

7. ФГУП «ГХК» — объекты 354 и 354а (геофильтрационная и геомиграционная модели);

8. ПАО «МСЗ» (геофильтрационная и геомиграционная модели).

Наиболее эффективно применение ПК «НИМФА» на высокопараллельных Супер-ЭВМ. К таким компьютерам, в частности, относятся компактные Супер-ЭВМ (КС-ЭВМ) различных моделей разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ. КС-ЭВМ представляет собой универсальную вычислительную многопроцессорную компактную высокопроизводительную систему, оснащенную базовым системным программным обеспечением (ПО) и прикладным программным обеспечением. Для эксплуатации КС-ЭВМ не требуется создания специальной инженерной инфраструктуры. Благодаря низкому уровню шума (не более 50 дБА), КС-ЭВМ может эксплуатироваться непосредственно на рабочем месте пользователя. Прикладным программным обеспечением, поставляемым с КС-ЭВМ, является ПК «НИМФА» или иное ПО разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ. Более обстоятельная информация по КС-ЭВМ представлена на сайте РФЯЦ-ВНИИЭФ: <http://www.vniief.ru/>.

ПК «НИМФА» следует рассматривать как часть единого аппаратно-программного комплекса — АПК «НИМФА». В настоящее время АПК «НИМФА» функционирует на таких предприятиях как РФЯЦ-ВНИИЭФ, ФГБУ «Гидроспецгеология», ФГУП «ГХК».

Опыт использования ПК «НИМФА» свидетельствует, что как программный продукт, обладающий высоким потенциалом развития, ПК «НИМФА» должен развиваться и совершенствоваться в соответствии с современными вызовами и постановкой новых практических задач.

В ближайшей перспективе актуальными задачами развития ПК «НИМФА» являются:

1. Разработка встроенных модулей автоматической калибровки геофильтрационных и геомиграционных моделей.

2. Разработка модуля расчета цепочек радиоактивного распада.

Решение указанных задач позволит существенно повысить оперативность и достоверность результатов прогнозных расчетов, выполняемых с помощью ПК «НИМФА».

В соответствии с основными положениями экологической политики «Росатома» ПК «НИМФА» целесообразно также использовать на коммерческой основе для решения широкого круга геоэкологических и гидрогеологических задач. Внедрение и коммерческое использование ПК «НИМФА» предусматривают техническую поддержку программного продукта, его рекламу и свободную продажу, а также проведение обучающих семинаров для пользователей.

Заключение

В настоящее время АПК «НИМФА» является неотъемлемой частью системы модельно-ориентированного объектного мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом». Принимая во внимание высокий потенциал развития данного

продукта, представляется целесообразным использовать его в перспективе для решения широкого круга гидрогеологических и геоэкологических задач на промышленных объектах вне контура «Росатома», в частности, для оценки запасов подземных вод, обоснования закачки проток в глубокие водоносные горизонты, оценки воздействия хранилищ промышленных отходов на окружающую среду и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутнев, О.И. Комплекс программ «НИМФА» для решения задач нелинейной однофазной фильтрации жидкости и тепломассопереноса в пористых средах / О.И. Бутнев, М.Л. Глинский, И.В. Горев, А.А. Куваев, П.А. Машенькин, В.А. Пронин, М.Е. Семенов, М.Л. Сидоров // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. — 2018. — Вып. 2. — С. 3–13.
2. Глинский, М.Л. Объектный мониторинг состояния недр на предприятиях атомной отрасли / М.Л. Глинский, В.А. Ветров, А.А. Абрамов, Л.Г. Чертков. — М.: Б.С.Г.-Пресс, 2015. — 264 с.
3. Глинский, М.Л. Программный комплекс «НИМФА»: перспективы развития / М.Л. Глинский, А.А. Куваев, С.Е. Власов, Р.М. Шагалиев, Ю.Н. Дерюгин, И.В. Горев // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 10. — С. 55–59.
4. Куваев, А.А. Обоснование радиационной и экологической безопасности ОИАЭ на основе данных ОМСН с использованием геофильтрационного и геомиграционного моделирования. Промышленная безопасность и экология: Сб. матер. XVI сессии молодежной школы-семинара / А.А. Куваев. — Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2017. — С. 187–192.
5. Патент № 2611892 РФ. Способ трехмерного моделирования заданного гидрогеологического объекта, реализуемый в вычислительной системе / В.А. Пронин, М.Л. Сидоров; патентообладатель — ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», заявл. 2015; опубл. 2017.
6. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г., п. 20.
7. Федеральный закон от 23 мая 2018 г. N 118-ФЗ «О внесении изменений в статью 26 Федерального закона «Об использовании атомной энергии» и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации». Статья 1.7.

© Коллектив авторов, 2018

Шагалиев Рашит Мирзагалиевич // RmShagaliev@vniief.ru

Бутнев Олег Игоревич

Горев Игорь Васильевич // IVGorev@vniief.ru

Пронин Виталий Алексеевич // VAPronin@vniief.ru

Глинский Марк Львович // info@specgeo.ru

Куваев Андрей Алексеевич // andrey_kuvaev@inbox.ru

Семенов Михаил Евгеньевич // semenov_m_e@msnr.ru

УДК 550.34.094

**Забирченко Д.Н., Малофеева С.С., Круткин Л.Л.
(Филиал ФГБУ «Гидроспецгеология» Южный
региональный центр ГМСН)**

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ЭНДОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРОКАВКАЗСКОМ СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ

*В статье рассмотрены основные особенности методических приемов обработки и комплексного анализа данных мониторинга опасных эндогенных геологических процессов и эффективность их применения на примере Северо-Кавказского сейсмоактивного региона. **Ключевые слова:** ПГД поле, приведенная амплитуда, геофизические поля, мониторинг, эндогенные геологические процессы, сейсмичность.*

