемости водоносного горизонта.

На *стадии обоснования инвестиций* рекомендуется использовать аналитический метод с использованием упрощенных статистических распределений, например таких, как треугольное распределение. В данном

случае должны быть указаны минимальное и максимальное значения вместе с наиболее вероятным значением. Триангулярное распределение допускает прямую вероятностную оценку и представление тех ключевых аспектов, которые базируются на профессиональных суждениях. Использование аналитических методов при определении геохимического риска основано на следующем положении: вероятность наступления «конечного» нежелательного события рассматривается как сложное событие, декомпозиция которого на более простые позволяет оценить вероятность его наступления на основе определения вероятностей простых событий. Вероятность конечного нежелательного события определяется как произведение вероятности начального (инициирующего) события на условные вероятности всех остальных при условии, что вероятность каждого последующего вычисляется в предположении, что все остальные события уже совершились (см. формулы (2) и (3)). При использовании аналитических методов вероятности простых событий могут оцениваться отдельно и затем определяется их произведение (пример такого подхода представлен в работе [Rosen, LeGrand, 1997]).

На *стадии проекта* процедура оценки риска усложняется. Аналитические решения не могут дать правильный результат при наличии неоднородностей в системе, в связи с чем целесообразно использовать численное стохастическое моделирование. При прогнозе гидрогеохимической опасности могут использоваться различные типы численных стохастических моделей [Огняник и др., 1985].

При вычислении вероятности наиболее часто используется численное стохастическое моделирование, когда вероятностные блоки включаются в модель, которая детерминированно описывает процессы фильтрации и миграции. Предварительно проводится анализ всех составляющих геохимического риска и определяется, какие составляющие риска могут рассматриваться как детерминированные, а какие – как вероятностные.

В качестве примера рассмотрен подход к оценке риска, связанного с загрязнением подольско-мячковского водоносного комплекса на территории бывших Люблинских полей фильтрации в Москве.

ОЦЕНКА РИСКА, СВЯЗАННОГО С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПОДОЛЬСКО-МЯЧКОВСКОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА В РАЙОНЕ БЫВШИХ ЛЮБЛИНСКИХ ПОЛЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Характеристика района исследования. Люблинские поля фильтрации (ЛПФ) были устроены в 1892–1898 годах на площади 400 га. Эти первые очистные соору-

жения города представляли собой систему заполненных сточными водами карт (чеков) и разделяющих их валов. ЛПФ были оборудованы дренажной сетью, дренажных стоков сбрасывался в реку. Карты периодические чистили, иловый осадок вывозили на поля в качестве удобрения и использовали для формирования валов. Территория ЛПФ подразделялась на Нижние и Верхние поля, расположенные в геоморфологическом отношении в пределах поймы и надпойменных террас р. Москвы. Сточные воды ЛПФ содержали значительное количество органического вещества, тяжелых металлов, нефтепродуктов и соединений азота. С 1938 г. стоки стали проходить биологическую очистку после которой поступали на Нижние поля для орошения. После ввода Курьяновской станции аэрации с 1970-х годов перестали эксплуатироваться Верхние поля, а с конца 1980-х Нижние поля. На момент начала работ по рекультивации (1985 г.) площадь ЛПФ составила 1100 га и за этот срок на них было утилизировано около 15 млн. м³ илового осадка.

Рекультивация включала выемку илового осадка и замещение его суглинком и песком. Несмотря на то что иловый осадок складировался в построенных здесь же депонирных сооружениях, значительная его доля осталась на дне карт. Верхние поля после рекультивации использовались для свалки бытового и строительного мусора. Масштабный источник загрязнения действовал длительное время – более 100 лет. Тем не менее, влияние источника загрязнения на природную среду не оценивалось в период эксплуатации ЛПФ.

В 1980–2000 годы в связи с оценкой пригодности территории ЛПФ для жилищного строительства было пробурено более 200 скважин для изучения геологического строения, гидрогеологических условий и загрязнения почв, пород зоны аэрации и подземных вод. Анализ результатов исследований показал, что и геологическое строение, и гидрогеологические условия территории имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при оценке влияния ЛПФ на природную среду и подземные воды в том числе.

В целом геологический разрез в нижней части представлен среднекаменноугольными известняками (C₂pd-mч), на которых с несогласием залегают юрские отложения-бат-келловейские пески и супеси (J₂bt-k) и келловей-оксфордские глины (J₂₋₃k-o), которые в свою очередь подстилают четвертичные аллювиальные пески. В гидрогеологическом отношении слабопроницаемые келловей – оксфордские глины разделяют залегающий выше «надюрский» водоносный горизонт в четвертичных песках и залегающие ниже гидравлически связанные водоносный горизонт в бат-келловейских песках и супесях и подольско-мячковский горизонт в среднекаменноугольных известняках.

Особенностью геологического строения территории является наличие локальных участков, для которых характерно существенное сокращение мощности юрских глин от 20–30 до нескольких метров, вплоть до

