



ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Королев В.А.
МГУ им. М.В.Ломоносова

Проблемы мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем привлекают к себе все большее внимание. Свидетельство тому – состоявшаяся в мае 2007 г. на геологическом факультете МГУ Международная научная конференция «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем» [7, 8].

За последние два-три десятилетия в опубликованных работах появилось большое количество «видов мониторинга» различных систем. Обобщая все известные определения мониторинга, можно сказать, что вид и название мониторинга определяется чаще всего объектом его наблюдений. Именно многообразие объектов наблюдений и обуславливает множество видов мониторинга, обоснованных к настоящему времени, в том числе и используемых в геологии. Однако «геологическая составляющая» как объект наблюдений мониторинга, содержится лишь только в некоторых его видах, которые и обобщаются в науках геологического цикла. Обобщая эти представления, можно «свести» данные виды «геологического мониторинга» к системам трех типов, выступающих как объекты мониторинга: 1) системы природные геологические; 2) системы литотехнические; 3) системы эколого-геологические.

Геологические, литотехнические и эколого-геологические системы, являющиеся объектами наблюдений соответствующих систем мониторинга, характеризуются как общими, так и специфическими особенностями их состава, строения, функционирования и т.п., что необходимо обязательно учитывать при создании систем мониторинга. Приведем определения указанных систем [5, 6]:

Геологическая система – это иерархически упорядоченное естественное геологическое образование, сформировавшееся в ходе геологической эволюции Земли и характеризующееся определенным происхождением (генезисом), возрастом, составом, строением, энергетическими характеристиками, динамикой и пространственным положением в пределах литосферы. Эта система является объектом изучения всех геологических наук.

Литотехническая система (ЛТС) – это часть (или подсистема) природно-технической системы (ПТС), включающая подсистему инженерного сооружения (объектов техносферы) и взаимодействующую с ним часть верхних горизонтов литосферы (геологическую подсистему). Данная система представляет собой традиционный объект изучения наук инженерно-геологического цикла: инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии.

Эколого-геологической системой (ЭГС) называется часть (подсистема) экосистемы, обусловленная взаимодействием и взаимным влиянием некоторой области верхних горизонтов литосферы и биоты; она может быть двух видов: а) природной и б) техногенно-измененной. Эта система представляет собой объект изучения экологической геологии. Логические схемы соотношения указанных систем показаны на рис. 1.

В соответствии с этим, можно дать следующие определения мониторинга указанных систем, очень близкие по форме [5, 6].

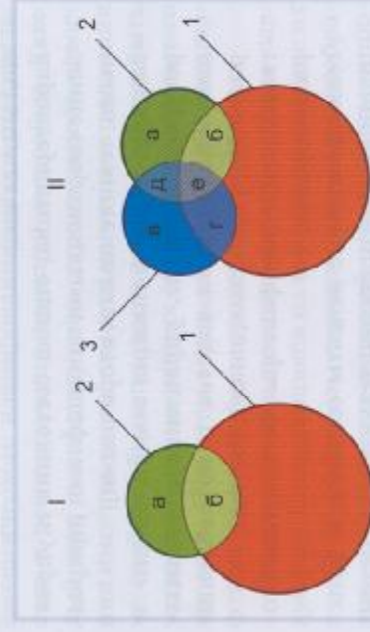


Рис. 1. Соотношение геологической (1), эколого-геологической (2) и литотехнической (3) для природных (I) и природно-техногенных (II) условий:

а – биота; б – область ее взаимодействия с литосферой; в – техническая система; г – область ее взаимодействия с литосферой и техносферой; д – область взаимодействия биоты и техносферы; е – область взаимодействия литосферы, биоты и техносферы

