УДК 556.32

DOI: 10.23671/VNC.2018.3.16545

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АРТЕЗИАНСКИХ СКВАЖИН ТЕРСКО-КУМСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА

© 2018 С.А. Мамаев, к.т.н., Ж.Г. Ибаев, А.Ш. Гусейнова,
А.С. Курбанисмаилова, А.С. Мамаев

ФГБУН Институт геологии Дагестанского научного центра РАН,
Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75,
e-mail: dangeogis@mail.ru

Современные геоинформационные (ГИС) технологии дают возможность хранить и обрабатывать разнообразную пространственно-распределенную информацию, накопленную человечеством в результате хозяйственной деятельности. Использование таких технологий позволяет отображать пространственную информацию в виде разнообразных электронных карт. Такая организация данных позволяет на высоком научно-методическом уровне решать широкий спектр научных и прикладных задач, связанных с рациональным использованием природных ресурсов и охраной окружающей среды. В данной статье рассмотрены вопросы разработки геоинформационной базы данных (БД) Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ), описана структура базы и приведены примеры ее использования для решения различных инженерно-геологических задач. Показано как на основе информации из базы данных разрабатывать специальные тематические карты, обладающие достаточной степенью детальности, необходимой при решении задач анализа и прогноза развития различных геологических процессов, возникающих в результате использования природных ресурсов в хозяйственной деятельности.

Используя все имеющиеся сведения о гидрогеологическом объекте, в том числе хранящиеся в базах графических и семантических данных, в статье также описана методика создания математических моделей артезианских бассейнов (на примере ТКАБ). Приведены различные требования к системе моделей, детализированы цели и задачи моделирования, определены различные критерии оценки качества решения, сроки решения, финансовые, людские, материальные ресурсы и т.п.

Ключевые слова: геоинформационные системы, Терско-Кумский артезианский бассейн, электронная карта, база данных, математическое моделирование.

Состояние вопроса

Длительная эксплуатация артезианского бассейна в стихийно нарастающих темпах, в ряде районов Северного Дагестана, привела к истощению запасов, региональному загрязнению и ухудшению химического состава подземных вод, затоплению и засолению значительных территорий приартезианских земель и заметному оседанию поверхности земли [Курбанов, 2001; Мамаев, 2006], что может нанести ущерб народному хозяйству и спровоцировать техногенные сейсмические события.

Территория, на которой происходят вышеуказанные процессы, находится в области Восточно-Предкавказской гидрогеологической провинции, Терско-Кумского артезианского бассейна (рис. 1).

В геологическом отношении на ТКАБ выделены следующие водоносные горизонты (ВГ) и комплексы (ВК) [Курбанов, 2001; Мамаев, 2006]: аллювиальный средне-верхнечетвертичный ВГ (aQ_{II-III}); аллювиальный нижне-четвертичный бакинский ВГ (aQ_Ib); морской средне-верхнечетвертичный хазаро-хвалынский ВК

торинг пространственно распределенных геоданных, позволяет осуществлять их интегрирование по территориям с целью эффективного использования и решения прикладных задач, связанных с управлением окружающей средой, и анализом качества подземных вод [Марков, 2000, 2003; Создание гидрогеологических..., 2001; Трифонова и др., 2005; Alloggen et al., 2015; IDEF1X, 1993; Klein. Hirshhein. 1987; Manna, Pnueli, 1992].

Использование ГИС является новым, важным этапом развития научных исследований, особенно в направлениях, которые имеют прямое отношение к изучению пространственных особенностей природных объектов, в частности в геологии. Также для использования ГИС большое значение имеет прогресс элементной и программной базы современных ЭВМ. В настоящее время имеются мощные системы обработки геоданных, создаваемые крупными компаниями, которые широко используются в разных странах, самой известной из которых является ESRI ArcGIS.

Технологии ГИС широко используются для инженерно-геологического картирования, планирования развития территорий, прогноза опасных природных процессов, оценки различных рисков [Создание гидрогеологических..., 2001; Трифонова и др., 2005].

Результатом этих работ должно стать создание интегрированной ГИС для информационного обеспечения при обосновании проектов строительства конкретных скважин и планирования устойчивого развития территории бассейна.