*The article considers the main features of methods of processing and complex analysis of monitoring data of dangerous endogenous geological processes and their application efficiency on the example of the North Caucasian seismically active region. **Keywords:** GGD field, reduced amplitude, geophysical fields, monitoring, endogenous geological processes, seismicity.*

Введение

Многолетняя практика сейсмопрогностических исследований показала, что задача контроля пространственно-временных изменений напряженно-деформированного состояния геологической среды реализуется на основе комплексных региональных наблюдательных сетей мониторинга гидрогеодеформационного (ГГД), газогидрохимического и геофизического полей. Неоднозначность оценки степени сейсмической опасности только по одному методу существенно уменьшается при выявлении предвестников по другим видам мониторинга [5]. Многопараметрический мониторинг повышает достоверность оценки изменений напряженно-деформированного состояния геологической среды в пределах контролируемого региона.

В настоящее время в составе геолого-геофизических работ по прогнозу землетрясений силами ФГБУ «Гидроспецгеология» ведется мониторинг опасных эндогенных геологических процессов (ОЭНГП) в четырех геодинамически активных регионах России: Северо-Кавказском, Алтае-Саянском, Байкальском и Дальневосточном. На полигонах в различных сочетаниях и объемах проводится мониторинг геомагнитного поля, электрического сопротивления, естественно-импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИ-ЭМПЗ), гидрогеодеформационного поля (ГГД-поля), содержания гелия в воде изливающихся скважин и источников, температуры и электропроводности подземных вод, атмосферного давления, полей упругих волн как удаленных, так и местных землетрясений.

Ведение мониторинга ОЭНГП в *Северо-Кавказском сейсмоактивном регионе* Российской Федерации выполняется филиалом ФГБУ «Гидроспецгеология» «Южный региональный центр ГМСН» (ЮРЦ ГМСН) в соответствии с Государственным заданием (рис. 1). По результатам обработки и анализа данных мониторинга гидрогеодеформационного (ГГД), геофизического и газо-гидрогеохимического полей ежемесячно осуществляется оценка сейсмогеодинамического состояния геологической среды и степени сейсмической опасности Северо-Кавказского сейсмоактивного региона (в том числе Сочинского полигона и Эльбрусского сейсмодулканического узла), составляются ежемесячные бюллетени, информационные записки и оперативные сообщения об аномальном изменении

наблюдаемых параметров (при возникновении критических аномалий, либо ощутимых землетрясений).

Гидрогеодеформационный мониторинг на Северном Кавказе выполняется по 19 наблюдательным скважинам (рис. 1), оборудованным телеметрическими станциями Кедр-ДМЗ (производитель — ООО «Полином») и включает непрерывные наблюдения по пяти измеряемым параметрам: уровень подземных вод, атмосферное давление, температура воздуха, электропроводность и температура подземных вод.

Геофизические наблюдения (мониторинг ЕИЭМПЗ и мониторинг местных землетрясений) на Северном Кавказе выполняются ЮРЦ ГМСН в непрерывном режиме по региональной сети станций в пределах Кавказского полигона. Мониторинг ЕИЭМПЗ ведется посредством телеметрической сети регистраторов с регулируемой резонансной частотой «ГР-01М», мониторинг сейсмичности — с помощью телеметрической сети регистраторов сейсмических сигналов «Дельта-Геон-03М» (производитель ООО «ЛогиС»).

Газо-гидрогеохимический мониторинг включает ежедневный отбор проб воды из скважин и источников и определение содержания гелия, а также мониторинг эманаций радона.

Результаты анализа многолетних сейсмопрогностических наблюдений на территории бывшего СССР были обобщены в Методических указаниях [1] и отражены в многочисленных публикациях. В процессе многолетних наблюдений в сейсмоопасных регионах России наряду с накоплением эмпирических данных постоянно шел процесс совершенствования исходной методики обработки данных ГГД мониторинга [1] с целью ее адаптации к гидродинамическим условиям конкретных сейсмоопасных регионов и повышения информативности и достоверности оперативной оценки геодинамического состояния геологической среды. Разработанные методические приемы обработки и интерпретации данных ГГД мониторинга (по параметру D_e ; по приведенным амплитудам $A_{пр}$; по энергетическим параметрам E_r и E_k и др.) разнятся как по детальности предлагаемых решений, так и по практике их применения в различных сейсмоопасных регионах РФ.

В настоящей статье будет описан опыт решения задачи комплексного анализа данных мониторинга ОЭНГП, полученный за период многолетнего накопления первичной информации и совершенствования методов ее интерпретации на примере Северо-Кавказского сейсмоактивного региона.

Решение задачи комплексного анализа данных на примере Северо-Кавказского региона

На Северном Кавказе для целей краткосрочной оценки сейсмогеодинамического состояния геологической среды и степени сейсмической опасности в течение многих лет успешно использовалась методика построения ежедневных карт-схем полей напряженности геологической среды (ПНГС) по приведенным (нормированным) суточным амплитудам ($A_{пр}$) уровней подземных вод (УПВ) [3, 4]. Данный метод обработки и интерпретации первичных данных ГГД мони-

