

nitnoj sovместimosti, s ispol'zovaniem jevoljucionnyh algoritmov (Methods for solving the problems of designing printed circuit boards of digital electronic devices with consideration of the criteria of electromagnetic compatibility, using evolutionary algorithms), *Jelektromagnitnaja sovместimost' i jelektromagnitnaja jekologija: sb. nauch. dokl. 9-go Mezhdunar. simp.*, SPb., LJeTI, 2011, pp. 220–222 (in Russian).

5. Chermoshencev S. V. *Mnogokriterial'naja optimizacija jelektromagnitnoj sovместimosti mezhsjoedinenij pechatnyh plat cifrovyyh jelektroennyh sredstv geneticheskimi algoritmami* (Multi-criteria optimization of electromagnetic compatibility of interconnections of digital electronic circuit boards using genetic algorithms), *Jelektromagnitnaja sovместimost': Sb. dokl. VII Ros. nauch.-tehn. konf.*, SPb., 2002, pp. 298–300 (in Russian).

6. H'jubing T., H'jubing N., Ochur O. *Jelektromagnitnaja sovместimost' irazvodka pechatnyh plat* (Electromagnetic compatibility and PCB layout), *Tehnologii v Jelektroonnoj Promyshlennosti*, Sankt-Peterburg, Media KiT, 2017, no. 93, pp. 18–20 (in Russian).

7. Rodzin S. I., Kureichik V. V. *Teoreticheskie voprosy i sovremennye problemy razvitiya kognitivnyh bioinspirirovannyh algoritmov optimizacii (obzor)* (Theoretical questions and contemporary problems of the development of cognitive bio-inspired optimization algorithms (review)), *Kibernetika i Programirovanie*, 2017, no. 3, pp. 51–79 (in Russian).

8. Kureichik V. V., Bova V. V., Kureichik VI. VI. *Kombinirovannyj poisk pri proektirovanii* (Combined design search), *Obrazovatel'nye Resursy i Tehnologii*, 2014, no. 2 (5), pp. 90–94 (in Russian).

9. Kureichik V. V., Kureichik VI. VI. *Bioinspirirovannyj poisk pri proektirovanii i upravlenii* (Bio-search for design and management), *Izvestiya JuFU. Tehnicheskie Nauki*, 2012, no. 11 (136), pp. 178–183 (in Russian).

10. Ficici S. G. *Solution Concepts in Coevolutionary Algorithms: A Doctor of Philosophy Diss.* Brandeis University, 2004.

11. Kureichik V. V., Kureichik VI. VI. *Bioinspirirovannyj algoritm razbieniya skhem pri proektirovanii SBIS* (Bioinspired algorithms for partitioning VLSI circuits in design), *Izvestiya YuFU. Tehnicheskie Nauki*, 2013, no. 7 (144), pp. 23–29 (in Russian).

12. Kureichik V. V., Zaruba D. V., Zaporozhec D. Ju. *Bioinspirirovannyj algoritm komponovki blokov JeVA na osnove modifirovannoj raskraski grafa* (Bioinspiral algorithm for composing EVA blocks based on the modified coloring of the graph), *Izvestiya JuFU. Tehnicheskie Nauki*, 2015, no. 4 (165), pp. 6–14 (in Russian).

13. Gladkov L. A., Kureichik V. V., Kureichik V. M. *Geneticheskie algoritmy* (Genetic algorithms), Moscow Fizmatlit, 2010 (in Russian).

14. Gladkov L. A., Gladkova N. V., Gordienko V. N. *Modifirovannyj geneticheskij algoritm reshenija zadachi komponovki blokov JeVA* (Modified genetic algorithm for solving the EVA block layout problem), *Informatika, Vychislitel'naja Tehnika i Inzhenernoe Obrazovanie*, 2015, no. 4 (24), pp. 18–27 (in Russian).

15. Kureichik V. V., Kureichik V. M., *Geneticheskij algoritm razbieniya grafa* (Genetic algorithms for graf partitioning), *Izvestiya Rossijskoj Akademii Nauk. Teoriya i Sistemy Upravleniya*, 1999, no. 4, pp. 79–87 (in Russian).

16. Muhlaeva I. V. *Komponovka na osnove GA* (Layout based on GA), *Izvestiya Juzhnogo Federal'nogo Universiteta. Tehnicheskie Nauki*, 2012, no. 8 (43), pp. 84–85 (in Russian).

17. Kureichik V. V., Zhilenkov M. A. *Geneticheskij algoritm dlja reshenija optimizacionnyh zadach s javno vyrazhennoj celevoj funkciej* (Genetic algorithm for solving optimization problems with an explicit objective function), *Informatika, Vychislitel'naja Tehnika i Inzhenernoe Obrazovanie*, 2014, no. 4 (19), pp. 1–8 (in Russian).

18. Fonseca C. M., Fleming P. J. *Genetic Algorithms for Multi-Objective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization*, *Proc. of the 5th Intern. Conf. on Genetic Algorithms*. San Mateo, California, 1993, pp. 416–423.

19. Kureichik V. V., Kureichik V. M. *On genetic-based control*, *Avtomatika i Telemekhanika*, 2001, no. 10, pp. 174–187.

20. Kacprzyk J., Kureichik V. M., Malioukov S. P., Kureichik V. V., Malioukov A. S. *Experimental investigation of algorithms developed*, *Studies in Computational Intelligence*, 212, 2009, pp. 211–223, 227–236.

