

МРНТИ (УДК 551. 3 (550. 3))
DOI 10.56525/WIIT2820

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ: РАЗРАБОТКА, ВНЕДРЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Таджибаева Н.Р¹., Сайдова С.А.²

¹Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
г. Ташкент, Узбекистан

²Государственное учреждение «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»
имени О.К.Ланге, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: nadira.ruzievna@mail.ru, saidovasayyora1963@mail.ru

Аннотация: Работа посвящена разработке, внедрению и оценке эффективности автоматизированной системы сбора гидрогеологической информации (АСГГИ). В условиях возрастающей антропогенной нагрузки на подземные воды и необходимости оперативного реагирования на изменения гидрогеологического режима, ручной сбор данных становится неэффективным и трудоемким. Целью исследования является создание современной системы, позволяющей обеспечить непрерывный, высокоточный и автоматизированный сбор гидрогеологических данных, их первичную обработку и передачу для дальнейшего анализа. В рамках работы были проанализированы существующие технологии автоматического мониторинга, определены ключевые параметры для сбора (уровни, температуры, электропроводность, pH, растворенный кислород, концентрации ключевых ионов и газов), разработана архитектура системы, включающая в себя измерительные датчики, узлы сбора и передачи данных (GSM/GPRS, LoRaWAN), сервер с базой данных и программный интерфейс для управления и визуализации. Проведена апробация опытного образца АСГГИ на сети наблюдательных скважин (скважины «Ташкент», «Нукус», «Карши»), где были зафиксированы существенные преимущества по сравнению с традиционными методами: повышение оперативности получения данных, снижение погрешности измерений, возможность удаленного контроля и оперативного реагирования на аномалии.

В данной работе представлены результаты исследований, посвященных применению прибора «Гидромониторинг» для детального изучения гидрогеодинамического (ГГД) поля. Проведен сравнительный анализ данных, полученных с помощью прибора «Гидромониторинг» и традиционных методов гидрогеологических исследований. Оценена перспективность использования прибора «Гидромониторинг» для решения различных задач, связанных с изучением ГГД поля, включая мониторинг опасных геологических процессов, оценку запасов подземных вод и прогнозирование землетрясений. Результаты внедрения АСГГИ демонстрируют ее высокую эффективность для мониторинга состояния подземных вод, своевременного выявления негативных процессов (истощение, загрязнение, подтопление) и обеспечения надежной информационной базой для принятия управленческих решений в области рационального использования и охраны водных ресурсов.

Ключевые слова: гидрогеодинамическое поле, мониторинг подземных вод, прибор «Гидромониторинг».

Введение. Подземные воды являются важным источником водоснабжения, а также оказывают существенное влияние на устойчивость территорий и развитие опасных геологических процессов. В условиях изменяющегося климата и возрастающей антропогенной нагрузки возрастает потребность в точной и оперативной информации о состоянии подземных вод для эффективного управления водными ресурсами и обеспечения безопасности населения.

Гидрогеодинамическое поле (ГГД), характеризующее распределение давления и скорости движения подземных вод, является ключевым фактором, определяющим:

устойчивость склонов и возможность возникновения оползней; развитие карстовых и суффозионных процессов; распространение загрязнений в подземных водах; влияние разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду; прогнозирование землетрясений (в сейсмоактивных регионах).

Традиционные методы изучения ГГД поля, такие как ручные измерения уровня воды в скважинах и отбор проб для химического анализа, являются трудоемкими, требуют значительных затрат времени и не позволяют получать достаточно детальную информацию о пространственно-временной изменчивости ГГД поля [1]. Прибор «Гидромониторинг» обладает потенциалом для автоматизированного, непрерывного измерения различных параметров ГГД поля, он позволяет повысить оперативность и точность измерений, получать данные о пространственно-временной изменчивости ГГД поля с высоким разрешением, снизить трудозатраты на проведение мониторинга, а также проводить исследования в труднодоступных местах. Оценка эффективности прибора «Гидромониторинг» является важным шагом на пути к созданию более совершенных систем мониторинга подземных вод [1,2].