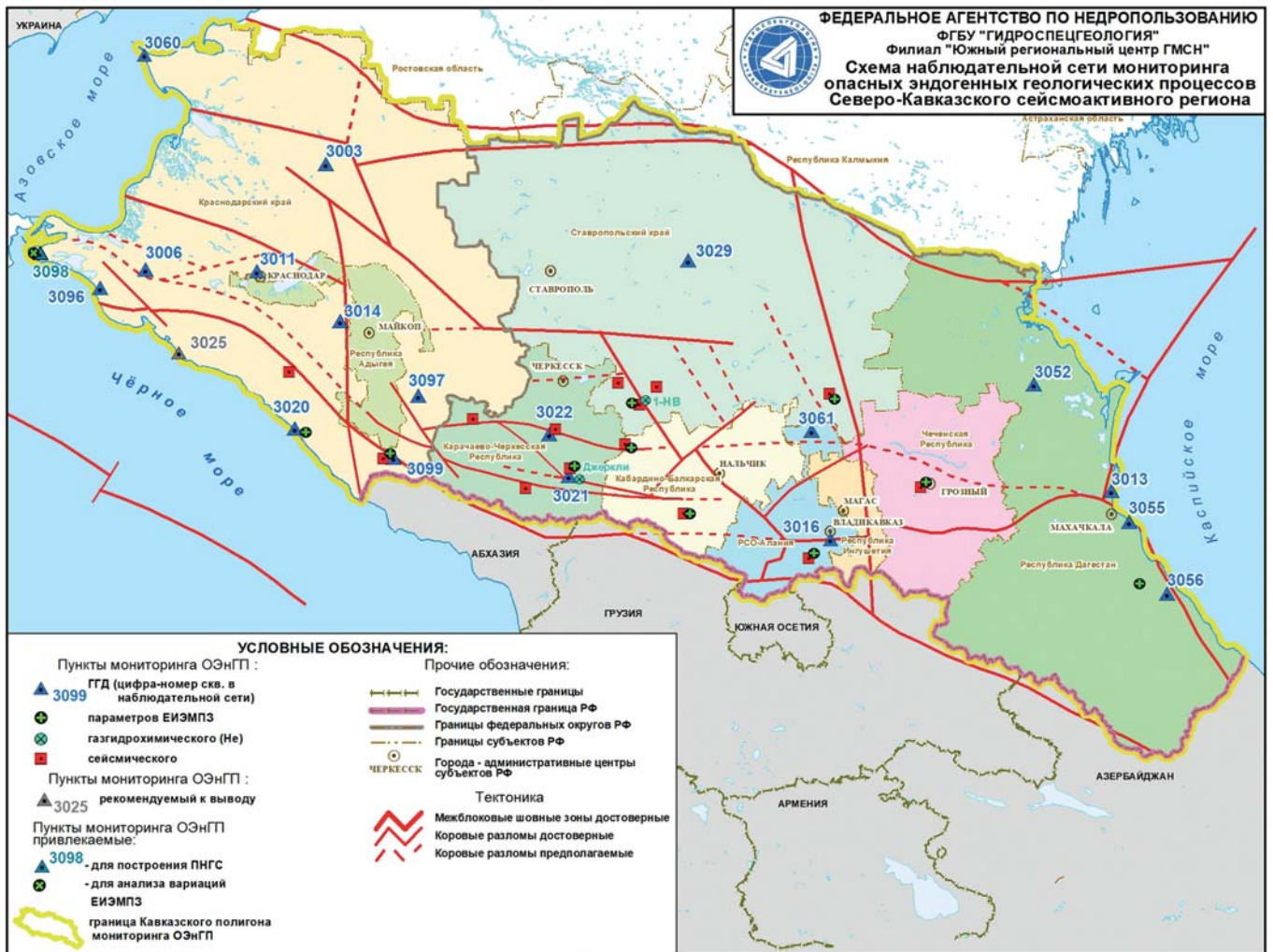


Рис. 1. Схема сети мониторинга опасных эндогенных геологических процессов Северо-Кавказского сейсмоактивного региона по состоянию на 2018 г.

торинга был разработан на основе обобщения многолетних исследований реакции УПВ на подготовку и разрядку землетрясений и анализа предвестниковых особенностей ГГД поля в сеймогеодинамических условиях Северного Кавказа в связи с местными слабыми и сильными дальними землетрясениями. Применение данной методики обработки позволяет за счет динамического нормирования нивелировать индивидуальные особенности в режиме подземных вод по каждому пункту, обусловленные различиями в структурном положении скважин, гидрогеологических и деформационных условий наблюдаемых водоносных горизонтов.

Физический смысл параметра Δp — градиент, т.е. скорость изменения УПВ, выходящая за пределы фоновых значений в аномальную или критическую фазу только при резком изменении уровня исходного параметра, либо смене направления тренда.

На этапе становления ГГД мониторинга в связи с отсутствием технической возможности незамедлительного получения данных наблюдений УПВ (период 1991–2001 гг.) для оперативной оценки сейсмогеодинамического состояния геологической среды Северо-

Кавказского сейсмоактивного региона и степени сейсмической опасности наиболее широко применялся экспресс-вариант *метода приведенных (нормированных) амплитуд* Δp , при котором суточная амплитуда рассчитывалась как разница между значениями уровня подземных вод за предыдущие и текущие сутки (по состоянию на контрольный час).

Техническое перевооружение (2006–2011 гг.) и внедрение телеметрической системы сбора и накопления информации многопараметрического мониторинга на территории РФ [5] обусловили необходимость создания современных специализированных программных средств сбора, обработки и интерпретации всего комплекса наблюдаемых параметров.

Потоки данных с пунктов наблюдений собираются, накапливаются и обрабатываются при помощи автоматизированной системы сбора и обработки — Единой интегрированной информационной системы ГГД мониторинга (ЕИИС ГДМ), разработанной в ФГУПП «Гидроспецгеология». В свою очередь, с 2009 г. авторами разрабатывалась и успешно эксплуатировалась подсистема комплексного анализа [2], реализующая все алгоритмы обработки данных мониторинга

ОЭНГП, применяемых для Северо-Кавказского сейсмоактивного региона. С 2016 г. и в настоящее время активно идет процесс глубокой интеграции данной подсистемы в ЕИИС ГДМ, что позволит объединить все имеющиеся методы обработки данных по различным регионам в комплекс, эксплуатируемый на уровне федерального Центра ГМСН и региональных работ ФГБУ «ГидроСПЕЦгеология».