УДК 004.94, 620.91

DOI: 10.17587/it.24.244-251

Д. Н. Кобзаренко, д-р техн. наук, зав. лаб., kobzarenko_dm@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра Российской академии наук, Махачкала

Технологии геоинформационного моделирования пространственного распределения геотермальных ресурсов

Рассматриваются технологии геоинформационного моделирования распределения потенциальных геотермальных ресурсов и технически доступных геотермальных ресурсов на примере Дагестана.

Одной из задач, которая предшествует освоению потенциального тепла сухих пород, является задача получения информации о пространственном распределении геотермальных ресурсов. Решение такой задачи позволяет: выявить и обозначить территории, которые обладают наибольшим геотермальным потенциалом, сопоставить эти территории с объектами инфраструктуры, а также с картами потенциала ветровой и солнечной энергии для возможного комбинированного использования. Данная информация очень важна при выборе оптимальных площадей для строительства объектов геотермальной энергетики.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, геоинформационное моделирование, потенциальные геотермальные ресурсы, технически доступные геотермальные ресурсы

Введение

Интерес к возобновляемым источникам энергии как в России, так и в мире за последнее время

не только не ослабевает, но и возрастает. Международное энергетическое агентство в официально опубликованном статистическом отчете о балансах мировой энергетики в 2016 г. [1] приводит

данные о том, что самый максимальный рост по выработке энергии в 2013—2014 годах в 11 % демонстрируют возобновляемые источники энергии (причем гидроэнергия здесь не учитывается, поскольку рассматривается как самостоятельный источник энергии). Для сравнения процентный рост по остальным источникам энергии в 2—3 раза меньше, чем по возобновляемым. Под возобновляемыми источниками понимаются геотермальная, ветровая и солнечная виды энергии. Следует отметить, что в последнее время набирают популярность методы и комбинированные установки комплексного освоения возобновляемой энергии: геотермальная-солнечная, солнечная-ветровая.

Текущее состояние научно-технологического прогресса в области геотермальной энергетики позволяет осваивать пока только гидрогеотермальные ресурсы подземных вод. Такие ресурсы имеют далеко не все регионы, поэтому их использование возможно лишь на определенных территориях, обладающих высоким гидрогеотермальным потенциалом. Но будущее за освоением петрогеотермальных ресурсов тепла сухих пород, имеющих огромный энергетический потенциал, которые находятся в избытке практически на любой территории.

В связи со сказанным выше одной из задач, которая предшествует освоению потенциально-го тепла сухих пород, является задача получения информации о пространственном распределении геотермальных ресурсов.

Задача получения информации о пространственном распределении геотермальных ресурсов — комплексная и имеет ряд подзадач, таких как построение геологической модели и модели температурного поля региона, поэтому ее решение возможно с применением специализированных геоинформационных технологий, которые описываются в данной работе.

1. Технологическая основа геоинформационного моделирования

В основе представляемых геоинформационных технологий лежит так называемая система трехмерного геоинформационного моделирования (СТГМ), главные идеи которой описаны в работах [2, 3].

Концепция построения СТГМ (рис. 1) базируется на следующих определениях.

Система трехмерного геоинформационного моделирования направлена на решение задач, связанных с пространственными данными в области наук о Земле.

Проект СТГМ (ПР) — совокупность объединенных данных, ассоциируемая с объектом

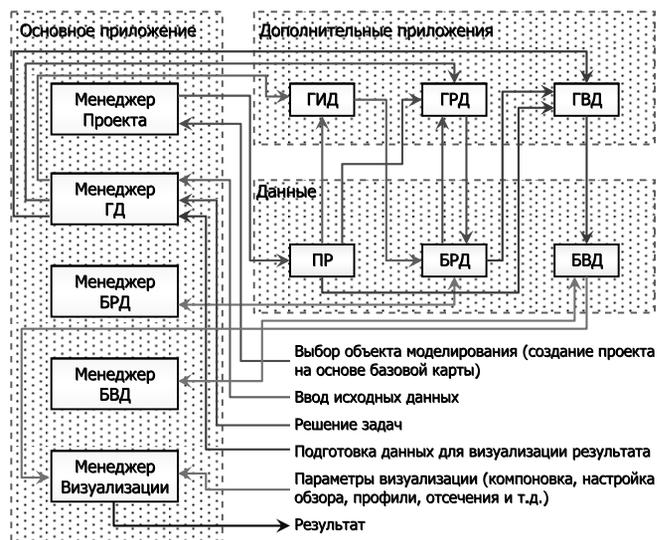


Рис. 1. Концепция построения системы трехмерного геоинформационного моделирования

моделирования — определенной территорией и масштабом.

Библиотека расчетных данных (БРД) — хранилище всей пространственно-атрибутивной информации в рамках текущего проекта, включающее как базовую (исходную), так и сгенерированную в процессе решения некоторой задачи информацию.

Библиотека визуализируемых данных (БВД) — хранилище информации, адаптированной для визуализации с использованием графической библиотеки OpenGL, и ее интерпретации (легенда).

Генератор-импортер данных (ГИД) — самостоятельное приложение, осуществляющее выполнение импорта данных в БРД текущего проекта. Приложение ГИД может запускаться только из основной ГИС и функционирует в рамках параметров текущего проекта. В зависимости от потребностей и имеющихся форматов исходных данных могут разрабатываться и добавляться в систему новые ГИД.