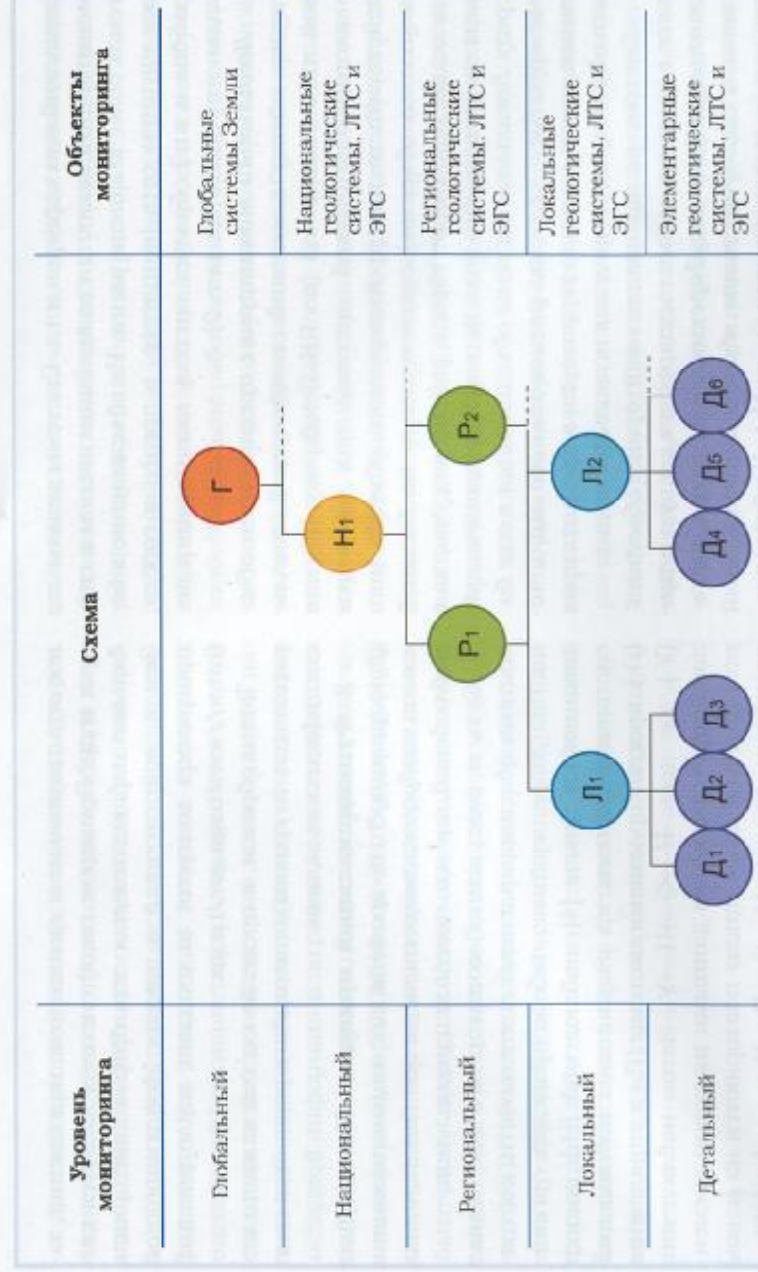


Рис. 2. Иерархические уровни организации мониторинга и их взаимосвязь

Мониторинг геологических систем – система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления природными геологическими системами, проводимая по заранее намеченной программе с целью решения научно-практических задач и оптимизации функционирования этих систем.

Мониторинг литотехнических систем – система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления литотехническими системами, проводимая по заранее намеченной программе с целью оптимизации их функционирования в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

Мониторинг эколого-геологических систем – система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления эколого-геологическими системами, проводимая по заранее намеченной программе с целью оптимизации их экологического функционирования.

Указанные системы мониторинга тесно связаны между собой, т.к. их объекты наблюдений частично (или полностью) «перекрываются». Однако объекты наблюдений и конечные цели этих систем мониторинга разные. Тем не менее есть общие теоретические и методологические принципы, единые для всех указанных систем мониторинга, которые необходимо учитывать при организации любых систем мониторинга. Несмотря на различие объектов наблюдений, целей и задач систем мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических

систем, существуют общие теоретические и методологические принципы, единые для всех указанных систем мониторинга, которые необходимо учитывать при организации мониторинга.

К ним относятся нижеследующие [5, 6]:

1. Структурно-организационный принцип.

Система мониторинга любого уровня (детального, локального, регионального, национального или глобального), являясь многоуровневой и иерархической, должна строиться с учетом информационного взаимодействия с вышними системами и низшими подсистемами.

Методически ошибочно и экономически неэффективно создавать систему мониторинга вне взаимосвязи ее с другими вышними системами или низшими подсистемами. Система любого мониторинга имеет сложное строение, как по структуре, так и по содержанию [4]. Схема иерархических уровней мониторинга, показанная на рис. 2, отражает различные уровни организации систем мониторинга. Они в свою очередь выделяются по масштабному уровню наблюдений. Низшим иерархическим уровнем является уровень детального мониторинга («элементарного», по М.А.Шубину; «объектного», по А.В.Шидловской), реализуемого в пределах небольших территорий (участков) и «элементарных литотехнических систем» (по Г.К.Бондарюк, [2]); отдельных инженерных сооружений, предприятий, хозяйственных комплексов, место-



рождений или карьеров и т.д. Системы детального мониторинга являются важнейшим звеном в системах более высокого ранга. Их объединение в более крупную сеть (например, в пределах города, района и т.п.) образует систему мониторинга локального уровня (см. рис. 2).