Подсистема обработки данных включает в себя все технологические этапы сбора, подготовки, автоматизированной обработки первичных данных для построения карт-схем полей напряженности геологической среды (ПНГС), отображения комплексных графиков и диаграмм для последующего анализа, приведения баз данных в установленные форматы, подготовки графических материалов для ежемесячной регламентной продукции. В частности, подсистема позволяет отдельно и комплексно визуализировать в графическом представлении любой из имеющихся рядов данных ГГД мониторинга (УПВ, Ратм., температура воды и воздуха, электропроводность), газо-гидрохимического мониторинга (гелий), геофизического мониторинга (ряды данных регистрации параметров ЕИЭМПЗ), совмещенных в одной координатной плоскости с единой осью времени, и осуществлять их визуальный анализ в сопоставлении с данными по сейсмичности региона; первичную статистическую обработку рядов данных.

В 2016–2018 гг. в филиале ФГБУ «ГидроСПЕЦгеология» Южный региональный центр ГМСН проведена значительная модернизация подсистемы обработки данных, включающая:

1. Адаптацию и доработку структуры баз данных для хранения первичной информации по наблюдаемым параметрам.

2. Доработку интерфейса пользователя.

3. Доработку и отладку процедуры фильтрации каталогов сейсмичности (выборка за указанный временной интервал, выборка по указанному радиусу от заданной точки, выборка событий по радиусу влияния в зависимости от магнитуды и расстояния от заданной точки, что позволяет отобрать события, подготовка которых могла повлиять на реакцию конкретного пункта наблюдений).

4. Внедрение процедуры автоматического пополнения каталогов сейсмичности через интернет, а также отладка связи каталогов сейсмичности ЕГС РАН и EMSC с визуализацией в интегрированных ГИС проектах для оперативного анализа сейсмической обстановки в регионе.

5. Разработку и отладку процедуры автоматического импорта данных из Системы сбора и накопления.

6. Расширение функционала процедуры автоматического отображения геодинамики на цифровой карте в интегрированном ГИС проекте (сейсмичность, ГГД поля, среднемесячные тренды УПВ и пр.). Дополнительно для построения карт напряженности геологической среды осуществлено внедрение процедуры автоматического вычисления значений приведенных амплитуд изменения параметров ГГД поля по не-

скольким методикам и произведена автоматизация выборки и подготовки данных для построения ПНГС в ГИС системах на определенную дату.

7. Доработку процедуры обработки данных ЕИЭМПЗ, которая позволяет:

- исключить влияние помех с помощью селективных фильтров и выделить только характерные аномалии, а также фоновые суточные вариации;

- сопоставить кривые по разным частотным каналам;

- вычислить коэффициент нормирования по моде или медиане;

- построить совмещенные нормированные графики разноамплитудных вариаций по всем станциям сети;

- определить длительность аномалии и измерить любые временные интервалы на графике, установив маркеры для наглядности анализа.

8. Внедрение механизма многопользовательской работы, в том числе отдельной настройки параметров программы и сохранения построенных комплексных графиков для каждого пользователя при работе с единой базой данных, находящейся на сетевом сервере и механизма разделения пользователей при выполнении выборки по всем рядам данных в соответствии с доступными пользователю правами.

9. Внедрение процедур сохранения и последующего редактирования комплексных графиков отдельно для каждого пользователя.

При модернизации подсистемы основное внимание уделялось актуализации существующих и внедрению новых методических приемов обработки и комплексного анализа данных мониторинга ОЭНГП по видам наблюдений.

В частности, *по разделу интерпретации наблюдений ГГД поля* детально анализировалась и модифицировалась методика построения карт-схем полей напряженности геологической среды (ПНГС) по приведенным (нормированным) суточным амплитудам УПВ для целей краткосрочной оценки сейсмогеодинамического состояния геологической среды и степени сейсмической опасности на Северном Кавказе.

Приведенная (нормированная) амплитуда (Апр) УПВ — вычисленное нормированное значение градиента уровня подземных вод под влиянием совокупности факторов, в том числе и сейсмичности. Ввиду необходимости выполнять оперативную обработку и интерпретацию данных для построения ГГД поля территории Северо-Кавказского региона, применялся экспресс-метод анализа, по которому значение приведенной (нормированной) суточной амплитуды УПВ по отдельному посту сети ГГД мониторинга получается путем деления суточной амплитуды (разница между значениями уровня подземных вод за предыдущие и текущие сутки) по состоянию на контрольный час (3 часа Гринвича) на минимально значимую ($|A_{сут}| > 0$) суточную амплитуду за предыдущие 7 дней. Принцип нормирования на минимальное значение суточной амплитуды обусловлен необходимостью корректно

сопоставлять полученные значения амплитуд УПВ ввиду разнообразия масштабов и интервалов варьирования измеренных УПВ по гидрогеологическим условиям. Минимальное значение суточной амплитуды отражает фоновое состояние УПВ, условно лишенное влияния режимобразующих факторов, в расчете на краткосрочные сейсмогеодинамические предвестники. Семисуточный интервал нормирования обусловлен цикличностью приливо-отливных деформаций (Δg), т.е. учитываются изменения уровня подземных вод при максимальных или минимальных вариациях приращения силы тяжести за счет лунно-солнечных приливов. Минимально значимая амплитуда отражает постоянный минимум реакции УПВ на Δg , характерный для анализируемого периода. Данный метод использовался для построения полей ПНГС на протяжении многих лет, однако требовал модернизации на основе глубокого ретроспективного анализа.