Генератор расчетных данных (ГРД) — самостоятельное приложение, осуществляющее выполнение совокупности операций (решение некоторой задачи) над группой данных из БРД текущего проекта и сохраняющее результат операций в той же БРД текущего проекта. Приложение ГРД может запускаться только из основной ГИС и функционирует в рамках параметров текущего проекта. Функциональность системы определяется совокупностью генераторов расчетных данных. Расширение функциональности СТГМ — разработка и добавление новых ГРД.

Генератор визуализируемых данных (ГВД) — самостоятельное приложение, осуществляющее преобразование группы данных из БРД в фор-

мат, адаптированный для визуализации, и сохраняющее результат в БВД текущего проекта.

СТГМ может функционировать и как решающая система, и как система комплексной визуализации данных. Геоинформационное моделирование выполняется в рамках проекта, создаваемого в СТГМ. Проект является информационной основой для решения задач и комплексной визуализации данных.

Любая задача решается в СТГМ путем разбиения ее на дерево подзадач и последовательного их решения снизу вверх. На первом уровне выполняется импорт исходных данных, которые заносятся в БРД текущего проекта с помощью модуля импорта данных. Затем снизу вверх по дереву решаются подзадачи с использованием библиотеки ГРД. Все промежуточные решения заносятся в БРД. Когда получен окончательный результат, из БРД выбираются данные, которые мы хотим визуализировать. На основе этих данных с помощью ГВД создаются визуализируемые структуры и заносятся в БВД. Из БВД формируются картины комплексной визуализации в проекте.

Для того чтобы с помощью СТГМ решать заявленную задачу, разработаны соответствующие компоненты как общего, так и специализированного назначения.

2. Создание проекта и построение базовых моделей

Основой для выполнения моделирования распределения геотермальных ресурсов является проект СТГМ. На базе общегеографической карты Дагестана масштаба 1:500000 создан проект "Республика Дагестан". Модель в проекте имеет размеры 427 км (высота) на 289 км (ширина) в реальном выражении. Единица измерения в координатах проекта, составляющая минимальный уровень генерализации данных, равна 50 м в реальном выражении.

Базовые компоненты модели: рельеф, населенные пункты с названиями, реки, автотрассы, водоемы, железные дороги также векторизованы на общегеографической карте Дагестана. С помощью ГИД *GidDxfExcel* векторизованные данные для базовых компонентов модели трансформированы и добавлены в БРД проекта в виде файлов расчетной структуры данных типа "Векторные объекты". На основе данных типа "Векторные объ-

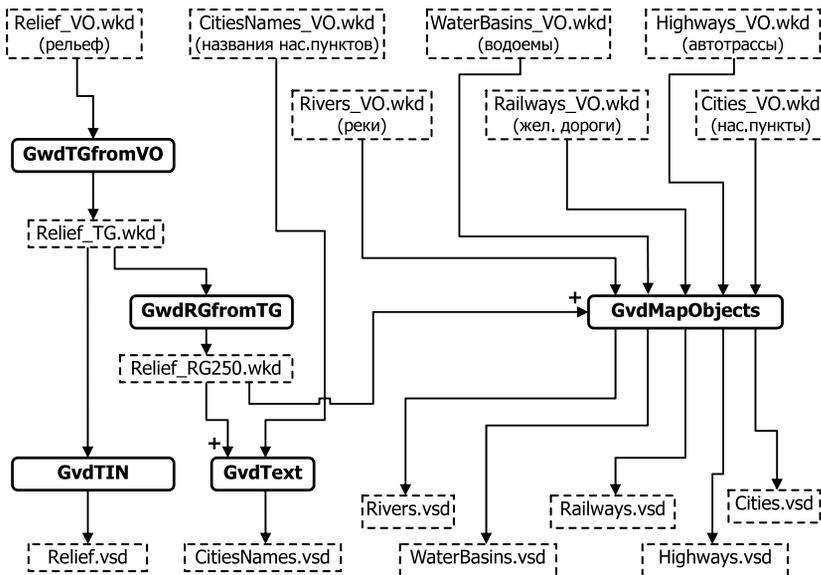


Рис. 2. Последовательность преобразования данных при построении базовой картографической части модели

екты" по рельефу с помощью ГРД *GwdTGfromWV* сгенерирована триангуляционная сеть цифровой модели рельефа (ЦМР). Затем с помощью ГРД *GwdRGfromTG* сгенерирована непрерывная регулярная сеть ЦМР с уровнем генерализации 250 м. Далее с помощью ГВД *GvdTIN*, ГВД *GvdMapObjects* и ГВД *GvdText* сгенерированы визуализируемые данные: триангуляционная сеть (ЦМР) и покрытия (реки, водоемы, автотрассы, населенные пункты, названия населенных пунктов, железные дороги) (рис. 2).

Геологическая модель. Данные выхода стратиграфических горизонтов на поверхность векторизованы из Геологического атласа Северного Кавказа масштаба 1:1000000 [4]. Данные глубины залегания стратиграфических горизонтов выбраны из архивов фонда скважин организаций "Дагбургеотермия" и "Дагнефть". Положения скважин нанесены на картографическую основу, а данные глубин залегания горизонтов занесены в таблицу атрибутов.