Методика работ и результаты

Для оценки сложившихся геологических условий исследуемой территории Институтом геологии ДНЦ РАН с 2002 по 2015 годы разрабатывалась ГИС, включающая в себя четыре основных компонента: ввод информации (табличный набор, сканирование картографического материала, дистанционные методы); хранение, оперативное использование и пополнение данных; обработка и моделирования полей геологических параметров; представление информации (карты, таблицы или отчеты).

Для решения первых двух задач были выполнены работы по созданию базы данных гидрогеологической информации, в которую было включено более 1600 скважин [Мамаев, Ибаев, 2014; Мамаев и др., 2016, 2017а, б; Курбанов и др., 2006, 2009; Ибаев, Мамаев, 2008; Залибеков и др., 2012]. Рассматриваемая база данных является частью более общей базы гидрогеологической информации Терско-Кумского артезианского бассейна. Гидрогеологическая информация обобщалась по районам Республики Дагестан. База данных создана в системе управления базами данных Microsoft Access и ориентирована на использование в программных продуктах ESRI, которые полностью соответствуют поставленным задачам.

Отметим, что использование мощных пакетов программ фирмы ESRI позволяет не только отражать имеющиеся данные в виде карт и различных полей свойств, но и проводить анализ данных, моделирование геологических полей во времени и пространстве, получать новую информацию.

Структура базы данных представлена на рисунке 2 и включает в себя общую информацию по скважине (координаты, глубина, уровень грунтовых вод, абсолютная отметка, и др.), а также ее характеристики с описанием разреза, литологии пород, возраста, физико-механических свойств.

Рис. 2. Структура базы данных гидрогеологической информации.

Небольшой фрагмент информации, хранящийся в разработанной нами базе данных, приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Данные о скважинах, включенных в базу данных

Привязка							
№ п/п	Номер по каталогу	Первичный номер	Дата учета	Обл.	Район	Населенный пункт	Точное местоположение
1	16			Р.Д.	Ногайский	с. Восточно-Сухокумск	3 км к северо-востоку
2	87			Р.Д.	Ногайский	с. Калинин-аул	4 км к западу
3	193			Р.Д.	Ногайский	Кутан к-з Кирова	к-з Кирова

Для поиска и просмотра информации из базы данных разработаны специальные формы в виде окон (рис. 3), где содержатся подробные данные по каждой скважине.

Разработанная нами база данных имеет открытую архитектуру и может быть дополнена любой информацией, полученной в ходе полевых исследований, что даст возможность отразить современное состояние геологических объектов, в условиях значительной динамики изменений их свойств, в первую очередь на территории Северного Дагестана.

Собранный в базе данных материал использовался в дальнейшем при построении специальных инженерно-геологических электронных карт для разработки плана развития бассейна.

Рис. 3. Главное окно для работы с базой данных

Для построения электронных карт использовалась программа ArcGIS 9.3. ArcGIS поддерживает следующие виды работ с информацией:

- создание пространственных баз данных ГИС (векторные объекты, растры, топология, сети и т.д.);
- интеллектуальные карты, которые показывают пространственные объекты и отношения между ними;
- набор инструментов геообработки для получения географических данных из существующих наборов данных.

Заметим, что ArcGIS использована нами как «окно» в базу данных при помощи специальных скриптов (hotlink), поддерживающих запросы, анализ и редактирование информации.

Уникальную специфику электронной карте обеспечивает наличие многочисленных дополнительных информационных слоев (топооснова, административные районы, населенные пункты, гидрография, села, транспорт и т.д.), объединение которых с собственно «полезной» информацией из базы данных обеспечивает электронной карте наглядность и высокую информативность.

Основой геоинформационной системы Северо-Дагестанского артезианского бассейна является электронная карта масштаба 1:100000, подготовленная в ГИС-центре Института геологии ДНЦ РАН, с помощью программы ArcGIS 9.3.