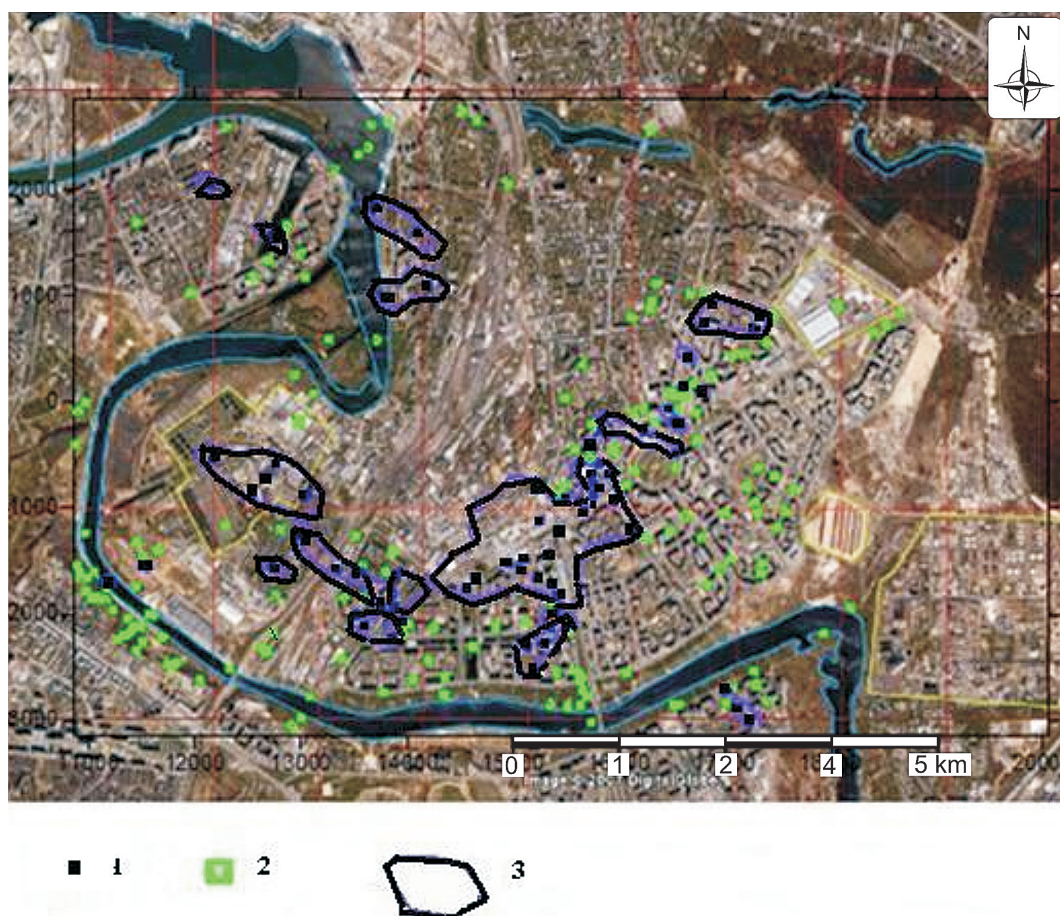


Рис. 1. «Гидрогеологические окна» на территории ЛПФ: 1 – скважина, в которой обнаружено окно; 2 – скважина, в которой не обнаружено окно; 3 – возможная граница окна, полученная методом интерполяции

их полного отсутствия. Участки отсутствия или сокращения мощности слабопроницаемых юрских глин играют роль «гидрогеологических окон», в пределах которых «надъюрский» и подольско-мячковский водоносные горизонты тесно связаны, что наряду с общим падением напоров подземных вод по вертикали, создает условия для быстрого поступления загрязнения в подольско-мячковский горизонт (рис. 1).

Изучение изменения гидрогеологических условий в период эксплуатации ЛПФ показало, что в результате утечек из карт уровень надъюрского горизонта поднялся на несколько метров; глубина залегания уровня на Нижних полях составила 1–2 м, Верхних – 5–6 м; породы зоны аэрации и подземные воды «надъюрского» и бат-келловейского водоносных горизонтов загрязнены органическими соединениями, тяжелыми металлами и соединениями азота. Например, концентрация аммонийного азота в стоках составляла 1000 мг/л; в породах зоны аэрации на Верхних полях 0,03–3,06 г/кг; в подземных водах первого от поверхности «надъюрского» горизонта 4–1600 мг/л (рис.2); в водах Москва-реки до 5 мг/л. Наименее изученным является загрязнение подольско-мячковского горизонта, так как долгое время считалось, что юрские глины надежно защищают его от загрязнения. Тем не менее, единичные опробова-

ния показали, что концентрации аммонийного азота в подольско-мячковском горизонте могут достигать 20–40 мг/л при существующих нормах его содержания в воде питьевого назначения 2 мг/л.

Так как качество подземных вод подольско-мячковского водоносного горизонта имеет важное значение для снабжения Москвы подземными водами, то основной задачей исследований являлась оценка риска загрязнения подземных вод стратегического водоносного горизонта, которое могло сформироваться за более чем 100-летний период существования на территории ЛПФ масштабного и интенсивного источника загрязнения. Соединения азота были выбраны как основные загрязняющие вещества в силу масштабного характера загрязнения ими природной среды, в том числе подземных вод.

Концептуальная модель формирования загрязнения подольско-мячковского водоносного горизонта заключается в том, что в результате фильтрации стоков из карт загрязнение поступало в верхний «надъюрский» водоносный горизонт, а из него в результате перетекания через слабопроницаемые юрские глины в залегающие ниже бат-келловейский и гидравлически с ним связанный подольско-мячковский водоносные горизонты. «Гидрогеологические окна» в слабопроницаемых



Рис. 2. Содержание аммонийного азота в «надъюрском» водоносном горизонте, мг/л

глинах могли быть путями быстрого поступления загрязняющих веществ из верхнего более загрязненного горизонта в нижний подольско-мячковский.

На основании анализа ситуации предположили, что при оценке риска загрязнения подольско-мячковского горизонта соединениями азота в качестве детерминированных событий можно принять следующие

- воздействие источника загрязнения через загрязненную зону аэрации $P(F_i)$;
- расположение объекта в зоне влияния источника $P(S/F_i)$, так как водозабор (объект) расположен по пути миграции загрязняющих веществ (рис. 2);
- проявление неустойчивости $P(V/F_i)$, так как физико-химическое взаимодействие соединений азота с водовмещающими известняками незначительно, и основной в нашем случае процесс дисперсии рассматривается как детерминированный.

Таким образом, вероятностным процессом является формирование результирующего воздействия $P(F_i/F_i \& S)$ или концентрации загрязняющего вещества, поступающего в эксплуатируемый водоносный горизонт, которая в свою очередь зависит от количества, расположения и размера «гидрогеологических окон».

При оценке риска загрязнения подольско-мячковского водоносного горизонта основными задачами являлись:

- оценка вероятности формирования в эксплуатируемом водоносном горизонте концентрации соединений азота, превышающих предельно-допустимые;

- оценка вероятности прихода загрязнения к водозаборной скважине, расположенной на противоположном берегу Москва-реки;
- исследование влияния гидрогеологических окон на загрязнение эксплуатируемого водоносного горизонта.