На территории Дагестана скважинами глубокого бурения вскрыты 16 горизонтов: четвертичные отложения неразделенные (Q); плиоцен, апшеронский ярус (N_{2ар}); плиоцен, акчагыльский ярус (N_{2ак}); верхний миоцен, сарматский ярус (N_{1³sm}); средний миоцен, караганский и конский ярусы (N_{1²kg + kn}); средний миоцен, чокракский и тарханский ярусы (N_{1²ch + t}); нижний миоцен + олигоцен (N_{1¹ + Pg₃}); эоцен + палеоцен (Pg₁₊₂); верхний мел (K₂); нижний мел (K₁); верхняя юра (J₃); средняя юра (J₂); нижняя юра (J₁); верхний триас (T₃); средний триас (T₂); нижний триас (T₁).

Построение геологической модели выполнено по методике и алгоритмам, описанным в рабо-

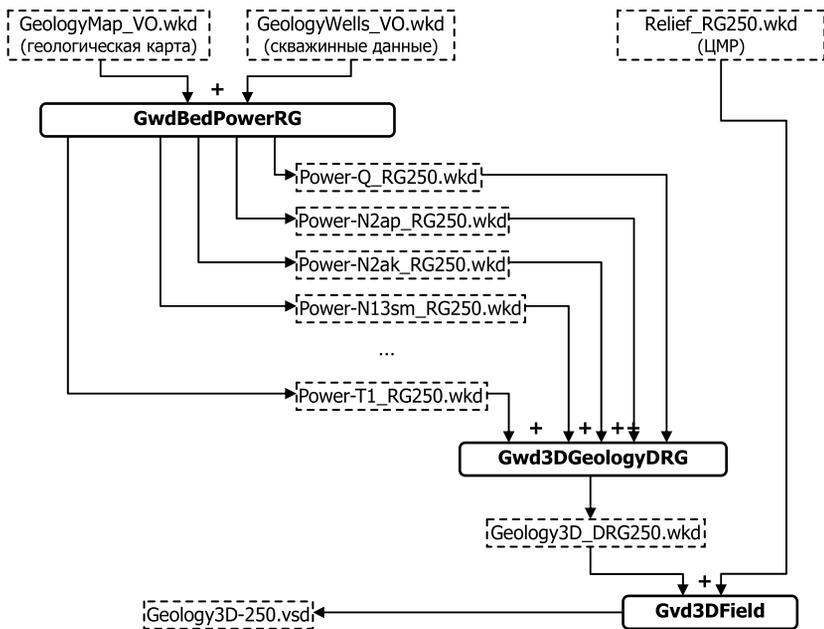


Рис. 3. Последовательность преобразования и обработки данных при построении геологической модели

те [5]. Последовательность построения геологической модели в рамках СТГМ приведена на рис. 3. На основе оцифрованных данных изолиний горизонтов геологической карты GeologyMap_VO.wkd и скважинных данных GeologyWells_VO.wkd с помощью ГРД GwdBedPowerRG генерируются регулярные сети мощностей горизонтов, а на их основе с помощью ГРД Gwd3DGeology генерируется трехмерная регулярная сеть геологической модели (Geology3D_DRG250.wkd). Файл визуализируемой структуры данных (Geology3D-250.vsd) генерируется с помощью ГВД Gvd3DField.

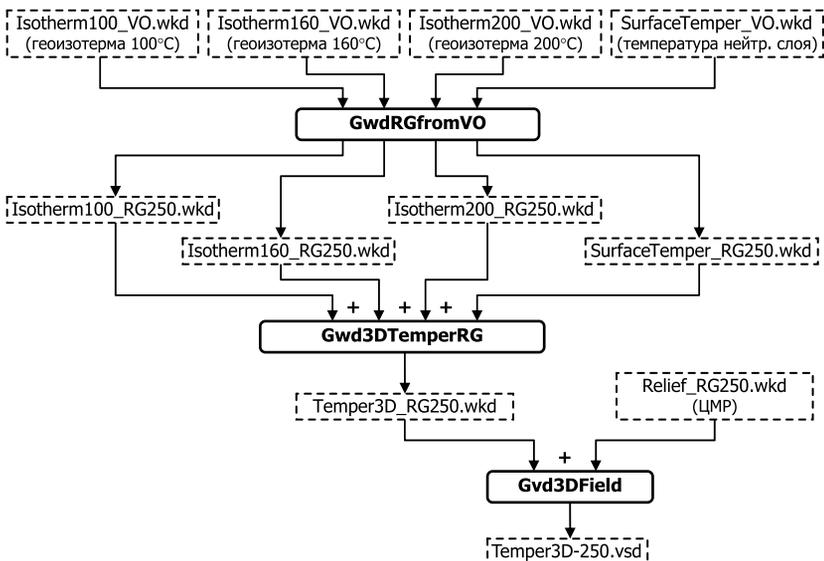


Рис. 5. Последовательность преобразования и обработки данных при построении трехмерного температурного поля

Результирующая геологическая модель представлена файлом структуры расчетных данных "Дискретная регулярная сеть (3D)" (Geology3D_DRG250.wkd) и файлом визуализируемой структуры данных "Трехмерное поле" (Geology3D-250.vsd). Объем данных модели составляет приблизительно 1 Гбайт, из них около 470 Мбайт занимает 3D дискретная регулярная сеть и примерно такой же размер у визуализируемой структуры. Визуализация геологической модели в СТГМ представлена на рис. 4 (см. вторую сторону обложки).