В процессе создания карты была проведена привязка карты-основы к выбранной системе координат и перевод пространственных объектов в электронную форму. Используя возможности модуля Arc Catalog, созданы шейп-файлы, в которых содержится информация о различных геологических объектах. При создании шейп-файла задается соответствующее имя и определяется тип объектов, которые он будет содержать (линии, точки, полигоны). Для различной информации в специ-

альных полях вводится тип данных. К примеру, шейп-файлы, которые содержат информацию о распространении различных типов почв, были оцифрованы в виде полигонов, шейп-файл «реки» оцифрован в виде полилиний, шейп-файл «скважины» – в виде точек. Каждый шейп-файл включает в себя таблицу атрибутов, которая включает всю информацию о пространственных объектах. Например, таблица атрибутов шейп-файла «скважины» содержит следующие поля: номер скважины по каталогу, дебит, температура, абсолютная отметка и т.д.

После добавления атрибутивных полей начинается процесс редактирования в ArcMap. Его выполнение требует больших временных затрат, так как в зависимости от особенностей обрабатываемого картографического материала количество пространственных объектов в одном шейп-файле резко увеличивается.

После оцифровки пространственных объектов и создания атрибутивных таблиц можно использовать средства визуализации ArcGIS. В частности выбор цветов или другого внешнего вида по любому выбранному атрибуту или по их соотношению.

Также ArcGIS позволяет определять точные площади контуров по разным параметрам. Программа автоматически подготавливает необходимые компоненты для печати карт: создает координатную сетку, формирует легенду, масштаб и т.д.

Возможности визуализации пространственных данных в ГИС позволяют создавать картографические материалы качественного научного содержания. Также имеется возможность совместного показа на создаваемых картах самых разных геоинформационных данных.

В результате применения возможностей ArcGIS 9.3 к информации, собранной в базе данных, построена карта фактического материала (рис. 4). На данной карте отображено более 1,5 тыс. скважин, информация о которых содержится в базе данных. Как видно из рисунка 4, наибольшую плотность эти скважины имеют на территории Северного Дагестана, где и наблюдаются указанные выше негативные процессы влияния на окружающую среду и качество подземных вод. Данный фактический материал в дальнейшем использован нами для решения задач математического моделирования в гидрогеологии.

Методы математического моделирования наиболее эффективны и экономичны при подсчете запасов подземных вод, проектировании водозаборов, оценке экологической обстановки прилегающих территорий и т.д. Решение задач моделирования с помощью компьютера начинают с того, что составляют несколько расчетных гидродинамических схем. Изучают каждую из них с точки зрения экономичности и в итоге выбирают самую оптимальную. Рассчитывают оптимальную длину, диаметр и число скважин, которые будут подавать наибольшее количество воды при наименьших затратах. При этом автоматически производятся расчеты: снижения напора подземных вод в будущем, расстояния, на которые распространяется влияние водозабора, и как это отразится на работе других скважин, колодцев и экологии окружающей среды. Определенную роль при математическом моделировании играют и методы Монте-Карло. Они заключаются в моделировании случайного процесса, наблюдении и нахождении подхода к решению задачи об оптимальном расположении скважин, их числа, расстоянии между ними, сводя эту задачу к задаче принятия решения при многокритериальных условиях (влияние на окружающую среду, стоимость бурения, потребность в воде, и т.д.).

Рис. 4. Карта фактического материала артезианских скважин Ногайского района

В Институте геологии ДНЦ РАН разрабатывается система для создания и трехмерной визуализации объемных локальных или региональных моделей различных геологических объектов. Этой системой формируется объектно-ориентированная трехмерная цифровая модель, в любой точке которой оказываются определенными задаваемые при ее построении параметры – литолого-стратиграфические характеристики и петрофизические параметры пород, данные геофизических исследований, глубины залегания границ и пр. Объектный принцип создания модели означает, что каждый элемент модели или их произвольная комбинация, представляет собой отдельный самодостаточный объект, допускающий работу с ним в отрыве от модели в целом.

Проектирование трехмерных математических локальных моделей проводится с учетом результатов, полученных на региональной модели, а также требований к локальной модели.

Граничные условия поставленной задаче задаются с использованием специальных программных средств. Границы локальной модели в разрезе задаются с учетом границ структурных элементов, составляющих общую региональную модель, поскольку локальная модель должна более точно отображать литологическое строение объекта, ее структура может значительно отличаться от структуры соответствующей области региональной модели.