Для оценки риска загрязнения подольско-мячковского горизонта были разработаны 3D геологическая и гидрогеологическая модели ЛПФ. Геологическая модель, разработанная при помощи 3D геологического картографирования и структурного моделирования GSI3D v 1.5 [Neber, 2006], позволила уточнить геологическое строение и построить поверхности кровли геологических слоев, которые были использованы в гидрогеологической модели.

Гидрогеологическая модель включала следующие расчетные слои: «надъюрский», бат-келловейский и подольско-мячковский водоносные пласты и разделяющий пласт в келловей-оксфордских глинах. Рассматривался стационарный поток подземных вод, имеющий сложную пространственную структуру с плановой фильтрацией в водоносных пластах и вертикальной в разделяющих. Площадь модели составила 42 км², мощность моделируемой толщи около 100 м, размеры расчетных блоков 100×100 м. Границами модели являлись р. Москва, пруды и местный гидравлический водораздел. Численное моделирование было выполнено при помощи пакета программ Processing Modflow Pro, v. 7.0.26, в котором для расчета фильтрации используется MODFLOW, а для расчета миграции MT3DMS [Chiang, Kinzelbach, 2001]. Источник загрязнения подземных вод

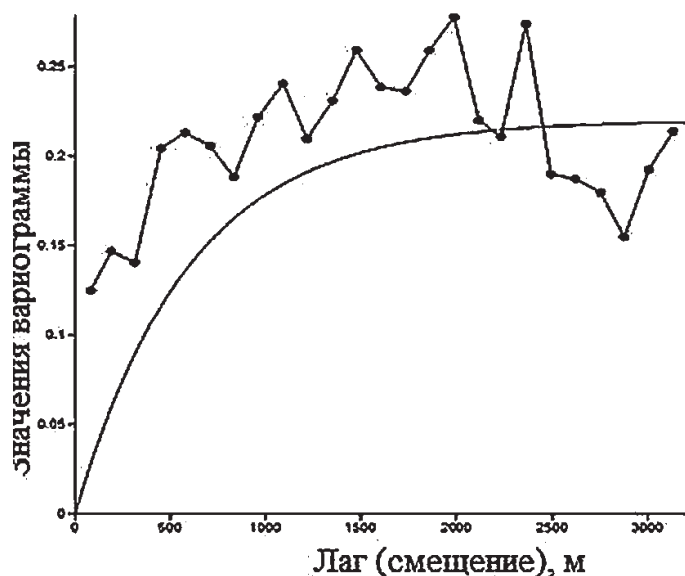


Рис. 3. Математическое ожидание и вариограмма индикаторной функции гидрогеологического окна, рассчитанные по 254 скважинам

моделировался как дополнительное инфильтрационное питание под ЛПФ с относительной концентрацией загрязняющих веществ, равной 1. Модель была выполнена в двух вариантах: в первом откалибрована с одним осредненным для всего пласта значением коэффициента фильтрации разделяющих келловей-оксфордских глин (модель без «гидрогеологических окон»); во втором варианте для вероятностной оценки риска загрязнения подольско-мячковского горизонта была разработана модель с использованием условного стохастического моделирования «гидрогеологических окон» в разделяющем пласте.

Для условного стохастического моделирования «гидрогеологических окон» была использована индикаторная функция $I(x)$, принимающая два значения: 1 – если в точке с координатой x есть окно; 0 – если его нет.

Статистические свойства индикаторной функции $I(x)$ (математическое ожидание $E\{I(x)\}$, или вероятность появления гидрогеологического окна) и пространственная корреляция индикаторной функции в виде индикаторной вариограммы были рассчитаны с использованием данных по 254 скважинам. Математическое ожидание $E\{I(x)\}$, или вероятность появления гидрогеологического окна, составила 0,3. Экспериментальная вариограмма, представленная на рис. 3, изотропна в плане, то есть окна не являются ориентированными в каком-либо из направлений. Несмотря на некоторую зашумленность и, возможно, проявляющийся эффект самородка, вариограмму удалось описать теоретической экспоненциальной функцией с пространственным масштабом около 500 м.

Методика, используемая для моделирования вероятности загрязнения подольско-мячковского горизонта, включала следующие шаги:

1. условное стохастическое моделирование 50 вариантов расположения гидрогеологических окон при помощи SISIM программы GSLIB [Deutsch, Journel, 1997];

2) переход от каждого результата стохастического моделирования окон к карте коэффициентов фильтрации разделяющего слоя, используя условие:

$$I(x) = \begin{cases} 1, & \text{тогда } k(x) = K_{\text{песок}} \\ 0, & \text{тогда } k(x) = K_{\text{глина}} \end{cases};$$

3) получение решения фильтрационной и миграционной задач при помощи программ MODFLOW/MT3DMS для каждого поля коэффициента фильтрации разделяющего слоя;

4) вероятностный анализ полученных в результате моделирования полей концентраций.

Сравнение результатов моделирования показало, что на конец периода эксплуатации ЛПФ (100 лет) в каждой модели в подольско-мячковском водоносном горизонте формируется область загрязнения аммонийным азотом с относительными концентрациями, превышающими 0,002 и соответствующими 2 мг/л – предельно-допустимой концентрации аммонийного азота в водах питьевого назначения. Поля концентраций соединений азота в «надюрском» водоносном горизонте, полученные при помощи разных моделей, практически аналогичны, в то время как концентрации аммонийного азота в подольско-мячковском горизонте значительно выше и область загрязнения существенно больше в модели с «гидрогеологическими окнами», что свидетельствует о существенном влиянии гидрогеологических окон на загрязнение подольско-мячковского водоносного горизонта, в том числе на участке водозабора (рис. 4).

Вероятностный анализ модельных концентраций в подольско-мячковском водоносном горизонте, полученных при помощи модели со стохастическим моделированием «гидрогеологических окон» включал: распределение загрязненной площади; распределение общей массы загрязняющего вещества; ширину загрязненной зоны на границе или вероятность того, что через расчетное время загрязнения достигнет водозаборной скважины.

