

УДК 551.3.051.001.0.57:553.93/96.061.14

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-90-94

МНОГОВАРИАНТНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ФУНДАМЕНТА ЮЖНО-ЯКУТСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

© 2016 г. В.Н. Микерова, А.А. Дорофеев, А.Б. Тарасов, Л.Н. Фоменко

Микерова Вера Николаевна – заведующая лабораторией геологии и разведки угольных месторождений, акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт угольных месторождений», пр. Стачки, 200/1, корп. 3, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: vera_mikeroва@rambler.ru

Дорофеев Алексей Анатольевич – инженер-программист, акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт угольных месторождений», пр. Стачки, 200/1, корп. 3, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: alexeidorofeyev@yandex.ru

Тарасов Александр Борисович – научный сотрудник, акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт угольных месторождений», пр. Стачки, 200/1, корп. 3, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: ataras@mail.ru

Фоменко Людмила Николаевна – кандидат технических наук, доцент, кафедра прикладной информатики и вычислительной техники, Ростовский государственный строительный университет, ул. Социалистическая, 162, г. Ростов-на-Дону, 344022, e-mail: detush@yandex.ru

Mikeroва Vera Nikolaevna – Head of Geology and Coalfields Prospecting Laboratory, Joint-Stock Company «All-Russian Research Geological Exploration Institution of Coalfields», Stachki Ave, 200/1, k. 3, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vera_mikeroва@rambler.ru

Dorofeev Aleksei Anatolievich – Part-Programming Engineer, Joint-Stock Company «All-Russian Research Geological Exploration Institution of Coalfields», Stachki, 200/1, k. 3, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: alexeidorofeyev@yandex.ru

Tarasov Aleksandr Borisovich – Scientific Researcher, Joint-Stock Company «All-Russian Research Geological Exploration Institution of Coalfields», Stachki Ave, 200/1, k. 3, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: ataras@mail.ru

Fomenko Lyudmila Nikolaevna – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Applied Mathematics Department, Rostov State Building University, Sotsialisticheskaya St., 162, Rostov-on-Don, 344022, Russia, e-mail: detush@yandex.ru

Разработана методика построения фундамента в пределах Южно-Якутского угольного бассейна с использованием комплекса исходных геолого-геофизических данных применительно к этапам региональных и поисковых геологоразведочных работ и современных программных средств (специализированных – ОКАР и геоинформационной системы ArcGIS). Выявленные геолого-структурные закономерности могут быть использованы в качестве самостоятельного информационного блока при прогнозе угленосности слабоизученных территорий бассейна.

Ключевые слова: методика, технология, модель, фундамент, ОКАР, ArcGIS, геолого-геофизические данные, Южно-Якутский угольный бассейн.

The methodology of building South Yakutia Coal Basin foundation is developed concerning to using of initial geological-geophysical data at regional and prospecting geological exploration works stages and using of modern software tools including specialized ones (OKAR) and ArcGIS geographic information system. Ascertained geological and structural regularities can be used as independent informational blocks to predict of coal content in the lands of basin which are weakly examined.

Keywords: methods, technology, model, foundation, OKAR, ArcGIS, geological-geophysical data, South Yakutia Coal Basin.

Изучение глубин и тектоники поверхности фундамента угольных бассейнов платформенного и переходного типов, а также их обрамлений является важной практической задачей, что в главной степени определяет закономерности размещения угленосности, мощность и морфологию угольных пластов. Южно-Якутский угольный бассейн относится к переходному типу, где угленосность во многом определяется строением и структурой поверхности допалеозойского фундамента и составом угленосных пород [1]. Условия поставленной задачи, традиционно решаемой посредством бурения и

глубинных сейсмических и электрических зондирований, в Южно-Якутском бассейне ограничиваются фрагментарным объемом прямых геологических данных, незначительным объемом глубинных сейсмических и электрических зондирований и невыдержанной мощностью комплексов пород мезозоя. На территории бассейна пробурена только одна скважина, достигшая фундамента. Таким образом, при решении поставленной задачи в качестве основного фактического материала были использованы результаты геологоразведочных работ по изучению угленосной толщи.

В геологическом плане Южно-Якутский бассейн расположен на юге Алданского щита [2]. Угленосная толща мощностью до 3,5 км, без существенных перерывов сложена терригенными (преимущественно песчаными) континентально-бассейновыми отложениями всех трёх отделов юры и нижнего мела. Она залегает на докембрии и локально перекрывается четвертичными отложениями. Толща имеет сложно-циклическое строение. По имеющимся геофизическим данным (вертикальное электрическое зондирование и среднемасштабная гравиметрическая съёмка), наиболее погружённые участки фундамента (до 5 000 м) тяготеют к южной части Алдано-Чульманского района, что подтверждает представление о резко асимметричном строении синклинали структуры, в которой образован бассейн. Фундамент расчленён многочисленными разрывными нарушениями на ряд блоков с амплитудой вертикальных перемещений относительно друг друга до 1,5–2 км, причём наиболее сложное строение фундамента установлено в южной части прогиба. При этом в Алдано-Чульманском районе наблюдаются постепенное погружение кристаллического фундамента с севера на юг и, соответственно, постепенное увеличение мощности угленосных отложений за счёт наращивания разреза [3].