Локальный мониторинг предназначен обеспечить оценку изменений геологической, локальной литотехнической (по Г.К. Бондаренку [2]) или эколого-геологической системы под влиянием действующего или проектируемого объекта (или комплекса объектов) соответственно на большей площади: территории города, района или участка в зоне его ожидаемого воздействия на геологическую среду. Локальные системы объединяются в еще более крупные – системы **регионального мониторинга**, охватывающие территории в пределах края или области, или в пределах нескольких из них.

Системы регионального мониторинга объединяются в пределах одного государства в единую **национальную** (или **государственную**) сеть мониторинга и образуют таким образом национальный уровень («мегарегиональный», по М.А. Шубину) системы мониторинга (см. рис. 2).

Между системами мониторинга разных уровней постоянно осуществляется обмен информацией. Системы национального (государственного) уровня мониторинга являются необходимой предпосылкой для соблюдения законодательства в области охраны недр и экологии, систематического контроля за состоянием всех компонентов природной среды, обеспечения эффективной и экологически безопасной инженерно-хозяйственной деятельности и т.д.

В рамках экологической программы ООН поставлена задача объединения национальных систем мониторинга в единую межгосударственную сеть – **Глобальную систему** мониторинга окружающей среды (ГСМОС). Это высший глобальный уровень организации системы мониторинга. Ее назначение – осуществление мониторинга за изменениями в окружающей, в том числе геологической, среде на Земле в целом, в глобальном масштабе.

Глобальный мониторинг – это система слежения за состоянием и прогнозирование возможных изменений общепланетарных процессов и явлений, включая антропогенные воздействия на биосферу Земли в целом. Пока создание такой системы в полном объеме, действующей под эгидой ООН, является задачей будущего, так как многие государства не имеют собственных национальных систем. Глобальная система мониторинга окружающей среды призвана решать общечеловеческие экологические проблемы в рамках всей Земли, такие как глобальное потепление климата, проблема сохранения озонового слоя, прогноз землетрясений, сохранение лесов, глобаль-

ное опустынивание и эрозия почв, наводнения, засухи и др. Примером такой системы является глобальная наблюдательная сеть сейсмомониторинга Земли, действующая в рамках Международной программы контроля за очагами землетрясений (<http://www.usgs.gov/>) и др.

Таким образом, в пределах систем каждого иерархического уровня мониторинга решаются свои специфические задачи.

2. Функциональный принцип. Мониторинг функционирует во времени как взаимосвязанная и взаимобусловленная система цепи постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления.

Суть и содержание мониторинга составляет система целенаправленной деятельности, состоящей из упорядоченного набора процедур, организованного в циклы [4]: наблюдений (П), оценки состояния системы по результатам наблюдений (О), прогноза развития системы (П) и управления (У), т.е. цепь: $H \rightarrow O \rightarrow P \rightarrow U$. Затем наблюдения дополняются новыми данными на новом временном цикле, и далее циклы повторяются на новом временном отрезке: $H \rightarrow O_2 \rightarrow P_2 \rightarrow U_2$ и т.д. (рис. 3).

Отсюда следует общая схема функционирования мониторинга геологических, литотехнических или эколого-геологических систем во времени, показанная на рис. 3. На этой схеме римскими цифрами указаны номера соответствующих циклов мониторинга, начинающихся и заканчивающихся в определенные временные интервалы и развивающиеся по спирали. Параллельно оси времени на функциональной схеме выделяются соответствующие функциональные цепи мониторинга, отражающие его содержательную часть, меняющуюся во времени: цепь последовательных наблюдений ($H_1 \rightarrow H_2 \rightarrow H_3 \rightarrow \dots$ и т.д.); цепь последовательных оценок состояния геологической среды по результатам наблюдений ($O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow O_3 \rightarrow \dots$ и т.д.); цепь последовательных прогнозов и прогнозных рекомендаций, со временем все более точных и надежных ($P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow \dots$ и т.д.); и, наконец, цепь последовательных управляющих решений и рекомендаций по управлению данной ПТС, становящихся со временем все более оптимальными (см. рис. 3).