Результаты вероятностного анализа показали следующее:

- во всех вариантах в подольско-мячковском горизонте формируется область загрязнения с концентрациями, превышающими предельно-допустимые;
- размер области загрязнения с вероятностью 90–95 % попадает в интервал от 8,3 до 11 км²;
- вероятность достижения загрязнения водозаборного участка в терминах ширины фронта загрязнения у границы модели составляет 0,75–0,85 (рис. 5).

Выполненные на примере соединений азота исследования показали, что ЛПФ в течение длительного периода эксплуатации являлись крупным источником загрязнения пород зоны аэрации, подземных и поверхностных

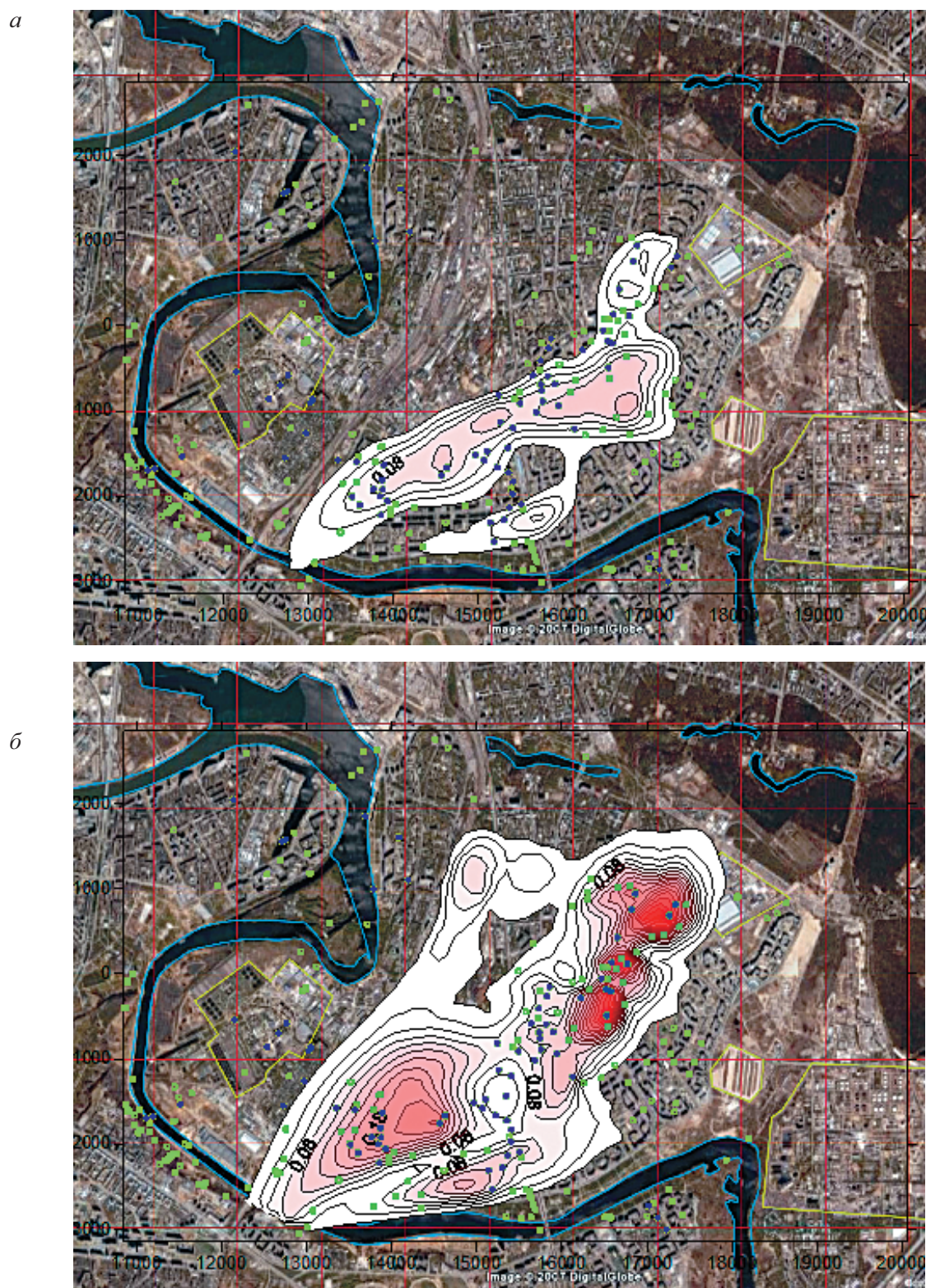


Рис. 4. Распределение относительных концентраций аммонийного азота в подольско-мячковском водоносном горизонте на конец 100-летнего периода; а) модель без гидрогеологических окон, б) модель с гидрогеологическими окнами (концентрации, осредненные по 50 вариантам моделирования окон)

вод. Гидрогеологические окна в слабопроницаемых юрских глинах, перекрывающих стратегический для водоснабжения г. Москвы подольско-мячковский водоносный горизонт, с большой вероятностью способствовали

быстрой миграции загрязняющих веществ из загрязненного «надъярского» горизонта, формированию на большой площади области загрязнения и в конечном счете, загрязнению водозаборного участка.