Трехмерная модель температурного поля. Для расчета трехмерного температурного поля использовали известные карты глубины залегания геозотерм 100, 160, 200 °С [6] и температуры нейтрального слоя [7].

Построение трехмерного температурного поля выполнено до глубины 5000 м по методике и алгоритмам, описанным в работе [5]. Последовательность построения модели температурного поля в рамках СТГМ приведена на рис. 5. На основе первичных векторизованных данных изолиний геозотерм и температур нейтрального слоя с помощью ГРД RGFromVO создаются файлы регулярных сетей геозотерм и температуры нейтрального слоя. Полученные регулярные сети являются основой расчета трехмерной модели температурного поля с помощью ГРД Gwd3DTemperRG, которая сохраняется в файл Temper3D_RG250.wkd. Файл визуализируемой структуры данных (Temper3D-250.vsd) генерируется с помощью ГВД Gvd3DField на основе регулярной сети ЦМР и трехмерной регулярной сети температурного поля.

Моделирование выполнено с уровнем генерализации регулярных сетей по XY — 250 м. Шаг по глубине выбран равным 50 м. Результирующая модель температурного поля представлена файлом структуры расчетных данных "Непрерывная регулярная сеть (3D)" (Temper3D_RG250.wkd) и файлом визуализируемой структуры данных "Трехмерное поле" (Temper3D-250.vsd). Объем всех данных, связанных с температурной моделью, составляет приблизительно 1,2 Гбайт, из них около 790 Мбайт занимает 3D непрерывная регулярная сеть и около 400 Мбайт — визуализируемая структура. Визуализация модели до 5000 м в СТГМ представлена на рис. 6 (см. вторую сторону обложки).

3. Расчет потенциальных геотермальных ресурсов

Расчет потенциальных геотермальных ресурсов выполняется по следующей формуле [10]:

$$Q^p = kc_\gamma(H_{\text{пр}} - h_{\text{н.с}})(t_{\text{из}} - t_{\text{о.с}}), \quad (1)$$

где Q^p — плотность распределения ресурсов, т у.т./м² (т у.т. — тонна условного топлива); k — коэффициент пересчета, т у.т./Дж; c_γ — объемная теплоемкость пород, Дж/(м³·°C); $H_{\text{пр}}$ — прогнозная глубина бурения, м; $h_{\text{н.с}}$ — глубина нейтрального слоя, м; $t_{\text{о.с}}$ — температура окружающей среды, °C; $t_{\text{из}}$ — средняя температура массива, °C; $t_{\text{из}} = 0,5(t_{\text{пр}} + t_{\text{н.с}})$; $t_{\text{пр}} = G(H_{\text{пр}} - h_{\text{н.с}}) + t_{\text{н.с}}$; $t_{\text{н.с}}$ — температура нейтрального слоя, °C; $t_{\text{пр}}$ — температура пород на прогнозируемой глубине, °C; G — геотермический градиент, °C/м.

Для выполнения расчета необходимо иметь в формате непрерывной регулярной сети следующие данные: средняя объемная теплоемкость массива пород; температура на прогнозируемой глубине бурения; температура нейтрального слоя; температура окружающей среды. Нами взяты средние значения объемной теплоемкости пород для стратиграфических горизонтов из работы [8]. Данные температуры нейтрального слоя взяты из работы [7], а данные температуры окружающей среды в зимний период — из Атласа Республики Дагестан [9]. Температура на прогнозируемой глубине находится по уже рассчитанной трехмерной модели распределения температурного поля.

Расчет потенциальных геотермальных ресурсов выполнен для прогнозных глубин бурения 3000 м и 5000 м. Последовательность расчета

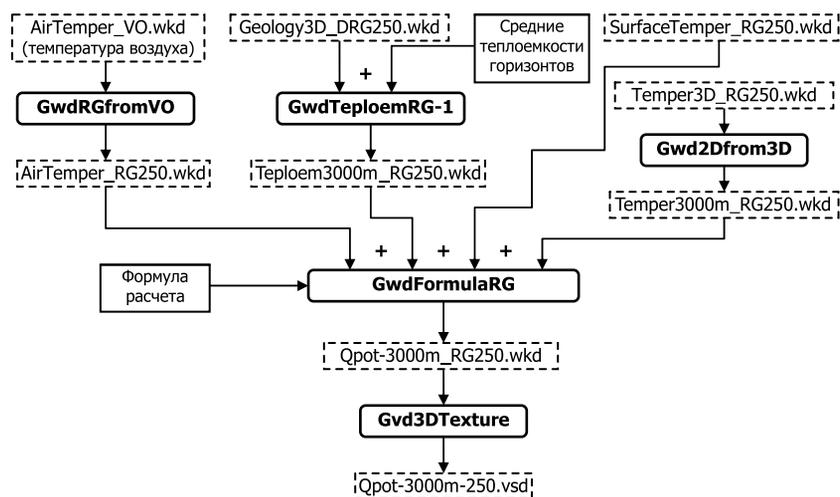


Рис. 7. Последовательность преобразования и обработки данных при расчете распределения потенциальных геотермальных ресурсов

распределения потенциальных геотермальных ресурсов в рамках СТГМ с учетом полученных ранее данных приведена на рис. 7.