Полученные модернизированные методы расчета $A_{пр}$ внедрены в подсистему комплексного анализа данных и опробованы в дополнение к основному экспресс-методу расчета. Расчет среднесуточных $A_{пр}$ представлен ниже.

Расчет и нормирование $A_{пр}$ среднесуточной:

$$A_{пр\text{ ср сут}} = ((H_{\text{ср сут } i} - H_{\text{ср сут } i-1}) / |A_{\text{ср сут } \min 7}|) \times 10,$$

где $A_{пр\text{ ср сут}}$ — приведенная (нормированная) среднесуточная амплитуда УПВ; $H_{\text{ср сут } i}$ — среднее значение уровня подземных вод за текущие сутки, мм; $H_{\text{ср сут } i-1}$ — среднее значение уровня подземных вод за предыдущие сутки, мм; $|A_{\text{ср сут } \min 7}|$ — минимально значимая среднесуточная амплитуда уровня подземных вод за 7 суток, мм.

Также выполнялась модификация расчета интервальных трендов $A_{пр}$, отражающих динамику изменения напряженно-деформированного состояния уровней подземных вод на за-

данном отрезке времени. Таким образом рассчитывались ежедекадные, ежемесячные и многолетние тренды $A_{пр}$ для целей *среднесрочной и долгосрочной оценки* сейсмогеодинамического состояния геологической среды и степени сейсмической опасности в Северо-Кавказ-

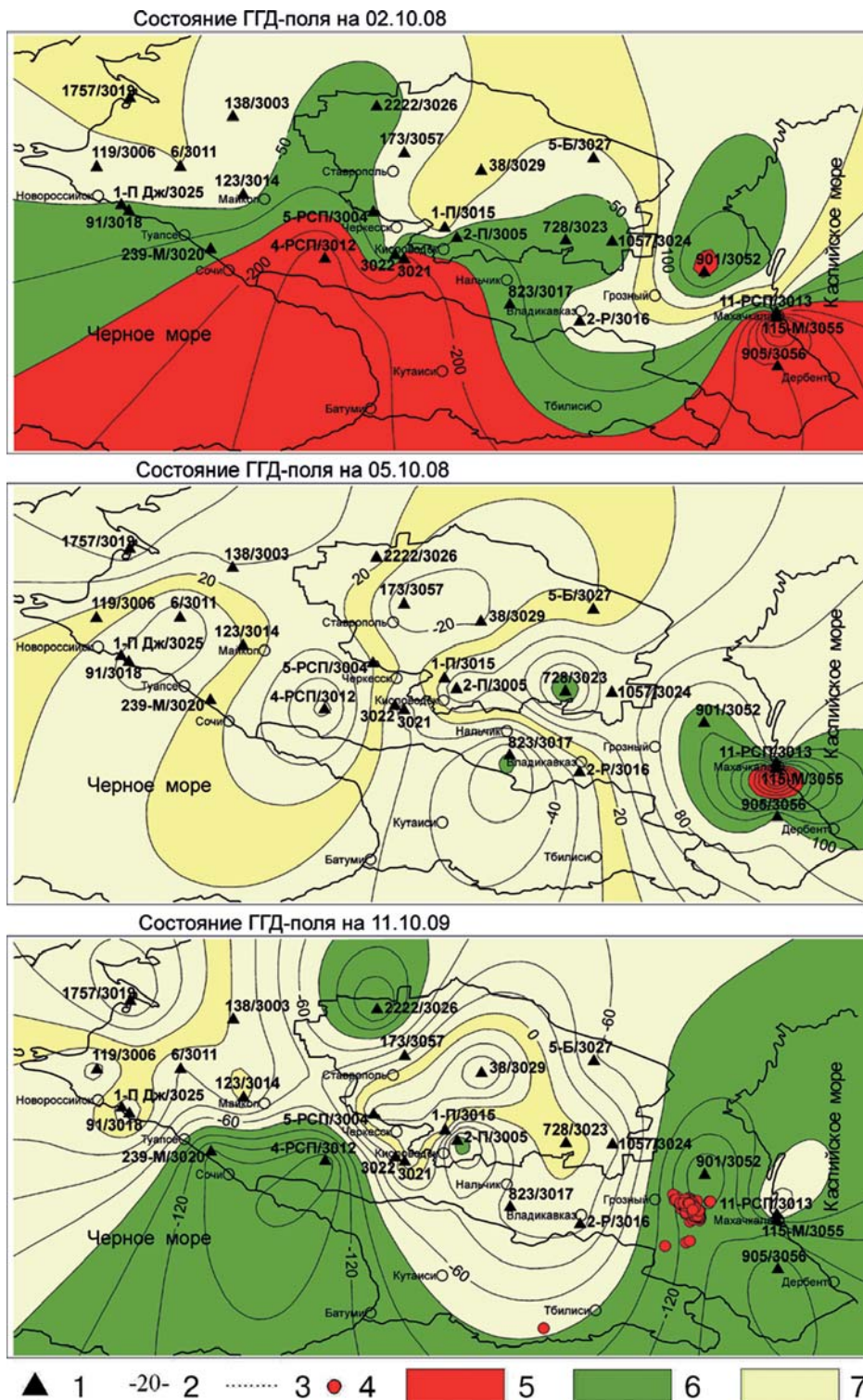


Рис. 2. Пример построения ПНГС на Курчалойское землетрясение по старой методике ($A_{пр}$ на контрольный час): 1 — наблюдательная скважина; 2 — изолинии приведенных амплитуд УПВ; 3 — граница Ставропольского края; 4 — землетрясения 11.10.2008 г. по данным ССД ГС РАН, магнитуда основного толчка 5,8; 5 — критическое состояние напряженности ГГД-поля; 6 — аномальное состояние напряженности ГГД поля; 7 — фоновое состояние напряженности ГГД поля

ском сейсмоактивном регионе. Методика (на примере расчета ежедекадных трендов) приведена ниже.