Использование динамико-стохастического моделирования позволило получить количественную оценку вероятности неблагоприятного события – загрязнения водозаборов в подольско-мячковском водоносном горизонте, которая на конец 100-летнего периода составит 75–80 % (рис. 5). Величина ущерба определялась стоимостью очистных сооружений, которая по предварительным расчетам составляла 8 127 350 руб. Таким образом, величина риска $-(R=P \cdot L$ в денежном выражении) 6 095 572 руб.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИМ РИСКОМ

Одной из важнейших задач науки XXI века является разработка теории и методологии управления природными и техноприродными рисками. В области исследования природных опасностей и рисков наиболее полное определение термина «управление риском» приведено в [Природные опасности России, 2003]. Под управлением риском понимается комплекс взаимосвязанных, постоянно корректируемых и дополняемых, в зависимости от меняющейся ситуации и полученных результатов, нормативно-правовых, организационно-административных, экономических, инженерно-технических и других мероприятий и механизмов, направленных на уменьшение или предупреждение возможных или существующих потерь населения, объектов хозяйства и окружающей природной среды от природных опасностей различного генезиса. Различные аспекты проблемы управления природными и техноприродными рисками рассматриваются

в работах [Оценка и управление..., 2003; Осипов, 2002; 2002; Природные опасности России, 2003; Рагозин, 1999; 2003 и др.]. Методические положения управления природными и техноприродными рисками на урбанизированных территориях наиболее детально разработаны Е.С.Дзекцером [Дзекцер, Пырченко, 2005].

Изложенные ниже принципы управления геохимическим риском базируются на сложившихся представлениях об управлении риском с учетом специфики исследуемого нами объекта управления [Владимиров и др., 2000; Воробьев и др., 2000; Воробьев и др., 2002; Дзекцер, Пырченко, 2005].

Основным объектом управления является геохимический риск, возникающий в социоприродотехнической системе (СПТС) на всех этапах – от формирования опасного геохимического состояния природной среды до реализации геохимической опасности.

В основу управления геохимическим риском заложены: 1 – принцип системности и 2 – принцип ситуационности.

Принцип системности предполагает выделение в системе управления техноприродным геохимическим риском трех взаимодействующих подсистем управления: 1 – источниками техногенных воздействий, 2 – геохимической ситуацией, и 3 – объектами опасности.

Принцип ситуационности заключается в принятии или корректировке управленческих решений в соответствии со складывающейся ситуацией и вытекает из случайного характера поведения всех подсистем: опасных техногенных и техноприродных воздействий и реагирования объектов опасности на воздействия.

С учетом данных принципов разрабатывается система управления геохимическим риском.

Основные функции системы управления геохимическим риском:

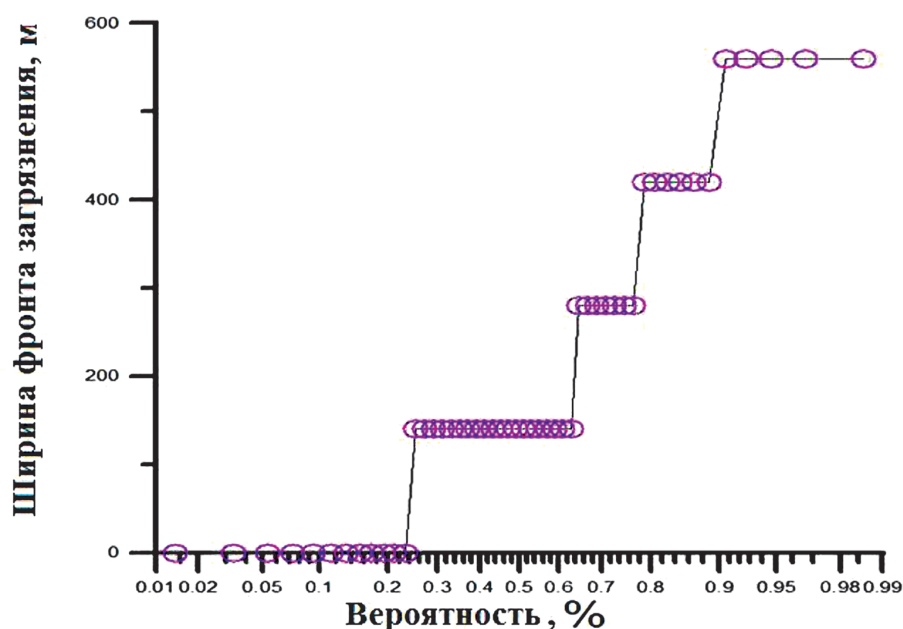


Рис. 5. Вероятность достижения загрязненных вод подольско-мячковского горизонта водозабортного участка

- определение цели управления геохимическим риском и задач для достижения поставленной цели,
- определение способов и средств решения поставленных задач,
- организация управления геохимическим риском,
- выяснение эффективности управляющих решений (системно-ситуационный мониторинг).

Сложность управления геохимическим риском обусловлена значительным разнообразием: 1 – источников и видов техногенного воздействия, 2 – компонентов природной среды, подверженных данным воздействиям, и 3 – объектов опасности.

Основная цель управления – это предупреждение превышения величины приемлемого риска, определенного с учетом экономических и социальных последствий. Критерием достижения цели считается создание и поддержание штатной ситуации [Дзекцер, Пырченко, 2005]. При определении штатной и нештатной ситуаций на урбанизированных территориях используется термин «благополучное состояние объекта», определяемое как соответствие принятого набора параметров объекта нормативам.

Система управления геохимическим риском состоит из подсистем, различающихся по объекту управления:

- подсистема управления источниками техногенных воздействий (регулирование техногенных воздействий и защита источников от внешних воздействий),
- подсистема управления геохимической ситуацией (регулирование формирования геохимической опасности и ее воздействий на объекты опасности),
- подсистема управления объектами опасности (защита объектов опасности от воздействий загрязненной или агрессивной природной среды и регулирование их собственных воздействий).

Таким образом, в каждой подсистеме можно выделить две основные функции – управление воздействиями данной подсистемы и защита от внешних воздействий. Так, например, коллекторы сточных вод с одной стороны в случае их повреждения являются источниками загрязнения и подтопления, а с другой – могут быть сами повреждены при воздействии агрессивных подземных вод. Эффективность системы управления в значительной степени определяется степенью взаимосвязи трех подсистем и координации их действий единым координационным центром.

В каждой подсистеме структура системы управления включает следующие блоки:

- управляющий блок (ЛПР),
- исполнительный (системы регулирования формирования геохимической опасности и ее реализации),
- управляемый (техногенные источники, компоненты природной среды, объекты опасности первого и второго рангов).