На рис. 8 (см. третью сторону обложки) представлена картографическая модель распределения потенциальных геотермальных ресурсов до прогнозной глубины бурения 5000 м. Примерами наиболее перспективных районов с точки зрения общего потенциала геотермальной энергии являются: окрестности населенного пункта Буйнакск; предгорная часть Дагестана между населенными пунктами Каспийск и Избербаш; северо-западная часть Дагестана к юго-западу от населенного пункта Южно-Сухокумск; район к северо-западу от населенного пункта Кизляр.

Сравнить полученные результаты с какими-либо подобными работами в региональном масштабе не представляется возможным, поскольку такого рода карты не публиковались. Что касается общероссийских карт распределения потенциальных геотермальных ресурсов, то согласно карте технического потенциала геотермальных энергоресурсов России [10] Дагестан обладает потенциалом более 20 млн т у.т., что подтверждается картографической моделью ресурсов до 5000 м на рис. 8 (см. третью сторону обложки).

4. Расчет технически доступных геотермальных ресурсов

Для режима 70/20 °C (горячее водоснабжение) плотность технически доступных ресурсов геотермальной энергии определяется следующим выражением [9]:

$$Q_T = k\xi C_V(H_H - H_B)(t_{\text{из}} - 20), \quad (2)$$

где Q_T — плотность ресурсов, т у.т./м²; k — коэффициент пересчета; C_V — объемная теплоемкость пород, Дж/(м³·°C); ξ — коэффициент температурного извлечения ($\xi = 0,125$); H_H — нижняя граница ресурсного интервала, м ($H_H = 6000$ м); H_B — верхняя граница ресурсного интервала, м; $H_B = [(t_B - t_{\text{н.с}})/G] + h_{\text{н.с}}$; G — геотермический градиент, °C/м; $t_{\text{из}} = 0,5(t_B - t_{\text{н.с}})$; t_B — температура на верхней границе ресурсного интервала, °C (в этом режиме для получения теплоносителя с температурой не менее 70 °C средняя температура массива $t_{\text{из}}$ с учетом потерь при транспортировке должна быть не менее 80 °C); $t_{\text{н.с}}$ — температура на ниж-

ней границе массива ресурсного интервала, °C; $t_H = G(H_H - h_{H,c}) + t_{H,c}$. Исходя из положения $t_{из} \geq 80$ °C: $t_B = 2t_{из} - t_H$, тогда минимальное значение $t_B = 160 - t_H$. При высоких значениях t_H вводится ограничение $t_B \geq 30$ °C.

Плотность технически доступных ресурсов геотермальной энергии в режиме 90/40 °C определяется по формуле (3) [10]

$$Q_T = k\xi C_V (H_H - H_B)(t_{из} - 40). \quad (3)$$

Для обеспечения температуры теплоносителя, равной 90 °C, средняя температура массива должна быть не менее 100 °C, а заданная температура на верхней границе ресурсного интервала — не менее 50 °C.

Расчет технически доступных геотермальных ресурсов выполнен для обоих режимов: горячего водоснабжения и отопления. Все регулярные сети, участвующие в расчете, созданы с уровнем генерализации по XY — 250 м. Последовательность расчета распределения технически доступных геотермальных ресурсов для режима горячего водоснабжения в рамках СТГМ с учетом полученных ранее данных приведена на рис. 9.

Для режима горячего водоснабжения в расчете используются геоизотермы 30 и 130 °C, которые задают глубину верхней и нижней границ ресурсного интервала соответственно. Для режима отопления расчет аналогичный, за исключением того, что вместо температуры извлечения 80 °C

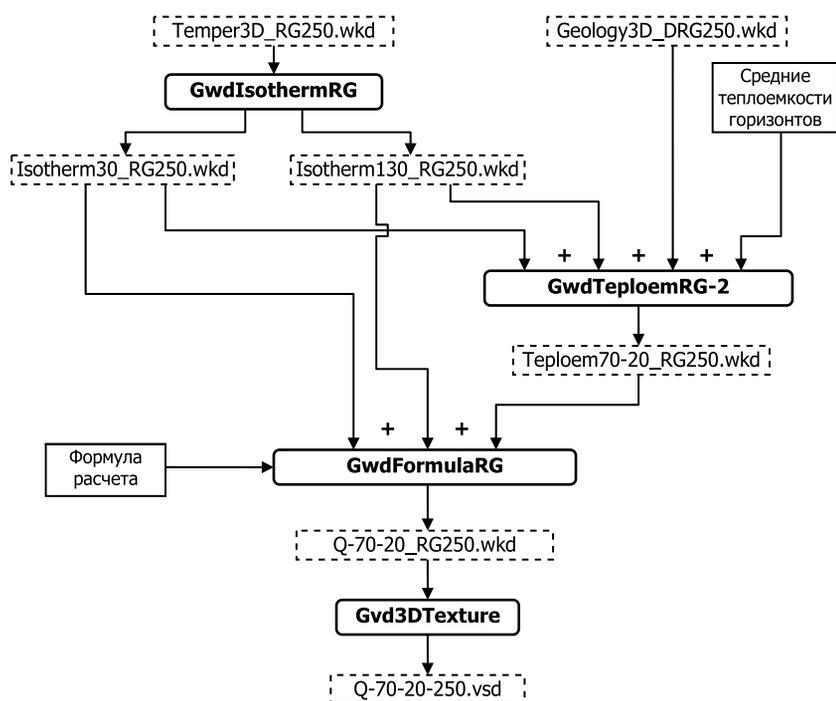


Рис. 9. Последовательность преобразования и обработки данных при расчете распределения технически доступных геотермальных ресурсов

задается температура — 100 °C, а для задания верхней и нижней границ ресурсного интервала используются геоизотермы 50 и 150 °C.