Автоматизированные системы сбора гидрогеологической информации (АСГИ) развивались от первых ручных методов до современных цифровых платформ, которые используют датчики и телеметрию для сбора данных в реальном времени. В качестве основного автоматизированного средства измерений, применяемого для наблюдений за параметрами гидрогеодеформационного поля в рамках Службы мониторинга геологической среды МПР России, принят разработанный ФГУ НПП «Геологоразведка» по техническому заданию ВСЕГИНГЕО гидродинамический режимный автономный комплекс «Радиус», который обеспечивает регистрацию, сбор, накопление и выдачу данных измерений гидростатического давления, температуры и электропроводности подземных вод и атмосферного давления.

Современный этап (21-й век) знаменуется использованием спутниковых данных и дистанционного зондирования Земли для получения информации о гидрогеологических условиях на больших территориях; применение современных датчиков с высокой точностью и надежностью, в том числе для мониторинга химического состава воды; развитие облачных платформ и мобильных приложений для сбора и анализа данных, а также для обмена информацией между специалистами.

В конце 80-х годов прошлого столетия в институте ГИДРОИНГЕО начаты исследования, направленные на изучение гидрогеологических предвестников землетрясений в сейсмоактивных районах Узбекистана. С этой целью в настоящее время в институте разрабатывается прибор (ГММ-1).

Методы исследования. Методы исследования включают: сбор данных, полученных с помощью прибора «Гидромониторинг», и их систематизация в виде таблиц или баз данных; контроль качества данных, выявление и удаление ошибок и артефактов; статистический анализ данных, включающий расчет среднего значения, стандартного отклонения, коэффициента вариации и других статистических характеристик. Анализ временных рядов данных для выявления: трендов, циклических колебаний и аномалий; применение спектрального анализа для выявления периодических составляющих в вариациях ГГД поля. Оценка эффективности прибора «Гидромониторинг»: сравнение данных, полученных с помощью прибора «Гидромониторинг», с данными, полученными традиционными методами гидрогеологических исследований (например, ручные измерения уровня воды, отбор проб для химического анализа в лаборатории); оценка точности и надежности измерений, выполненных с помощью прибора «Гидромониторинг», на основе анализа результатов калибровки и контроля качества данных.

Анализ и результаты. Режимные наблюдения на скважинах с целью поиска гидрогеологических предвестников землетрясений являются одним из приоритетных направлений исследований по проблеме сейсмического прогноза, осуществляющегося на базе мониторинга подземных вод.

Гидрогеодеформационный (ГГД) мониторинг – один из главных методов в решении проблемы оценки напряженно-деформационного состояния пород земной коры для целей прогноза. Основой ГГД мониторинга является наблюдательная сеть, где используются гидрогеологические скважины, вскрывающие напорные водоносные горизонты, реагирующие на изменение уровней подземных вод, а фиксаторами (датчиками) этих изменений являются приборы автоматизированного замера параметров режима подземных вод, электронные устройства и информационные технологии, которые широко применяются в системе охраны окружающей среды. Такая возможность, как конфигурирование и считывание данных, полученных с удаленного участка, и при необходимости, их обработка, сегодня является обычным требованием, предъявляемым пользователями.

В этих условиях назрела необходимость оборудование сети мониторинга подземных вод приборами автоматизированного замера их уровенного режима с последующим дистанционным измерением [3,4]. В последнее время уделяется большое внимание автоматизированному измерению и дистанционной передаче параметров подземных вод с целью минимизации посещения полевых пунктов наблюдения и увеличения достоверности получаемой информации. Преимущества применения автоматизированных приборов измерения параметров с целью контроля количественных и качественных характеристик подземных вод заключаются в следующем: не требуется периодическое опускание/поднятие поплавка или электродов датчика уровня воды; получение данных в скважине в режиме онлайн; автономная работа без участия человека; возможность организации беспроводной передачи данных; возможность электронного протоколирования данных с требующейся периодичностью.