В соответствии с принципом разнообразия [Дзекцер, Пырченко, 2005], для реализации управления управляющий блок должен обладать не меньшим

разнообразием, чем объект управления. Для системы управления геохимическим риском как практически ни для одной другой системы характерно разнообразие объектов управления, что определяет необходимость значительного разнообразия управляющего блока.

Обоснование и выбор управляющих решений осуществляется на основе анализа и оценки геохимического риска и всех его составляющих при сценарном подходе к развитию событий в двух моделях: «техногенный источник – природная среда» и «природная среда – объект опасности».

Для выбора мероприятий необходимо проанализировать составляющие геохимического риска, оценить вероятность неблагоприятного события в каждой составляющей риска (отказа техногенных источников, формирования опасного результирующего воздействия и проявления неустойчивости природной среды, воздействия нарушенной природной среды на объект опасности, уязвимости объекта опасности), оценить экономические затраты на проведение мероприятий по уменьшению вероятности опасных событий на различных этапах возникновения риска, выбрать оптимальный вариант управляющих решений для снижения риска. Снижения риска можно добиваться путем выполнения мероприятий, направленных на уменьшение вероятности как формирования, так и реализации геохимической опасности.

После выбора мероприятий оценивается риск с учетом их воздействия на субъект и объект опасности. При управлении геохимическим риском решения по управлению риском исследуемой природной среды должно приниматься с учетом вероятности формирования опасных ситуаций в других компонентах. Как отмечает Г. В. Мотузова, решения экологических проблем в отношении одной из сред не должны приниматься за счет другой, что подтверждает отрицательный опыт природоохранных мероприятий, проводимых без учета взаимосвязи компонентов экосистем [Буренков и др., 2001]. К сожалению, производственные интересы часто требуют пожертвовать одной или несколькими природными средами. Например, размещение полей фильтрации, предприятий, полигонов захоронения отходов, в том числе и радиоактивных, приводит к повсеместному загрязнению депонирующих сред и формированию вторичных источников загрязнения – «отложенной геохимической опасности». Учет кратковременных интересов и игнорирование долговременных приводит к «отложенным потерям». В случае других рисков управление геохимическим риском должно быть сопряжено с управлением данными рисками.

Необходимость сценарного подхода при обосновании и выборе управляющих решений обусловлена спецификой развития СПТС как сложной системы, для которой характерны нелинейность, слабая прогнозируемость событий, стохастическое развитие ситуаций. В современный период активно развиваются синергетические представления о формировании природных и техноприродных опасностей, формируется новая па-

радикала управления риском, которая в концептуальном и методическом плане опирается на синергетику – теорию самоорганизации сложных, открытых, неравновесных, нелинейных динамических систем, обладающих обратной связью и существующих в условиях постоянного обмена веществом и энергией и информацией с внешней средой. К таким сложным системам можно отнести и социотехноприродную систему.

К сожалению, следование модному направлению в ряде случаев приводит на наш взгляд к неверному использованию термина самоорганизация в связи с игнорированием физической сути процесса. К наиболее теоретически разработанным подходам в оценке физической сущности явления в открытых системах относятся: подход И.Р. Пригожина, связывающего сущность самоорганизации с диссипацией [Гленсдорф, Пригожин, 1973; Николис, Пригожин, 1979; Пригожин, 1985], и подход А.П. Руденко, рассматривающего самоорганизацию с позиций эволюционного катализа [Руденко, 1964; 1995; 2000]. Развитие работ в области эволюционного катализа внесло вклад не только в понимание физической сущности явления самоорганизации и его отличия от альтернативного явления организации, но также и в утверждении новой парадигмы естествознания, узаконивающей антиэнтропийный принцип наряду с энтропийным и дуалистичность мира объектов с равновесной и неравновесной структурной организацией веществ. Непонимание различий физической сути процессов самоорганизации и организации и попытки отождествлять термин самоорганизация в общем значении «упорядочения», имеющего два направления, приводит часто к путанице в этих понятиях и к неправильному использованию термина самоорганизация (антиэнтропийный процесс) для обозначения альтернативного явления организации (энтропийный процесс).

Например, в соответствии с встречающимися в настоящее время в гидрогеологии и инженерной геологии представлениями, синергетические процессы рассматриваются как синонимы процессов самоорганизации. По [Дзекцер, Пырченко, 2005] характерными примерами самоорганизации являются: утечки из подтопленных территорий и развитие просадок в лессах, эрозионный подмыв склонов и образование оползней, растворение пород и возникновение карстовых полостей. В ряде случаев при описании синергетических явлений подразумевается только обусловленность развития одного или нескольких процессов другим процессом. Например, утечки из водонесущих коммуникаций вызывают подъем уровня подземных вод, в результате чего может произойти увеличение их агрессивности, изменение минералогического состава пород, карст, оползни, водонасыщение, деформация замоченных просадочных грунтов оснований зданий и сооружений. Это порождает новые разрывы коммуникаций, дополнительные утечки, деформации фундамента и др. В данном случае, при рассмотрении синергетических процессов не учитывается, что они могут иметь как энтропийную, так и антиэнтропийную направленность. Относимые к процессам самоор-

ганизации рассмотренные синергетические цепочки, по сути, являются энтропийными процессами (процессами организации). Проблема необходимости понимания сути процессов самоорганизации и организации напрямую связана с управлением риском.

Суть синергетического управления заключается в признании за сложной нелинейной системой способности «саму себя строить, структурировать, ... нужно только правильно инициировать желательные для человека тенденции саморазвития этой системы» [Князева Е.Н., Курдюмов С.П., 1997]. В настоящее время практически ни одна работа по управлению не обходит вниманием синергетический принцип. В работе [Курдюмов, Малинецкий, 1983] отмечается, что основная стратегия при управлении сложными системами (например, экологическими) – действие, сообразуемое с законами природы, соразмерность с естественным ритмом, с постоянно меняющимися условиями. По справедливому утверждению А.П.Руденко [Руденко, 2000], в глобальном эволюционном процессе существует только один выход, предотвращающий катастрофу, и он связан со следованием общим для всей природы законам самоорганизации и прогрессивной эволюции и чужд произволу дурной «свободной воли» человека. Прогрессивная эволюция – сугубо антиэнтропийный процесс с направленностью изменений неравновесия в сторону его возрастания, т. е. вопреки второму закону термодинамики.