Построение объемных геологических моделей (разрезов) проводится с помощью возможностей, которые предоставляет программный модуль 3D Analyst. На рисунке 5 показан пример построения гидрогеологических разрезов на основании данных по скважинам. Процесс построения таких моделей происходит следующим образом. По имеющимся скважинам составляется таблица, в которой указывается, на какой высоте находятся различные породы. Таким образом, скважины представляют собой опорные точки. По этим точкам программа экстраполирует поверхность разреза. При построении объемной модели добиваются равенства балансовых составляющих потока подземных вод по границам локальной модели, рассчитанных на региональной и локальной моделях. Если модели слоистые, то обеспечить выполнение этого критерия можно только при условии равенства каждого слоя региональной модели суммарной водопроводимости составляющих его слоев локальной модели [http://unesco.kz/water/met_4_r.htm]. В процессе проектирования локальной модели может потребоваться сбор дополнительных данных. Новая информация используется для пополнения баз графических и семантических данных.

Рис. 5. Построение гидрогеологических разрезов на основании данных по скважинам

Исходными данными для локальной модели обычно выступают результаты, полученные при решении региональной модели, а также подобранные с ее помощью значения гидрогеологических параметров. Если структура локальной модели претерпела значительные изменения по сравнению со структурой региональной моде-

ли, принимается решение о сборе дополнительных данных, необходимых для построения карт параметров.

Заметим, что форма представления исходной информации в значительной мере определяется типом модели. Так для моделей, имеющих слоистую структуру, формируются карты параметров для каждого слоя. Если локальная модель является трехмерной, то каждому объемному телу присваивается определенный материал, с которым связан набор фиксированных значений параметров.

В целом технология формирования локальной модели во многом соответствует технологии формирования региональной модели. Главное отличие заключается в необходимости задания специфических условий по границам локальной модели. Отметим, что в качестве внешних границ выступают не только границы модели в плане. Если локальная модель не охватывает в разрезе все слои региональной модели, то необходимо определить условия по подошве ее нижнего слоя. Определение граничных условий является достаточно трудоемкой процедурой. Разработанная нами методика позволяет автоматически задать граничные условия посредством специально разработанных программных средств.

Отметим, что разрабатываемая система спроектирована максимально открытой и допускает полную адаптацию к различным информационным средам, геологическим условиям и решаемым задачам. Причем отдельные модули системы разрабатывались как автономные. Такой подход позволяет применять отдельные модули в отрыве от системы как единого целого, при решении более узких задач, или же встраивать их в уже имеющиеся системы обработки геологической информации [http://unesco.kz/water/met_4_r.htm; Тектоническая карта..., 2012].

Выводы

Для адекватного и точного описания всех свойств такого сложного геологического объекта как ТКАБ не существует единых бесспорных аналитических формул. Поэтому адекватной формой знания об этом объекте могут считаться именно соответствующие модели, ГИС и БД. Но если последние отражают реальность одновременно полно и компактно, эта форма знания становится объектом научного исследования объекта, в частности приобретает предсказательную силу. Отметим, что обработка в реляционных БД любого комбинированного запроса зачастую позволяет получить совершенно новую информацию, поскольку до такой обработки эта информация, хотя и была известна, однако другими способами практически не могла быть получена. Точнее могла бы, но во многих случаях это потребовало бы слишком больших временных затрат.

Полная реализация всех описанных выше работ по всей территории ТКАБ позволит более эффективно проводить мониторинг территории бассейна. По полученным результатам также возможно уточнение или опровержение различных теоретических концепций по геологическому строению бассейна и процессам, происходящим в нем.

Конечным итогом проводимых работ должно быть:

1. Постоянно действующая гидрогеолого-математическая модель ТКАБ.
2. База данных гидрогеолого-геофизической информации по скважинам ТКАБ.
3. Тематические картографические слои для различных геологических структур.
4. Автоматизация процесса составления геологических разрезов.
5. Трехмерная электронная карта артезианского бассейна.