На рис. 10 (см. третью сторону обложки) представлена картографическая модель распределения технически доступных геотермальных ресурсов для использования в режимах горячего водоснабжения. Согласно полученным результатам выявлены области, которые являются наиболее перспективными с точки зрения технического потенциала использования геотермальной энергии в коммунальном секторе. Для горячего водоснабжения перспективными являются районы Центрального Дагестана, окрестности населенных пунктов Кизилюрт, Шамхал, Сулак, Хасавюрт и Кизляр. Для отопления перспективными являются вся зона Предгорного Дагестана с севера на юг и северная часть республики начиная с населенного пункта Кизляр.

Согласно общероссийской карте распределения технически доступных геотермальных ресурсов, представленной в работе [10], горная часть Дагестана обладает потенциалом технически доступных геотермальных ресурсов для режима горячего водоснабжения 4...6 т. у.т./м² и для отопления 2...4 т. у.т./м². Предгорные, центральные и северные районы республики на тех же картах отмечены потенциалом выше 6 т. у.т./м² для горячего водоснабжения и 4...6 т. у.т./м² для отопления. Сопоставив результаты наших расчетов с оценкой технически доступных ресурсов Дагестана, представленной в работе [10], можно увидеть приблизительно двукратную разницу. Причиной этого, скорее всего, является использование совершенно разных масштабов для исследования — всероссийского и регионального. Но главным в наших исследованиях является не столько количественная оценка геотермальных ресурсов, сколько выявление наиболее перспективных площадей.

Заключение и выводы

Представлены технологии геоинформационного моделирования, которые позволяют решать задачу оценки пространственного распределения потенциала геотермальных ресурсов в региональном масштабе. Гибкий подход в построении системы трехмерного геоинформационного моделирования на основе отдельных программных блоков — генераторов данных и

унифицированных форматов для файлов позволяет вносить корректировки в алгоритмы и методику расчетов.

Полученные геоинформационные модели распределения потенциальных и технически доступных геотермальных ресурсов могут служить ценной информацией для принятия решения о более подробном изучении перспективных с точки зрения геотермальной энергии площадей и строительстве объектов геотермальной энергетики и ее комплексного использования с солнечной и ветровой энергией.

Список литературы

1. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/world-energy-balances---2016-edition---excerpt---key-world-energy-trends.html>
2. **Кобзаренко Д. Н.** Автоматизированное построение карты распределения величины, заданной функциональной зависимостью // Геоинформатика. 2009. № 2. С. 37–40.

3. **Кобзаренко Д. Н., Камилова А. М., Гаджимурадов Р. Н.** Концепция построения системы трехмерного геоинформационного моделирования // Информационные технологии. 2009. № 11. С. 32–36.

4. **Геологический** атлас Северного Кавказа (масштаб 1:1000000) / Под ред. Н. И. Пруцкого. Ессентуки: Кавказгеолъемка, 1999.

5. **Кобзаренко Д. Н.** Алгоритмическое и программное обеспечение оценки распределения геотермальных ресурсов. Махачкала: АЛЕФ, 2011. 200 с.

6. **Курбанов М. К.** Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. М.: Наука, 2001. 260 с.

7. **Амирханов Х. И., Суетнов В. В., Левкович Р. А., Габрибеков Х. А.** Тепловой режим осадочных толщ. Махачкала, 1972. 230 с.

8. **Проблемы** геотермальной энергетики Дагестана / Под ред. Х. И. Амирханова, С. Н. Ятрова. М.: Недра, 1980. 208 с.

9. **Атлас** Республики Дагестан. Москва, Федеральная служба геодезии и картографии России. 1999. 65 с.

10. **Богуславский Э. В.** Тепловые ресурсы недр России // Теплоэнергетика. 2004. № 6. С. 25–32.

DOI: 10.17587/it.24.244-251

D. N. Kobzarenko, D.Sc., Head of Laboratory, e-mail: kobzarenko_dm@mail.ru
Federal State Budgetary Institution of Science "Institute for Geothermal Research of Dagestan
Scientific Center of Russian Academy of Sciences", Makhachkala, Russia

Technologies for Geoinformation Modeling of Spatial Distribution of Geothermal Resources

The paper deals with the technologies of geoinformation modeling of potential geothermal resources and technically accessible geothermal resources distribution on the example of Dagestan.

One of the tasks that precedes the development of potential heat of dry rocks is the task of obtaining information on the spatial distribution of geothermal resources. The solution of this problem allows: to identify the territories that have the greatest geothermal potential, to compare these territories with the objects of infrastructure, as well as with maps of the potential of wind and solar energy for possible combined use. This information is very important when choosing the optimal areas for the construction of geothermal energy facilities.

The task of obtaining information on the spatial distribution of geothermal resources is complex and has a number of sub-tasks, such as the construction of a geological model and a model of the temperature field of the region, so its solution is possible with the use of specialized geoinformation technologies. In these geoinformation technologies lies the concept of constructing a system of three-dimensional geoinformation modeling (STMG).

A three-dimensional geoinformation model of the territory of Dagestan was created in STMG. Within the framework of the project, three-dimensional geological model and a three-dimensional model of the temperature field were constructed, which formed the basis for the construction of cartographic models for the distribution of potential geothermal resources and technically accessible geothermal resources.