Таким образом, мониторинг геологических, литотехнических или эколого-геологических систем представляют собой сложно построенную, циклически функционирующую и развивающуюся во времени «по спирали» постоянно действующую систему.

3. Обучающий принцип. С течением времени в системе работающего мониторинга качество прогнозов и эфрективность управления должны закономерно улучшаться; система мониторинга во времени должна непрерывно совершенствоваться и строиться как «самообучающаяся» система.



Данный принцип взаимосвязан с предыдущим. Мониторинг должен строиться так, чтобы по мере накопления информации с течением времени проводилась корректировка всей его программы, направленная на повышение точности прогнозов оценок и эффективности управления. Ясно, что при создании любой новой системы мониторинга в начальный период обычно наблюдается недостаток исходной информации по различным компонентам наблюдений. Ввиду этого «системы пунктов получения информации» (СПИНФы по Г.К. Бондарнику [1, 2]) в начальный период мониторинга строятся по «избыточному» принципу. Но по мере того, как система мониторинга начинает работать, становится ясно, что СПИНФ можно скорректировать, убрать «лишние» пункты наблюдений или сбора первичной информации, либо дополнить систему наблюдений новыми пунктами и т.п. Со временем совершенствуются и методика прогнозирования, а, следовательно,

и повышается качество и эффективность вырабатываемых рекомендаций и управляющих решений (см. цепь управления на рис. 3).

Таким образом, система мониторинга должна совершенствоваться в процессе своего «самообучения». Чем дольше работает мониторинг тем совершеннее его прогнозы и управление. При этом важно, чтобы «самообучение» системы было бы предусмотрено и обосновано в его функциональной структуре, в органах управления мониторингом.

4. Пространственный принцип. *Пространственная структура системы пунктов получения информации (СПИНФ) в зависимости от вида мониторинга целиком определяется факторами трех типов:*

а. Для мониторинга геологических систем – природными особенностями пространственного распределения поля геологических параметров (по Г.К. Бондарнику [1, 3]) в системе, типами геологической среды, параллелизмом геологических процессов и др. природными геологическими факторами.

б. Для мониторинга литотехнических систем – с одной стороны – природными геологическими (см. выше пункт «а») и инженерно-геологическими особенностями территории; с другой – типами и особенностями инженерных сооружений на данной территории, определяющими на ней конкретные технологические воздействия на геологическую среду (их вид, интенсивность, мощность и т.п.).

с. Для мониторинга эколого-геологических систем – в зависимости от их типа определяются двумя факторами:

i. Для природных эколого-геологических систем – природными геологическими (см. пункт «а») особенностями территории и воздействием на ней экосистемы (преимущественно взаимосвязанной с литосферой).

ii. Для техногенно-измененных эколого-геологических систем – геологическими и инженерно-геологическими особенностями территории, типом и особенностями инженерных сооружений на ней, техногенными воздействиями, а также воздействием на ней экосистемы.

Таким образом, данный принцип определяет основные положения создания пространственной системы наблюдений или сбора информации в мониторинге, правила разработки СПИНФ. Этим принципом необходимо руководствоваться при распределении пунктов сбора первичной информации на местности, разработке и создании карт организации мониторинга, на которых указываются все типы СПИНФ и т.п.

5. Временной принцип. *Частота наблюдений и сбора информации во времени в системе мониторинга полностью определяется динамикой наблюдаемых (главным) процессов в геологических,*