Литература

1. Залибеков З.Г., Баламирзоев М.А., Мамаев С.А., Идрисов И.А., Геоинформационная система – «Почвы Дагестана» // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – Махачкала. – 2012. – Вып. №61. – С. 207–211.
1. Ибаев Ж.Г., Мамаев С.А. Общие принципы разработки постоянно действующей гидрогеолого-математической модели Терско-Кумского артезианского бассейна // Геология и нефтегазоносность Юга России. Труды Института геологии ДНЦ РАН. Институт геологии ДНЦ РАН. – Махачкала. – 2008. – Вып. №52. – С. 260–264.
2. Курбанов М.К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. – М.: Наука, 2001. – 260 с.
3. Курбанов М.К., Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г. Постоянно действующая гидрогеолого-математическая модель формирования и управления ресурсами и качеством пресных подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Южного федерального округа // Труды Института геологии ДНЦ РАН. – Махачкала. – 2006. – Вып. №50. – С. 143–147.
4. Курбанов М.К., Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш., Мамаева А.С. Методы составления и структура базы данных для создания геоинформационных систем (ГИС) Терско-Кумского артезианского бассейна // Ресурсы подземных вод Юга России и меры по их рациональному использованию, охране и воспроизводству. Труды Института геологии ДНЦ РАН. Институт геологии ДНЦ РАН. – Махачкала. – 2009. – Вып. №55. – С. 46–49.
5. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г. Информационные базы данных гидрогеологических параметров артезианских скважин Северо-дагестанского артезианского бассейна // Почвы аридных территорий и проблемы охраны их биологического разнообразия. Труды Института геологии ДНЦ РАН. Институт геологии ДНЦ РАН. – Махачкала. – 2014. – Вып. №63. – С. 325–329.
6. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш. Гис-технологии и их применение при составлении электронных карт // Геология, геодинамика и геоэкология Кавказа. Труды института геологии ДНЦ РАН. – Махачкала. – 2016. – Вып. №66. – С. 279–283.
7. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш. Электронная база данных артезианских скважин Республики Дагестан // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. – Грозный. – 2017а. – С. 330–339.
8. Мамаев С.А., Мамаев А.С., Гусейнова А.Ш., Ибаев Ж.Г. О принципах математического моделирования гидрогеологических объектов на территории Республики Дагестан // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Коллективная монография по материалам VII Всероссийской научно-технической конференции. – 2017б. – С. 383–392.
9. Маммаев О.А. Подземные воды Восточного Предкавказья (формирование, гидрогеохимия и процессы радиотеплогенерации). – Махачкала: ДНЦ РАН, 2006. – 280 с.
10. Марков Б.Л. Организация данных в системах мониторинга // Высокопроизводительные вычислительные системы и микропроцессоры. Сборник научных трудов ИМВС РАН за 2000 г. – М. – 2000.
11. Марков Б.Л. Проектирование систем регистрации и анализа данных // Сборник научных трудов ИМВС РАН за 2002 г. – М. – 2003.

12. Создание гидрогеологических карт с применением компьютерных технологий. – М.: ВСЕГИНГЕО МПР РФ, 2001. – 196 с.
13. Тектоническая карта Дагестана М:1:500000. Объяснительная записка // Под редакцией академика Ю.Г. Леонова. Институт геологии ДНЦ РАН. – Махачкала: «Алеф», 2012. – 130 с.
14. Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Краснощеков А.Н. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. – М. – 2005. – 352 с.
15. Allroggen N., Tronicke J., Delock M., Boniger U. Topographic migration of 2D and 3D ground-penetrating radar data considering variable velocities // Near Surface Geophysics. – 2015. – Vol. 13. – Pp. 253–259.
16. IDEF1X. «FIPS Integration Definition for Information Modeling (IDEF1X)» Federal Information Processing Standards Publication 184, Computer Systems Laboratory, National Institute of Standards and Technology. – 1993.
17. Klein H.K., Hirschheim R.A. A Comparative Framework of Data Modeling Paradigms and Approaches. The Computer Journal. – 1987. – Vol. 30. №1. – Pp. 8–15.
18. Manna, Z., Pnueli A. The Temporal Logic of Reactive and Concurrent Systems. Springer-Verlag. – 1992.
19. http://unesco.kz/water/met_4_r.htm.