Прибор (ГММ-1) как было отмечено ранее, разрабатываемый в ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» направлен на обеспечение оперативного слежения за состоянием подземных вод в гидрогеологических скважинах, который может снизить себестоимость процедуры измерения уровня, температуры и электропроводности подземных вод с последующей дистанционной передачей в центр обработки данных. Устройство работает автономно и не требует частного посещения скважины наблюдателем, что дает определенные экономические преимущества и позволяет использовать устройство в труднодоступных и отдаленных местах. Передача результатов измерений в виде СМС – сообщений непосредственно сразу после измерения обеспечивает оперативный сбор данных (рис. 1.).

Опытная эксплуатация прибора в лабораторных и полевых условиях позволяет сделать вывод об эффективности применения его для измерения количественных и качественных показателей подземных вод в автоматизированных системах непрерывного мониторинга [4,5].



Рис. 1. Общий вид устройства

Таблица 1 - Значения, полученные прибором (ГГМ-1)

Год, дата, время	УПВ	t^0 воды	EC (us/cm)
01.09.2018, 12:25	15,79	17,6	686
02.09.2018, 12:25	15,78	17,6	686

03.09.2018, 12:25	15,78	17,6	686
04.09.2018, 12:25	15,79	17,6	686
05.09.2018, 12:25	15,79	17,6	686
06.09.2018, 12:25	15,79	17,6	686
07.09.2018, 12:25	15,80	17,6	687
08.09.2018, 12:25	15,81	17,6	687
09.09.2018, 12:25	15,80	17,6	687
10.09.2018, 12:25	15,80	17,6	687

Как видно из таблицы 1, замеры берутся автоматически каждый день.

Исходные данные, снимаемые с датчиков, могут быть представлены в виде графиков (рис. 2). По режимным наблюдениям видно, что по скважине №3801/02 «Ташкент» с начала года уровень медленно поднимался с отметки 1496 см (01.01.2018г.) до 1488 см (30.01.2018г.). Во время землетрясения уровень был зафиксирован на отметке 1494 см. Уровень подземных вод до землетрясения, постепенно поднимающийся, опустился на 2 см.

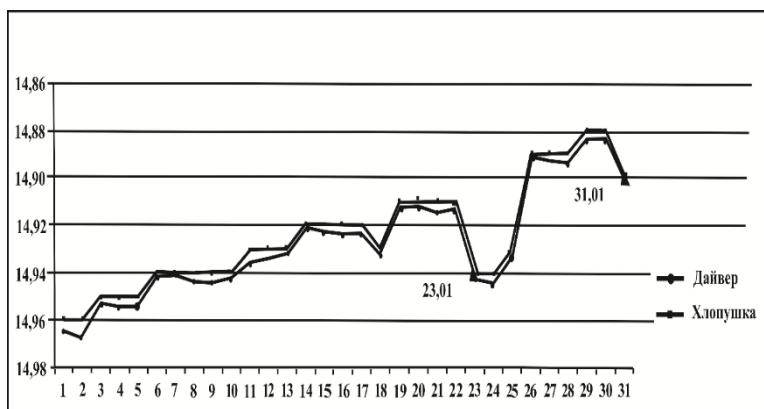


Рисунок 2. Сопоставительный график значения УПВ по пункту № 3801/02 «Ташкент» за январь 2018 г.

Таблица 3. Сравнительные замеры по дайверу и прибором «Хлопушка»

Год	Месяц	Число	Дайвер (см)	Хлопушка (см)	Разница (см)
2018	январь	1	14,965	14,96	0,5
		2	14,967	14,96	0,7
		3	14,952	14,95	0,2
		4	14,954	14,95	0,4
		5	14,954	14,95	0,4
		6	14,941	14,94	0,1
		7	14,941	14,94	0,1
		8	14,943	14,94	0,3
		9	14,944	14,94	0,4
		10	14,942	14,94	0,2
		11	14,936	14,93	0,6
		12	14,933	14,93	0,3
		13	14,931	14,93	0,1
		14	14,921	14,92	0,1
		15	14,923	14,92	0,3
		16	14,924	14,92	0,4
		17	14,923	14,92	0,3

	18	14,932	14,93	0,2
	19	14,912	14,91	0,2
	20	14,912	14,91	0,2
	21	14,914	14,91	0,4
	22	14,913	14,91	0,3
	23	14,942	14,94	0,02
	24	14,944	14,9	0,04
	25	14,933	14,9	0,03
	26	14,891	14,89	0,01
	27	14,892	14,89	0,02
	28	14,993	14,89	0,03
	29	14,884	14,88	0,04
	30	14,883	14,88	0,03
	31	14,902	14,90	0,02

Примечание: жирным шрифтом указано землетрясение 23 января 2018 г., эпицентром которого являлась территория Казахстан от Ташкента до эпицентра 26 км, в Ташкенте ощущимость землетрясения составляла 4 балла.