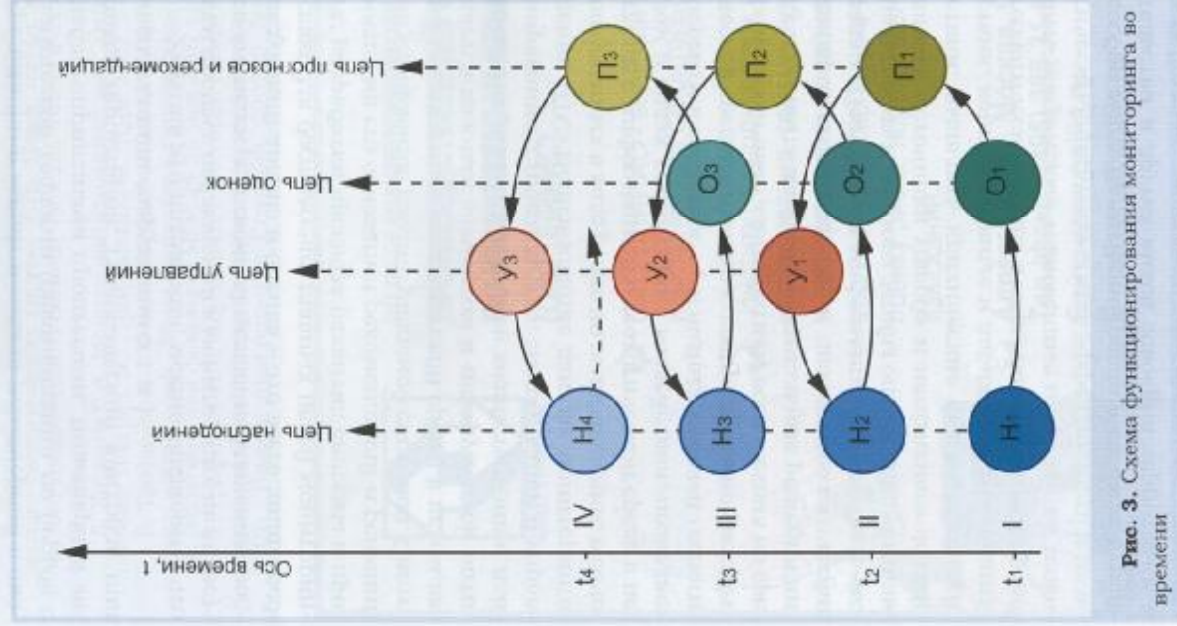


Рис. 3. Схема функционирования мониторинга во времени



литотехнических и эколого-геологических системах режимом развития геологических и инженерно-геологических процессов, временем (длительностью и стадией) существования инженерных сооружений, временными особенностями их взаимодействия и влияния на геологическую среду и биоту, особенностями сукцессий экосистем на данной территории.

Данный принцип догоняет предыдущий в части временного функционирования создаваемой системы пунктов получения информации (СПИИИФ). На его основе осуществляется разработка методики наблюдений в данной системе мониторинга, проводятся режимные наблюдения, подбирается и создается соответствующая аппаратура (включая логгеры) для сбора первичной информации с соответствующей частотой (периодичностью).

Следует подчеркнуть, что система наблюдений во времени мониторинга не сводится к режимным наблюдениям, а, отличаясь от них принципиально, включает их в себя составной частью. Режимные наблюдения – это лишь одна из компонент мониторинга геологической среды. Наиболее существенные отличия мониторинга геологической среды от режимных инженерно-геологических наблюдений сводятся к следующему [4]:

1) мониторинг характеризуется *целенаправленностью* (см. ниже); наличием целевой программы и выходом на конечную цель – управление ППС;

2) мониторинг, в отличие от режимных наблюдений, характеризуется *комплексностью* наблюдений, объектов, целей и используемых методов;

3) мониторинг характеризуется *системностью*, изучением взаимодействий происходящих в данной системе по прямым и обратным связям;

4) результаты наблюдений в ходе мониторинга хранятся в автоматизированных информационных системах (АИС), они постоянно обновляются и дополняются в автоматическом режиме.

6. Целевой принцип. Система любого мониторинга должна строиться с учетом достижения его конечной цели – оптимизации управления данной природной или природно-технической системой (ППС), что достигается на базе прогнозных оценок ее развития (эволюции) путем выработки оптимальных управляющих решений и рекомендаций.

Исходя из приведенных выше определений мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем, их назначением, главной целью является установление тенденций развития соответствующей системы или ее части и на основе этого – принятие управляющих решений по оптимизации функционирования данной природной системы или ППС (литотехнической, либо эколого-геологической).

Назначение мониторинга геологических, литотехнических или эколого-геологических систем конкретизируется в его *целевой программе*. В целевую программу мониторинга включаются наблюдения не только за техногенными, но и за природными изменениями состояния геологической среды, прежде всего за изменениями, происходящими в результате тех эндогенных или экзогенных геологических процессов, временные характеристики которых сопоставимы с периодом жизни данной ППС и которые влияют на экосистему. В программу также входит и последующий генетический анализ изменений геологической среды с целью выделения техногенной и природной компоненты изменений, их прогноз и оценка воздействия на экосистему. Кроме того, целью мониторинга помимо наблюдений и прогноза должны быть оценка состояния геологической среды и управление ею, так как участие в управлении неблагоприятными геологическими процессами традиционно входит в задачи инженерной и экологической геологии (рекомендации по борьбе с неблагоприятными процессами, инженерная защита территорий, геологический контроль при эксплуатации сооружений и т. д.).