DOI: 10.23671/VNC.2018.3.16545

GEOINFORMATIONAL DATABASES OF THE DATA OF HYDROGEOLOGICAL PARAMETERS OF ARTISIAN WELLS OF THE TERRY-KUM ARTISIAN BASIN

**© 2018 S.A. Mamaev, Sc. Candidate (Tech.), Zh.G. Ibaev, A.Sh. Guseinova,
A.S. Kurbanismailova, A.S. Mamaev**

Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the RAS,
Russia, 367010, Republic of Dagestan, Makhachkala, Yaragskiy Str., 75,
e-mail: dangeogis@mail.ru

Modern geoinformation (GIS) technologies make it possible to store and process a variety of spatially-distributed data accumulated by mankind as a result of economic activity. Using such technologies can display the spatial information in form of various electronic cards. This kind of organization of data allows on a high scientific and methodological level to solve a wide range of scientific and applied problems related to natural resource management and environmental protection. This article describes how to develop geographic information database (DB) of the Terek-Kuma artesian basin (TKAB), provides the structure of the base, and suggests examples of its using when solving various geotechnical problems. It is shown how, based on the information from the database, to develop special thematic maps which have a sufficient degree of accuracy, required when solving problems of analysis and forecast of development of various geological processes, arising from the use of natural resources in the economic activity.

Using all available data on a hydrogeological object, including those stored in the databases of graphic and semantic data, the article describes the method of creating mathematical models of artesian basins (on the TKAB example). Different requirements for system models are suggested, objectives and modeling tasks are detailed, and various criteria for quality assessment of solutions, decision deadlines, financial, human, material resources, etc. are defined.

Keywords: geographic information systems, Terek-Kuma artesian pool, electronic map, database, mathematical design.

References

1. Zalibekov Z.G., Balamirzoev M.A., Mamaev S.A., Idrisov I.A., Geoinformacionnaja sistema – «Pochvy Dagestana» [Geoinformation system – “Soils of Dagestan”]. Trudy Instituta geologii DNC RAN. Mahachkala. 2012. Issue No.61. Pp. 207–211. (in Russian)
2. Ibaev Zh.G., Mamaev S.A. Obshhie principy razrabotki postojanno dejstvujushhej gidrogeologo-matematicheskoy modeli Tersko-Kumskogo artezijskogo bassejna [General principles for the development of a permanent hydrogeological and mathematical model of the Tersko-Kumsky artesian basin]. Geologija i neftegazonosnost' Juga Rossii. Trudy Instituta geologii DNC RAN. Institut geologii DNC RAN. Mahachkala. 2008. Issue No.52. Pp. 260–264. (in Russian)
3. Kurbanov M.K. Geotermal'nye i gidromineral'nye resursy Vostochnogo Kavkaza i Predkavkaz'ja [Geothermal and hydromineral resources of the Eastern Caucasus and Ciscaucasia]. M. Nauka, 2001. 260 p. (in Russian)
4. Kurbanov M.K., Mamaev S.A., Ibaev Zh.G. Postojanno dejstvujushhaja gidrogeologo-matematicheskaja model' formirovanija i upravlenija resursami i kachestvom presnyh podzemnyh vod Tersko-Kumskogo artezijskogo bassejna. Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Juzhnogo federal'nogo okruga [Permanent hydrogeological and mathematical model of formation and management of resources and quality of fresh underground waters of the Tersko-Kumsky artesian basin. Geology and Mineral Resources of the Southern Federal District]. Trudy Instituta geologii DNC RAN. Mahachkala. 2006. Issue. No.50. Pp. 143–147. (in Russian)
5. Kurbanov M.K., Mamaev S.A., Ibaev Zh.G., Gusejnova A.Sh., Mamaeva A.S. Metody sostavlenija i struktura bazy dannyh dlja sozdanija geoinformacionnyh sistem (GIS) Tersko-Kumskogo artezijskogo bassejna [Methods of compilation and structure of the database for the creation of geoinformation systems (GIS) of the Tersko-Kumsky artesian basin]. Resursy podzemnyh vod Juga Rossii i mery po ih racional'nomu ispol'zovaniju, ohrane i vosproizvodstvu. Trudy Instituta geologii DNC RAN. Institut geologii DNC RAN. Mahachkala. 2009. Issue No.55. Pp. 46–49. (in Russian)
6. Mamaev S.A., Ibaev Zh.G. Informacionnye bazy dannyh gidrogeologicheskikh parametrov artezijskikh skvazhin Severo-dagestanskogo artezijskogo bassejna [Information databases of hydrogeological parameters of artesian wells of the North Dagestan artesian basin]. Pochvy aridnyh territorij i problemy ohrany ih biologicheskogo raznoobrazija. Trudy Instituta geologii DNC RAN. Institut geologii DNC RAN. Mahachkala. 2014. Issue No.63. Pp. 325–329. (in Russian)
7. Mamaev S.A., Ibaev Zh.G., Gusejnova A.Sh. Gis-tehnologii i ih primenenie pri sostavlenii jelektronnyh kart [GIS technologies and their application in the compilation of electronic maps]. Geologija, geodinamika i geojekologija Kavkaza. Trudy instituta geologii DNC RAN. Mahachkala. 2016. Issue No.66. Pp. 279–283. (in Russian)
8. Mamaev S.A., Ibaev Zh.G., Gusejnova A.Sh. Jelektronnaja baza dannyh artezijskikh skvazhin Respubliki Dagestan [Electronic database of artesian wells of the Republic of Dagestan]. Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geojekologii Severnogo Kavkaza. Groznyj. 2017a. Pp. 330–339. (in Russian)