Далее, 31 января, аналогичная ситуация показала, что уровень опустился ещё на 2 см. До настоящего времени кроме скважины «Ташкент», дайверы были установлены в скважинах «Нукус» и «Карши».

В этом месяце 31 января произошло еще одно ощущимое землетрясение, эпицентр которого находился в Афганистане (Гиндукуш). Как видно из расчётов (табл. 3), расхождения между значениями уровня подземных вод, замеренные ГГМ-1 и вручную, изменяются от 0,1 до 0,7 см, что соответствует принятой максимальной точности согласно инструкции работы с прибором, и говорит о хорошей сходимости результатов и правильности работы прибора [4,5].

Выводы. Установка и применение датчика дистанционного управления (ГММ-1), который обеспечил оперативное слежение за состоянием подземных вод в гидросейсмологических скважинах «Ташкент», «Нукус», «Карши» повысил достоверность, информативность, объективность и оперативность получения информации и снизил себестоимость процедуры измерения уровня, температуры и электропроводности подземных вод с последующей дистанционной передачей в центр обработки данных. Датчики автоматического замера УПВ предлагается разместить во всех пунктах наблюдательной сети мониторинга ГГД-поля в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вартанян Г.С., Бредехофт Д., Роэллофф Э.А. Гидрогеологические методы при изучении тектонических напряжений // Советская геология. 1992. № 9. С. 3-12.
2. Вартанян Г.С., Гончаров В.С., Кривошеев В.П. и др. Методические указания по ведению гидрогеодеформационного мониторинга для целей сейсмо-прогноза (система R – STEP). М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 77 с.
3. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6, С. 52-64.
4. Сайдова С.А. Применение приборов автоматизированного режима для исследования гидрогеодеформационного поля // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли республики Узбекистан. Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции. Ташкент, 2014. С. 449-451.
5. Сайдова С.А. Изучение гидрогеодеформационного поля на территории Республики Узбекистан // Сборник тезисов Республиканского научно-технической конференции.

«Приоритетные направления геологического изучения недр, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в Республики Узбекистан. Ташкент, 2011. С. 226-228.

ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫҚ АҚПАРATTЫ ЖИНАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІ: ӘЗІРЛЕУ, ЕҢГІЗУ ЖӘНЕ НӘТИЖЕЛЕР

Тәжібаева Н.Р¹., Сайдова С.А.²

¹Мирзо Үлгебек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті,
Ташкент қ., Өзбекстан

²О.К.Ланге атындағы "Гидрогеология және инженерлік геология институты"
мемлекеттік мекемесі, Ташкент қ., Өзбекстан
e-mail: nadira.ruzievna@mail.ru, saidovasayyora1963@mail.ru

Андратпа: Жұмыс гидрогеологиялық ақпаратты жинаудың автоматтандырылған жүйесін (АСГГИ) әзірлеуге, еңгізуге және тиімділігін бағалауға арналған. Жер асты суларына антропогендік жүктеменің артуы және гидрогеологиялық режимнің өзгеруіне жедел ден қою қажеттілігі жағдайында деректерді қолмен жинау тиімсіз және уақытты қажет етеді. Зерттеудің маңызы гидрогеологиялық деректерді үздіксіз, жоғары дәлдіктері және автоматтандырылған жинауды, оларды бастапқы өндөуді және одан әрі талдау үшін беруді қамтамасыз ететін заманауи жүйені құру болып табылады. Жұмыс аясында Қолданыстағы автоматты мониторинг технологиялары талданды, жинаудың негізгі параметрлері анықталды (денгейлер, температура, электр өткізгіштік, PH, еріген оттегі, негізгі иондар мен газдардың концентрациясы), өлшеу датчиктері, деректерді жинау және беру түйіндері (GSM/GPRS, LoRaWAN), базасы бар сервер басқару және визуализацияға арналған деректер мен бағдарламалық интерфейс. Байқау ұнғымалары желісінде ("Ташкент", "Нұкис", "Карши" ұнғымалары) АСГГИ тәжірибелік үлгісі сынақтан өткізілді, онда дәстүрлі әдістермен салыстырғанда айтарлықтай артықшылықтар тіркелді: деректерді алуудың жеделдігін арттыру, өлшеу қателігін төмендетеу, аномалияларға қашықтан бақылау және жедел ден қою мүмкіндігі.