В основе синергетического подхода к управлению – необходимость следования законам самоорганизации (антиэнтропийным процессам, идущим в открытой системе против равновесия). В связи с этим актуальной проблемой является выяснение закономерностей процессов самоорганизации и организации в различных неравновесных открытых сложных системах (к которым относится и социоприродотехническая система урбанизированных территорий).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены теоретические и методологические основы подхода к прогнозу и управлению техноприродным геохимическим риском на урбанизированных территориях на единой концептуальной основе, заключающейся в рассмотрении возникновения риска как результата последовательно обусловленных вероятностных событий в социоприродотехнической системе. Научное обоснование методологии прогнозирования геохимического риска на разных стадиях эколого-геохимических исследований, основано на положении о том, что прогноз риска выполняется на уровне сложности, которая зависит от стадии проектирования, важности объекта опасности, степени опасности и интенсивности потенциальных воздействий техногенного источника, уровню неопределенности и величине предполагаемого риска. Разработанная методология реализована при прогнозе риска, связанного с загрязнением подольско-мячковского

водоносного комплекса на территории бывших Люблинских полей фильтрации в Москве и выполненного с использованием динамико-стохастического моделирования. В основу управления геохимическим риском положены: принцип системности, предполагающий выделение в системе управления техноприродным геохимическим риском трех взаимодействующих подсистем управления: техногенными источниками техногенных воздействий, геохимической ситуацией (регулирование формирования и реализации геохимической опасности) и объектами опасности (здоровье человека, инфраструктура и т. п.), и принцип ситуационности, заключающийся в принятии или корректировке управленческих решений в соответствии с изменением ситуации и обусловленный стохастическим характером поведения всех подсистем. Задачей дальнейших исследований в области управления геохимическим риском должно являться выяснение закономерностей процессов самоорганизации и организации в социоприродотехнической системе и разработка методологии управления риском с учетом тенденций саморазвития системы.

ЛИТЕРАТУРА

- Буренков Э.К., Гинзбург Л.Н., Зангиева Т.Д. Экология крупных городов: проблемы и решения // Прикладная геохимия. Вып. 2. Экологическая геохимия / гл. ред. Э.К. Буренков. М. : ИМГРЭ, 2001. С. 339–353.
- Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г. и др. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика. М. : Наука, 2000. 432 с.
- Воробьев Ю.Л., Фалеев М.И., Малинецкий Г.Г., Медведев И.Г. и др. Кризисы современной России и система научного мониторинга // ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. Москва, 2002
- Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. Управление рисками и устойчивое развитие. Человеческое измерение // Общественные науки и современность. 2000. № 4. С. 150–162.
- Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры устойчивости и флуктуаций. М. : Мир, 1973. 280 с.
- Дзекцер Е.С., Пырченко В.А. Технология обеспечения устойчивого развития урбанизированных территорий в условиях воздействия природных опасностей. М. : ЗАО «ДАР/ВОДГЕО», 2005. 66 с.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Антропный принцип в синергетике // Вопросы философии. 1997. № 3. С. 62–79.
- Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика – теория самоорганизации. Идеи, методы, перспективы. М. : Наука, 1983.
- Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М. : Мир, 1979. 512 с.
- Оценка и управление природными рисками // Материалы Всероссийской конференции «РИСК-2003». М. : Российский ун-т дружбы народов, 2003. Т. 1. 416 с.
- Осипов В.И. Оценка и управление природными рисками. Шестая Всероссийская научно-практическая конференция «Управление рисками чрезвычайных ситуаций». Москва, 20–21 марта 2001 г. М. : КРУК, 2002. С. 34–35.
- Осипов В.И. Управление природными рисками // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72, № 8. С. 678–687.
- Огняник Н.С., Рудаков В.К., Рыбин В.Ф., Ситников А.Б. и др. Охрана подземных вод в условиях техногенеза. Киев: Вища шк. Головное изд-во, 1985. 221 с.
- Пригожин И. От существующего к возникающему. М. : Наука, 1985. 328 с.
- Природные опасности и общество. Тематический том / под ред. В.А. Владимиров, Ю.Л. Воробьева, В.И. Осипова. М. : КРУК, 2002. 248 с.
- Природные опасности России // Оценка и управление природными рисками. Тематический том / под ред. А.Л. Рагозина. М. : КРУК, 2003. Т. 6. 320 с.
- Рагозин А.Л. Современные методы и проблемы количественной оценки и управления природными рисками. Оценка и управление природными рисками // Материалы Всероссийской конференции «РИСК-2003». М. : Российский ун-т дружбы народов, 2003. С. 350–355.
- Рагозин А.Л. Общие положения оценки и управления природным риском // Геоэкология. 1999. № 5. С. 417–429.
- Руденко А.П. Самоорганизация и синергетика // Синергетика. Тр. семинара. Вып. 3. М. : МГУ, 2000. С. 61–99.
- Руденко А.П. Саморазвивающиеся каталитические системы // ДАН СССР. 1964. Т. 159. С. 1374–1377.
- Руденко А.П. Самоорганизация и прогрессивная эволюция в природных процессах в аспекте концепции эволюционного катализа // Росс. хим. журн. 1995. Т. 39, № 2. С. 55–71.
- Chiang W.H., Kinzelbach W. 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. First Edition. Berlin; Heidelberg; New York.: Springer, 2001. 346 p.
- Deutsch C.V., Journel A.G. GSLIB: Geostatistical Software Library and Users Guide, Oxford University Press, second edition, New York. 1997. 369 p.
- Neber A. Geological 3D Mapping and Structure-Modelling with GSI3D. Geological Surveying and Investigation in 3D: Introduction and User Manual. 2006. 67 p.
- Rosen L., LeGrand H.E. An Outline of a Guidance Framework for Assessing Hydrogeological Risks at Early Stages / Ground Water. 1997. Vol. 35, N 2. P. 195–204.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ю.Г. Гатинский, Д.В. Рундквист, Г.Л. Власова, Т.В. Прохорова</i> СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЛАВНЕЙШИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ	13
<i>В.И. Осипов, Н.И. Фролова, С.П. Суцев, В.И. Ларионов</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО И ПРИРОДНОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	28
<i>В.И. Величкин, Б.П. Власов, М.В. Шумилин</i> ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЫВШЕГО СССР И РОССИИ	49
<i>С.А. Дмитриев, В.И. Величкин, Б.И. Омеляненко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО УРОВНЕЙ РАДИОАКТИВНОСТИ	64
<i>В.И. Величкин, В.И. Мальковский, Н.Н. Тарасов, Ю.П. Диков</i> АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ ОЗЕРА КАРАЧАЙ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	77
<i>Б.И. Омеляненко, В.И. Величкин, С.В. Юдинцев</i> ПОВЕДЕНИЕ АКТИНИДОВ В УСЛОВИЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	86
<i>С.В. Юдинцев, Б.И. Омеляненко</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТЕХНЕЦИЯ	99
<i>И.Н. Солодов, А.К. Лисицин</i> ПОЛИЭЛЕМЕНТНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И МЕТАЛЛЫ, ИЗВЛЕКАЕМЫЕ СЕРНОКИСЛОТНЫМ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ	109
<i>В.А. Петров, В.В. Полуэктов, Р.М. Насимов, А.А. Бурмистров, С.И. Щукин, Й. Хаммер</i> ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В ГРАНИТАХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОЯТ	124
<i>В.М. Котляков, Л.Н. Васильев, М.Ю. Москалевский</i> БАЛАНС МАССЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА	139