Расчет и нормирование АпрТД ежедекадных трендов:

$$\text{АпрТД} = \text{Апр}_{\text{ср сут } 1} + \text{Апр}_{\text{ср сут } 2} + \dots + \text{Апр}_{\text{ср сут } 10},$$

где $\text{Апр}_{\text{ср сут } i}$ — приведенная (нормированная) средне-суточная амплитуда УПВ за каждые сутки с первого по десятый день соответствующей декады.

Знак напряжений ПНГС (сжатия или растяжения) для АпрТД рассчитывается по преобладающему знаку Апр ср сут внутри соответствующей декады.

В процессе построения ПНГС градации изолиний Апр (среднесуточной, почасовой, трендов), характеризующих зоны с различной степенью напряженности геологической среды, устанавливались эмпирически, путем сопоставительного анализа рассчитанных разными способами уровней приведенных амплитуд УПВ за многолетний период.

Для сравнительной оценки эффективности уточненных методик указанными способами были произведены расчеты Апр и выполнены построения ПНГС на значимое ретроспективное сейсмическое событие, реализовавшееся на Кавказе в 2008 г. (11 октября — Курчалойское с $M_w=5,8$).

Анализ полей ПНГС на это землетрясение, построенных в 2009 г. сотрудниками ФГУГП «Кавказгеолсъемка» (рис. 2), показал, что реакция полей напряженности геологической среды (построенных на основе Апр на контрольный час) на это землетрясение была неконтрастной. Исходя из известной формулы И.П. Добровольского, максимальный радиус распространения аномальных эффектов определяется соотношением $R_{\text{max}} = 10^{0,43M}$ км, где M — магнитуда землетрясения. Таким образом, для Курчалойского землетрясения (по первоначальным данным ССД ГС РАН $M_s=5,6$) он составляет 256 км. Для условно однородной среды в пределах указанного радиуса можно было ожидать устойчивого аномального проявления деформационных предвестников. При анализе, выполненном в 2008–2009 гг. установлено, что за 7 суток до землетрясения проявлялись разрозненные поля критических, аномальных и умеренно аномальных напряжений на расстоянии свыше 115 км, в том числе в радиусе влияния (до 256 км) в районе скв. 3055 (г. Каспийск, Республика Дагестан) и скв. 3052 (п. Серебряковка, Республика Дагестан). В районе эпицентра 1–7 октября наблюдались положительные фоновые вариации по атмосферному давлению (Ратм.) и в уровнях подземных вод (УПВ), что не характерно для этих параметров, так как в ненарушенных условиях они изменяются в противофазе, т.е. во влиянии на УПВ превалировало воздействие геодинамических напряжений. Подтверждает это и обработка суточных амплитуд УПВ по скважинам сети, нормированных на минимально значимые амплитуды в 14 суточном интервале. В этом случае аномальные и критические напряжения наблюдались 2, 5 и 11 октября, возникнув в восточной части Северного Кавказа за 9 суток до землетрясения. Очаг землетрясения находился в поле аномальных на-

пряжений (рис. 2). Отмечено также, что в связи с тем, что построение ПНГС проводилось по состоянию на 3 часа Гринвича, приведенная суточная амплитуда не всегда корректно отражает их динамику, показывая ложные аномалии.

На рис. 3 приведена динамика развития ПНГС за сентябрь и октябрь 2008 г., построенных по рассчитанным АпрТД с учетом границ структурных блоков. Здесь очевидно, что в процессе подготовки и реализации Курчалойского землетрясения с серией афтершоков ГГД поле Северо-Кавказского региона, реконструированное по ежедекадным трендам УПВ, имело следующее развитие. В сентябре локальные участки сжатия, возникавшие в 1-й и 2-й декадах в Западной, Центральной и Восточной частях региона, к 3-й декаде сентября сформировались в поле регионального сжатия. Далее, в 1-й декаде октября произошла резкая смена региональных напряжений сжатия на преимущественное возросшее растяжение с реликтовым слабым сжатием вдоль межблоковых шовных зон транскавказской ориентации в Центральной и Восточной частях Северо-Кавказского региона. На момент реализации Курчалойского землетрясения во 2-й декаде октября напряжения сжатия вдоль межблоковых шовных зон несколько усилились и распространились на Западную часть региона. Очаговая область землетрясения (2-я декада октября) находилась в области сжатия. К 3-й декаде октября наиболее интенсивное сжатие локализовалось преимущественно в Восточной части региона на фоне продолжающейся афтершоковой деятельности.

Таким образом, проведенные работы по реконструкции ПНГС для Курчалойского землетрясения с применением современных, более тонких методов обработки замеров уровня подземных вод в наблюдательных скважинах показывают более реалистичную картину, отражающую динамику УПВ, что значительно повышает эффективность оценки изменения напряженно-деформированного состояния геологической среды.

По геофизическим наблюдениям ранее выявлено, что предвестниковые эффекты ЕИЭМПЗ на Северном Кавказе фиксируются краткосрочно — за несколько суток до землетрясения. По результатам наблюдений в регионе установлено, что высокая электромагнитная эмиссия регистрируется на последней фазе подготовки землетрясения, когда уже начался практически необратимый процесс разрушения горных пород. Эта особенность реакции электромагнитного поля позволяет прогнозировать стадии развития сейсмогеодинамического процесса и уточнять оценки общей степени сейсмической опасности.