Уточняя эти положения, можно заключить, что сам процесс наблюдений в мониторинге не является его непосредственной целью: наблюдения, послужившие для достижения главных целей мониторинга: разработки прогноза развития системы и принятие на его основании рекомендаций и решений по управлению рассматриваемой системой. Система мониторинга геологической среды в целом является важным элементом и инструментом оптимизации различных этапов хозяйствования: планирования, строительства, эксплуатации и управления ППС. Использование данных мониторинга, полученных в ходе режимных наблюдений, в сочетании с информацией о геологической среде в целом и видах техногенного воздействия, позволяет перейти к созданию прогнозных моделей геологической среды, с помощью которых можно рассмотреть различные альтернативы воздействия на среду и выявить наиболее оптимальные решения инженерно-геологических и эколого-геологических задач. Полученная информация может быть использована и для того, чтобы оперативно устанавливать источники ущерба и негативного воздействия, выявлять критические факторы воздействия, консервативные и лабильные компоненты геологической среды и меры по ее защите, определять допустимые техногенные нагрузки на геологическую среду, оценивать эффективность и целесообразность применения различных форм строительства и других видов освоения территории и т. д. Данные эколого-геологического мониторинга



должны использоваться для контроля (проверки состояния) геологической среды при сопоставлении оценок с системой стандартных критериев и показателей.

Наконец, помимо управленческих задач мониторинг может решать *научно-исследовательские и научно-методические задачи* [4]. Необходимость в мониторинге возникает всякий раз, когда требуется проверка какой-либо теоретической модели или гипотезы. В этом отношении эколого-геологический мониторинг также может использоваться для решения ряда исследовательских задач, связанных с рациональным использованием геологичес-

кой среды, эколого-геологическими проблемами и т. п. С другой стороны, определение исследовательских задач позволяет свести к минимуму или уменьшить круг параметров подлежащих контролю, что важно из-за большой стоимости системы наблюдений в мониторинге. Таким образом, мониторинг призван решать задачи двух типов: управленческие и исследовательские.

Указанные принципы мониторинга во многом являются универсальными и должны учитываться при практической реализации целевых комплексных программ мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Природно-технические системы и их мониторинг. – Инженерная геология, 1990, № 5, С. 3-9.
2. Бондарик Г.К. Методология и теоретические основы организации мониторинга лито-, лито-технических и природно-технических систем. / Тр. Межд. научн. конф. «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем» (Москва, геологический факультет МГУ, 24-25 мая 2007 г.). – М.: МГУ, 2007. С. 14-16.
3. Королев В.А. Мониторинг геологической среды: Учебник / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: МГУ, 1995. – 272 с.
4. Королев В.А. Теоретико-методологические принципы мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. / Тр. Межд. научн. конф. «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем» (Москва, геологический факультет МГУ, 24-25 мая 2007 г.). – М.: МГУ, 2007. С. 17-19.
5. Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. / Учеб. пособие. Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: ИДУ, 2007. – 416 с.: ил., табл.
6. Трофимов В.Т. О мониторинге геологических, литотехнических и эколого-геологических систем / Тр. Межд. научн. конф. «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем» (Москва, геологический факультет МГУ, 24-25 мая 2007 г.). – М.: МГУ, 2007. С. 7-13.
7. Трофимов В.Т., Королев В.А. К итогам Международной научной конференции «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем», Москва, МГУ им. М.В.Ломоносова, 24-25 мая 2007. – Инженерная геология, Сентябрь, 2007, С. 56-57.



ОАО ПНИИС

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ (ОАО ПНИИС)

➡ ОАО ПНИИС - ведущий институт России в области инженерных изысканий для строительства

➡ Институт выполняет все виды инженерных изысканий, геокриологические исследования, сейсмическое микрорайонирование, изучение прочностных и деформационных свойств талых и мерзлых грунтов, мониторинг и прогноз, проектирование инженерной защиты от опасных процессов, оценку риска, нормирование, стандартизацию и экспертизу материалов изысканий.

➡ Адрес: 105187, Москва, Окружной проезд, д. 18.
Тел./факс.: (495) 366-31-89.
Сайт: www.pniis.ru
E-mail: org@pniis.ru