9. Mamaev S.A., Mamaev A.S., Gusejnova A.Sh., Ibaev Zh.G. O principah matematicheskogo modelirovaniya gidrogeologicheskikh ob#ektov na territorii Respubliki Dagestan [On the principles of mathematical modeling of hydrogeological objects on the territory of the Republic of Dagestan]. *Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geojekologii Severnogo Kavkaza. Kollektivnaja monografija po materialam VII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. 2017b. Pp. 383–392. (in Russian)
10. Mammaev O.A. Podzemnye vody Vostochnogo Predkavkaz'ja (formirovanie, gidrogeohimija i processy radioteplogeneracii). [Underground waters of the Eastern Caucasasia (formation, hydrogeochemistry, and radio-thermo-generation processes)]. Mahachkala: DNC RAN, 2006. 280 p. (in Russian)
11. Markov B.L. Organizacija dannyh v sistemah monitoringa [Organization of data in monitoring systems]. *Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy i mikroprocessory. Sbornik nauchnyh trudov IMVS RAN za 2000 g. M. 2000*. (in Russian)
12. Markov B.L. Proektirovanie sistem registracii i analiza dannyh [Designing of systems of registration and data analysis]. *Sbornik nauchnyh trudov IMVS RAN za 2002 g. – M. 2003*. (in Russian)
13. Sozdanie gidrogeologicheskikh kart s primeneniem komp'juternyh tehnologij. [Creation of hydrogeological maps using computer technologies]. M.: VSEGINGEO MPR RF, 2001. 196 p. (in Russian)
14. Tektonicheskaja karta Dagestana M:1:500000. Ob#jasnitel'naja zapiska [Tectonic map of Dagestan M: 1: 500000. Explanatory note]. Pod redakciej akademika Ju.G. Leonova. Institut geologii DNC RAN. Mahachkala: «Alef», 2012. 130 p. (in Russian)
15. Trifonova T.A., Mishhenko N.V., Krasnoshhekov A.N. Geoinformacionnye sistemy i distancionnoe zondirovanie v jekologicheskikh issledovanijah. [Geoinformation systems and remote sensing in environmental studies]. M. 2005. 352 p. (in Russian)
16. Allroggen N., Tronicke J., Delock M., Boniger U. Topographic migration of 2D and 3D ground-penetrating radar data considering variable velocities // *Near Surface Geophysics*. – 2015. – Vol. 13. – Rp. 253–259.
17. IDEF1X. «FIPS Integration Definition for Information Modeling (IDEF1X)» Federal Information Processing Standards Publication 184, Computer Systems Laboratory, National Institute of Standards and Technology. – 1993.
18. Klein H.K., Hirschheim R.A. A Comparative Framework of Data Modeling Paradigms and Approaches. *The Computer Journal*. – 1987. – Vol. 30. №1. – Pp. 8–15.
19. Manna, Z., Pnueli A. *The Temporal Logic of Reactive and Concurrent Systems*. Springer-Verlag. – 1992.
20. http://unesco.kz/water/met_4_r.htm.