Бұл жұмыста гидрогеодинамикалық (ГГД) өрісті егжей-тегжейлі зерттеу үшін "Гидромониторинг" құралын қолдануға арналған зерттеу нәтижелері келтірілген. "Гидромониторинг" құралының және гидрогеологиялық зерттеулердің дәстүрлі әдістерінің көмегімен алынған деректерге салыстырмалы талдау жүргізілді. Қауіпті геологиялық процестерді мониторингтеуді, жер асты суларының қорларын бағалауды және жер сілкіністерін болжауды қоса алғанда, өрістің МГД зерттеуімен байланысты түрлі міндеттерді шешу үшін "Гидромониторинг" құралын пайдалану перспектиvasы бағаланды. АСГГИ еңгізу нәтижелері оның жер асты суларының жай-күйін мониторингілеу, теріс процестерді уақтылы анықтау (сарқылу, ластану, су басу) және су ресурстарын ұтымды пайдалану және қорғау саласында басқарушылық шешімдер қабылдау үшін сенімді ақпараттық базаны қамтамасыз ету үшін жоғары тиімділігін көрсетеді.

Түйін сөздер: гидрогеодинамикалық өріс, Жер асты суларының мониторингі, "Гидромониторинг" аспабы.

AUTOMATED HYDROGEOLOGICAL INFORMATION COLLECTION SYSTEM: DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION AND RESULTS

Tadjibayeva N.R.¹, Saidova S.A.²

¹National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,
Tashkent, Uzbekistan

²The state institution "Institute of Hydrogeology and Engineering Geology" named after
O.K.Lange, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: nadira.ruzievna@mail.ru, saidovasayyora1963@mail.ru

Annotation: The work is devoted to the development, implementation and evaluation of the effectiveness of an automated system for collecting hydrogeological information (ASGGI). In conditions of increasing anthropogenic pressure on groundwater and the need for rapid response to changes in the hydrogeological regime, manual data collection becomes inefficient and time-consuming. The aim of the research is to create a modern system that allows for continuous, high-precision and automated collection of hydrogeological data, their primary processing and transmission for further analysis. As part of the work, existing automatic monitoring technologies were analyzed, key parameters for collection (levels, temperatures, electrical conductivity, pH, dissolved oxygen, concentrations of key ions and gases) were determined, the system architecture was developed, including measuring sensors, data collection and transmission nodes (GSM/GPRS, LoRaWAN), a server with a database data and a software interface for management and visualization. The ASGGI prototype was tested on a network of observation wells (the Tashkent, Nukus, and Karshi wells), where significant advantages were recorded over traditional methods: increased data acquisition efficiency, reduced measurement error, and the ability to remotely monitor and promptly respond to anomalies.

This paper presents the results of research on the use of the "Hydromonitoring" device for a detailed study of the hydrogeodynamic (GGD) field. A comparative analysis of the data obtained using the "Hydromonitoring" device and traditional methods of hydrogeological research is carried out. The prospects of using the Hydromonitoring device for solving various tasks related to the study of the GGD field, including monitoring of hazardous geological processes, assessment of groundwater reserves and earthquake forecasting, are assessed. The results of the implementation of ASGGA demonstrate its high efficiency for monitoring the state of groundwater, timely detection of negative processes (depletion, pollution, flooding) and providing a reliable information base for making managerial decisions in the field of rational use and protection of water resources.

Keywords: hydrogeodynamic field, groundwater monitoring, «Hydromonitoring» device.