<i>Ю.Я. Мачерет, А.Ф. Глазовский, И.И. Лаврентьев</i> ВОДА В ПОЛИТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕПЛЫХ ЛЕДНИКАХ	152
<i>В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов, О.В. Нагорнов, С.А. Тюфлин, И.И. Лаврентьев, С.А. Марченко, В.И. Окопный</i> СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ФИРНОВО-ЛЕДЯНОЙ ТОЛЩИ НА ЗАПАДНОМ ПЛАТО ЭЛЬБРУСА	180
<i>Ю.П. Масуренков, А.Л. Собисевич</i> ЭЛЬБРУССКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ – ИНДИКАТОР ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО И ФЛЮИДНОГО СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНА	189
<i>А.Н. Хименков, Г.З. Перльштейн, Д.О. Сергеев, А.Н. Власов, В.П. Мерзляков, Ю.В. Халилова</i> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РИСКА ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ	205
<i>Е.В. Коротеева, Е.И. Вейсберг, Н.Б. Куянцева, С.А. Лесина</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНЫХ ПРЕДГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА	213
<i>А.Ю. Кудеярова</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ ПРИ ЗАФОСФАЧИВАНИИ КИСЛЫХ ПОЧВ	223
<i>И.В. Галицкая, И.А. Позднякова, Л.С. Томс</i> МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПРИРОДНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ РИСКОМ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	239
<i>Л.С. Кучмент, А.Н. Гельфан</i> СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МАСШТАБОВ И РИСКА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА	252
<i>В.В. Адушкин, П.П. Фирстов</i> ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ В АТМОСФЕРЕ	264
<i>А.Ю. Озеров</i> МЕХАНИЗМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ФОНТАНИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВУЛКАНОВ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ПРИРОДНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ)	279
<i>О.В. Руденко, А.Л. Собисевич, Л.Е. Собисевич</i> О ФИЗИКЕ АКУСТИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ И МЕДЛЕННЫХ ВОЛНАХ В ГРАНУЛИРОВАННОЙ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ	299
<i>В.Н. Николаевский</i> ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – СОБЫТИЯ И ПРЕДВЕСТНИКИ УДАРА	316
<i>Б.В. Левин, Г.В. Шевченко, В.М. Кайстренко, Т.Н. Ивельская, Т.К. Пинегина, Н.Г. Разжигаева</i> ПРОБЛЕМА ЦУНАМИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АСПЕКТ)	332
<i>В.А. Семенов, И.И. Мохов, М. Латиф</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РЕГИОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ	355

Ю.Н. Авсюк, А.Л. Собисевич

ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ – ЛУНА – СОЛНЦЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ	373
--	-----

В.Ч. Хон, И.И. Мохов

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА К ИЗМЕНЕНИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	392
---	-----

*В.М. Григорьев, Л.В. Ермакова, А.В. Мордвинов, Ю.А. Наговицын, А.Г. Тлатов,
В.Г. Иванов, Е.В. Милецкий, Е.Ю. Наговицына, А.И. Хлыстова, С.А. Язев*

ВОЗНИКНОВЕНИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ, ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ И НА ДЛИТЕЛЬНОЙ ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ	399
---	-----

С.И. Сороко, В.П. Рожков, Е.Г. Сергеева, С.С. Бекшаев, С.С.Андреева, И.В.Николаев

ОСОБЕННОСТИ MORFOFУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ И ГЕМОДИНАМИКИ МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО И ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО СЕВЕРА	413
---	-----

Научное издание

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

В 2 томах

Том 2

ГЕОЛОГИЯ УРАНА, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ

*Печатается по решению Научного совета Программы
фундаментальных исследований президиума РАН № 4*

Ответственный составитель д.ф.-м.н. *Собисевич Алексей Леонидович*

Технический редактор *В.И. Горбенко*
Компьютерная верстка *К.А. Мордвинцев*
Корректор *С.Б. Сулова*

Подписано в печать 05.09.11. Формат 60×90/8
Гарнитура Таймс. Бумага мелованная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 54. Тираж 200 экз.

ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
123995 ГСП-5, Д-242, Москва, ул. Б. Грузинская, 10

Отпечатано в типографии издательства «ПРОБЕЛ 2000»
109544 Москва, ул. Рабочая, 91