Однако, ввиду различных условий на пунктах регистрации ЕИЭМПЗ с точки зрения геологии и тектоники, с учетом влияния местных техногенных факторов, настройка чувствительности аппаратуры происходит таким образом, чтобы в асейсмичный период на обработанных специальными программными фильтрами графиках четко прослеживалось наличие выраженных суточных вариаций количества импульсов

ЕИЭМПЗ. Таким образом, фоновые суточные вариации могут быть ярко выражены как на интенсивности до 100 импульсов за 10 минут, так и на интенсивности до 10 000 имп/10 мин.

В 2016–2018 гг. значительно улучшены инструменты фильтрации первичных данных и внедрены дополнительные методы обработки в геофизический блок подсистемы комплексного анализа. Так, после приме-

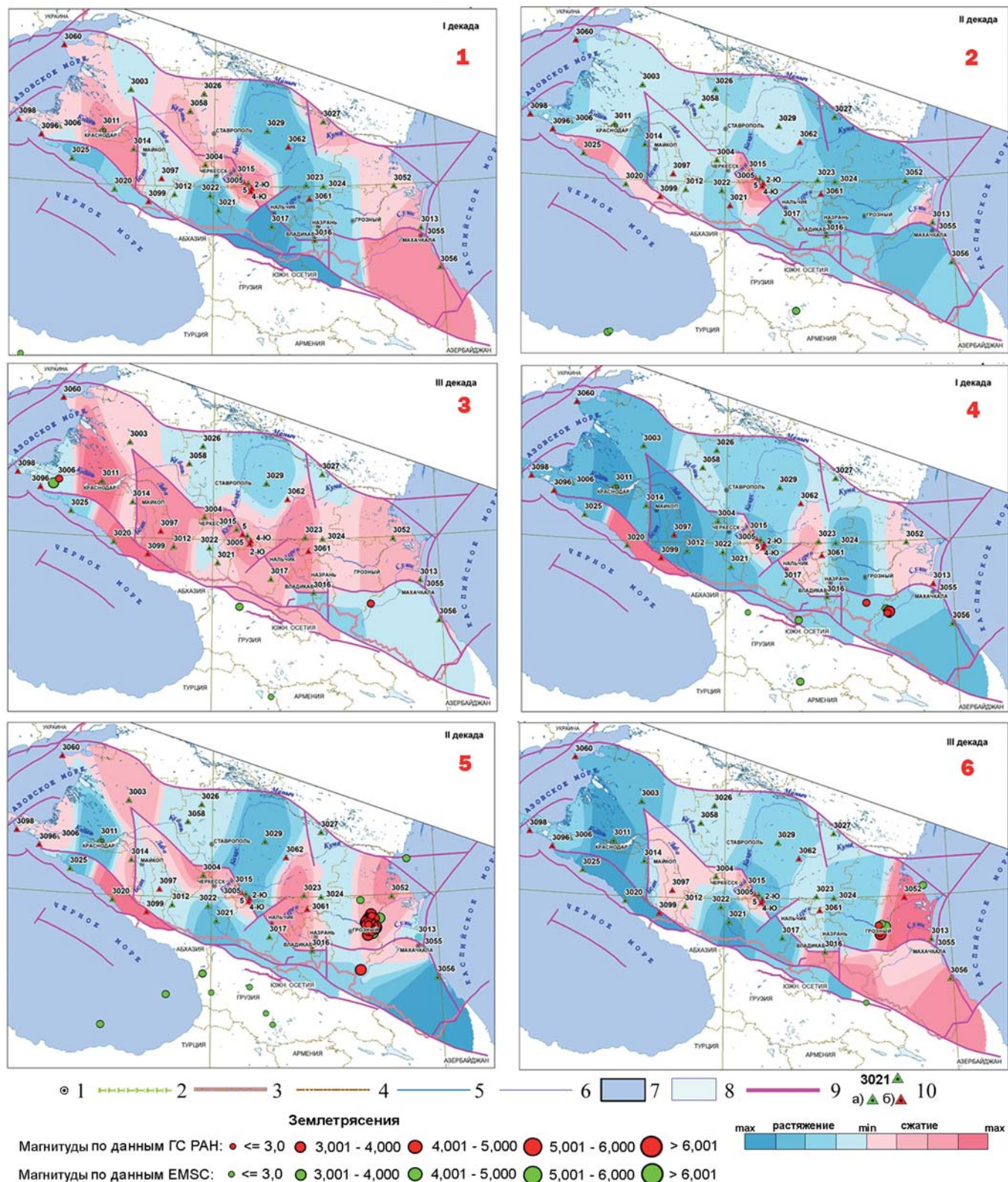


Рис. 3. Пример построения ПНГС по новой методике (ежедекадные тренды по среднесуточным Апр): 1 — города-административные центры; 2 — границы государственные; 3 — государственная граница России; 4 — границы субъектов России; 5 — береговая линия; 6 — гидросеть; 7 — моря; 8 — озера, водохранилища; 9 — межблоковые шовные зоны и коровые разломы; 10 — наблюдательные скважины: а) есть сведения, б) нет сведений

нения селективных фильтров, для нивелирования суточных вариаций и выделения аномалий используется построение кривой, сглаженной методом скользящего среднего с шириной окна 24 часа, что позволяет снять естественные суточные вариации и высокочастотные помехи, оставляя лишь явно выраженные изменения количества импульсов ЕИМПЗ. Далее, для сопоставления графиков по станциям, регистрирующим импульсы с различными индивидуальными параметрами усиления, дающими разную интенсивность счета, ряды нормируются на среднее фоновое значение в интервале построения (моду).