As a result of geoinformation modeling, the regions of Dagestan are identified, which are the most promising from the point of view of the technical potential of using geothermal energy in the communal sector. For hot water supply are promising areas of Central Dagestan, the neighborhoods of settlements: Kizilyurt, Shamkhal, Sulak, Khasavyurt and Kizlyar. For heating perspective: the whole area of Piedmont Dagestan from north to south and the northern part of the republic, starting from the settlement of Kizlyar.

Keywords: geoinformation technologies, geoinformation modeling, potential geothermal resources, technically accessible geothermal resources

References

1. Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/world-energy-balances---2016-edition---excerpt---key-world-energy-trends.html>

2. **Kobzarenko D. N.** *Avtomatizirovannoe postroenie karty raspredeleniya velichiny, zadannoj funkcional'noj zavisimost'yu* (Automated construction a map of the distribution of a quantity given by a functional dependence), *Geoinformatika*, 2009, no. 2, pp. 37–40 (in Russian).

3. **Kobzarenko D. N., Kamilova A. M., Gadzhimuradov R. N.** *Koncepciya postroeniya sistemy trekhmernogo geoinformacionnogo modelirovaniya* (The concept of building a system of three-dimensional geoinformation modeling), *Informacionnye tekhnologii*, 2009, no. 11, pp. 32–36 (in Russian).

4. **Geologicheskij atlas Severnogo Kavkaza, masshtab 1:1000000** (Geological Atlas of The North Caucasus, Scale 1:1000000). Ed. N. I. Pruckogo ed., Essentuki, FGUP Kavkazgeols'emka, 1999 (in Russian).

5. **Kobzarenko D. N.** *Algoritmicheskoe i programnoe obespechenie ocenki raspredeleniya geotermal'nyh resursov* (Algorith-

mic and software for estimating the distribution of geothermal resources), Mahachkala, *ALEF*, 2011, 200 p. (in Russian).

6. **Kurbanov M. K.** *Geotermal'nye i gidromineral'nye resursy Vostochnogo Kavkaza i Predkavkaz'ya* (Geothermal and hydromineral resources of the Eastern Caucasus and Ciscaucasia), Moscow, Nauka, 2001, 260 p. (in Russian).

7. **Amirhanov H. I., Suetnov V. V., Levkovich R. A., Gairbekov H. A.** *Teplovoj rezhim osadochnyh tolshch* (Thermal mode of sedimentary strata), Mahachkala, 1972, 230 p. (in Russian).

8. **Amirhanov H. I., Yatrov S. N.** *Problemy geotermal'noj ehnergetiki Dagestana* (Problems of geothermal power engineering in Dagestan), Moscow, Nedra, 1980, 208 p. (in Russian).

9. **Atlas Respubliki Dagestan** (Atlas of the Republic of Dagestan), Moscow, Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii Rossii, 1999, 65 p. (in Russian).

10. **Boguslavskij E. V.** *Teplovye resursy nedr Rossii* (Thermal resources of Russia's mineral resources), *Teploehnergetika*, 2004, No. 6, pp. 25–32 (in Russian).

УДК 519.67

DOI: 10.17587/it.24.251-255

А. А. Дубанов, канд. тех. наук, доц., e-mail: alandubanov@mail.ru,
Сибирский Государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Улан-Удэ

Задача преследования. Решение в системе вычислительной математики MathCAD

Описываются модели решения задачи преследования по пересеченной местности. Ландшафт местности представлен точечным базисом с выполненной полиномиальной регрессией, которая позволяет через массив точек $Z_{i,j} = Z(X_i, Y_j)$ провести приближенную поверхность $z = z(x, y)$, состоящую из полиномиальных сегментов. По результатам математического моделирования созданы анимированные изображения.

Ключевые слова: задача преследования, траектория "кролика", траектория "лисы", точечный базис, уравнение ландшафта, пересеченная местность, прогнозирование траектории, анимированное изображение, траектория движения, траектория на плоскости

Введение

В данной статье предлагаются методы решения классической задачи из школьного курса физики, описанной в замечательной книге "Задачи по физике" [1]. Позволю себе привести полный текст задачи № 13: "За лисой, бегущей равномерно и прямолинейно со скоростью v_1 , гонится собака, скорость которой v_2 постоянна по абсолютной величине и направлена все время на лису. В момент времени, когда скорости v_1 и v_2 оказались взаимно перпендикулярными, расстояние между лисой и собакой было равно l . Каково было ускорение собаки в этот момент?"

Мы в системе MathCAD будем решать похожие задачи, имеющие свое происхождение из указанной выше классической задачи. "Кролик" дви-

жется по случайной траектории. Его преследует "Лиса". Необходимо найти зависимость положения лисы от времени. Вектор скорости "Лисы" направлен на "Кролика" и по модулю неизменен.

"Кролик" и "Лиса" движутся по плоскости

Пусть траектория движения "Кролика" (рис. 1) описывается уравнением $R_{rabbit}(t) = \begin{cases} x_{rabbit}(t) \\ y_{rabbit}(t) \end{cases}$, а траектория движения "Лисы": $R_{fox}(t) = \begin{cases} x_{fox}(t) \\ y_{fox}(t) \end{cases}$, v_{fox} — абсолютная неизменная величина скорости движения "Лисы".

Тот факт, что вектор скорости движения "Лисы" направлен все время на "Кролика", и то, что абсо-