Для обеспечения всестороннего анализа и корректной интерпретации первичных наблюдений мониторинга гидрогеодеформационного (ГГД), газогидрохимического и геофизического полей по Северо-Кавказскому региону привлекаются дополнительные данные по режимобразующим факторам. В базу данных регулярно вносятся метеоданные (количество атмосферных осадков, грозы) районов, находящихся в непосредственной близости от пунктов наблюдений (данные пополняются из открытых источников [7]); гидрологические данные (уровень воды в реках по гидропостам, находящимся в непосредственной близости от пунктов ГГД наблюдений), полученные с сайта компании «Эмерсит» [8].

Кроме того, был добавлен массив значений прогноза параметров земных приливов в координатной привязке по конкретным пунктам наблюдений, полученных расчетным путем с помощью программы ATLANTIDA 3.1_2014 [6], разработанной в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН Е.А. Спиридоновым (Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015619567 от 08 сентября 2015 г.). Дополнительно внесены (за период 2016–2018 гг.) и визуализированы на графиках лунно-солнечные астрономические явления (фазы Луны, затмения и т.д.), рассчитанные с помощью программы «Астрономический календарь», разработанной А.В. Кузнецовым [9].

В настоящее время продолжаются работы по адаптации к подсистеме комплексного анализа и реализации в ней алгоритмов расчета всех принятых на данный момент в ФГБУ «Гидроспецгеология» методик обработки первичных данных мониторинга ОЭНГП. Опытная эксплуатация обновленной подсистемы и апробация методик успешно проводятся не только на данных Кавказского полигона, но и на примере данных Байкальского и Алтайского полигонов.

Выводы

1. Анализ ретроспективных данных, проведенный на примерах значимых сейсмических событий прошлых лет, показал, что построение ПНГС в системе ГИС более корректно выполнять с учетом условных барьеров, отражающих геолого-тектоническое строение региона. Это позволяет анализировать изменение напряженности геологической среды в пределах структурно-тектонических блоков и видеть их взаимодействие в асейсмичный период и в период подготовки и реализации сейсмического события.

2. Модернизация методических приемов и внедрение их в подсистему комплексного анализа позволяют получить дополнительные, более информативные, параметры динамики поля напряженности геологической среды по данным ГГД мониторинга, а также расширяет возможности оперативного анализа данных мониторинга геофизических полей.

3. Адаптация всех методов комплексного анализа данных мониторинга ОЭНГП в единой программной среде позволит существенно повысить достоверность прогнозных оценок за счет использования потенциала каждого из существующих методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вартанян, Г.С. Методические указания по ведению гидрогеодеформационного мониторинга для целей сейсмопрогноза (система R-STEPS) / Г.С. Вартанян, В.С. Гончаров, В.П. Кривошеев и др. — М.: Геоинформмарк, 2000.
2. Забирченко, Д.Н. Разработка информационной системы комплексного анализа данных мониторинга ГГД поля и других геофизических полей / Д.Н. Забирченко, Д.А. Мельков / Информационные технологии и практика. — Владикавказ, 2009. — С. 253–255.
3. Круткина, О.Н. Метод обработки непрерывных рядов наблюдений за уровнем подземных вод при сейсмопрогностических исследованиях / О.Н. Круткина, О.Б. Глинская, Е.А. Фетисова: Межвузовский сборник научных трудов. НПИ. — Новочеркасск, 1991. — С. 96–102.
4. Круткина, О.Н. Методические особенности обработки фактического материала для целей прогноза сильных землетрясений (на примере Северного Кавказа) / О.Н. Круткина, Л.Д. Пруцкая, А.Г. Здоров, Н.В. Батурина / Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза: Матер. научно-практич. конф. — М.: Геоинформмарк, 1998. — С. 49–50.
5. Лыгин, А.М. Организация и ведение ГГД мониторинга на территории РФ и перспективы сотрудничества со странами СНГ / А.М. Лыгин, А.А. Анненков, С.В. Спектор, С.К. Стажило-Алексеев, Г.Д. Васильев // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 10. — С. 3–7.
6. Spiridonov, E. ATLANTIDA3.1_2014 FOR WINDOWS: A SOFTWARE FOR TIDAL PREDICTION / E. Spiridonov, O. Vinogradova, E. Boyarskiy, L. Afanasyeva / Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 2015.
7. Расписание погоды: [Электронный ресурс]. — М., 2004–2018. Режим доступа: <https://rp5.ru/> свободный. 18.07.2018
8. Система мониторинга: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://emercit.ru/map> свободный. 18.07.2018
9. Астрономический календарь: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://astrokalend.ucoz.ru/AKGL.htm> свободный. 18.07.2018

© Забирченко Д.Н., Малофеева С.С., Круткин Л.Л., 2018

Забирченко Дмитрий Николаевич // zabirchenko@ncgeomon.ru
Малофеева Светлана Сергеевна // malofeeva@ncgeomon.ru
Круткин Леонид Леонидович // krutkin@ncgeomon.ru

УДК 556.33.04:556.38.383

Спектор С.В. (ФГБУ «Гидроспецгеология»), Королев И.Б., Терещенко Л.А., Арутюнова С.В., Стародубова Ю.П. (Филиал ФГБУ «Гидроспецгеология» Южный региональный центр ГМСН)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕГИОНА КAVKAZСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ ПО ДАННЫМ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ НЕДР

В статье рассмотрены основные результаты мониторинга подземных минеральных вод на территории Кавказских Минеральных Вод (КМВ), осуществляемого в