Для перечисленных условий, т.е. наличия геолого-геофизических результатов региональных и поисковых геологоразведочных работ, разработан методика построения более детальных фрагментов фундамента на территории расположения Южно-Якутского угольного бассейна по сравнению с существующими данными. Сущность методики заключается в применении информационной технологии многофакторного моделирования и прогнозирования посредством аппроксимации измеренных параметров геофизических полей в программном комплексе (ПК) OKAP_28_Large и дальнейшей возможности анализа распределения этих параметров по любым произвольным направлениям как в пределах, так и за пределами площади исследований [4]. Методика также включает использование геоинформационной системы ArcGIS.

Технология ПК OKAP включает операции основных направлений вычислительной математики по 8 специализированным программам, реализующим различные алгоритмы парной и многомерной регрессии, расчет мер близости «эталон – испытуемый объект», классификацию объектов оценки по «средним эталонам» и их многомерно-регрессионную кластеризацию. При реализации методики моделями поискового (бассейнового) уровня являются массивы данных по обобщающей числовой

оценке структурных элементов и распределения угленосности по районам Южно-Якутского угольного бассейна.

Для работы с ПК OKAP_28_Large на основании геологических данных создается файл исходных данных, который далее последовательно обрабатывается по следующей технологии:

1. Исходные данные нормируются независимым образом для каждого столбца: обработка → нормировка → номера столбцов по гравиметрии (G), магнитометрии (M), рельефу (H). В результате столбцы модифицируются таким образом, чтобы весь набор имел нулевое среднее и единичную дисперсию.

2. Проводятся аппроксимация дискретных значений параметров и расчёт градиентов геологических характеристик фундамента на заданную сеть дискретно-непрерывной модели. Эта технология включает в себя следующее:

– в процессе диалога пользователь задает радиус охвата для расчёта аппроксимации и градиентов: аппроксимация → топопокрытие и градиенты → радиус охвата → радиус градиента;

– для каждой i -й точки измерений находится набор точек, расстояние до которых от этой i -й точки не более заданного радиуса охвата;

– пользователю предоставляется возможность выбора метода аппроксимации между плоскостным методом и методом Криге: аппроксимация → топопокрытие и градиенты → метод расчёта;

– по методу наименьших квадратов строится плоскость $Z(x,y)$, наиболее точно описывающая поведение каждого признака в наборе.

Методика построения фундамента в пределах Южно-Якутского угольного бассейна состоит из трех этапов:

1) построение по имеющимся геологическим данным предварительного варианта карты глубин (H_f) и альтитуд (A_f) фундамента. С этой целью получены значения H_f и A_f в 60 тысячах точек сеточной основы 1×1 км в границах Усмунского и Алдано-Чульманского угленосных районов с обрамлением;

2) многовариантное моделирование поверхности фундамента Южно-Якутского угольного бассейна на основе многомерных зависимостей между величинами H_f , A_f и значениями геофизических покрытий – G , M , H , а также их производными – всего $21 \div 27$ сплошных информационных покрытий (числовая сводная матрица 5×5 км, 25 тысяч строк, $24 \div 30$ столбцов-характеристик);

3) сопоставление вариантов расчета глубин фундамента, управление процессом моделирования и оптимизация моделей, анализ конечных результатов и формулирование целевых геологических заключений.

Для решения задачи моделирования поверхности фундамента Южно-Якутского угольного бассейна все геологические информационные ресурсы рассматривались в конечном итоге как совокупность геологических моделей различных типов и назначений. Решение задачи поиска структурной компоненты в геофизических полях и уточнения на ее основе структурного плана угольных горизонтов достигалось в результате комплексной интерпретации данных геофизики и бурения. В основу интерпретации положена настройка геолого-геофизических связей на эталонном пространстве скважин, пробуренных на территории Южно-Якутского угольного бассейна, где изучаемая геологическая характеристика, т.е. глубина залегания угольных пластов, достоверно известна. Посредством такой настройки из геофизических полей извлекалась структурная компонента, наиболее тесно увязываемая с геологической структурой. Последующее уточнение структурного плана угольных комплексов пород в межскважинном пространстве осуществлялось по многомерной регрессии. В результате способом последовательных приближений создавались геологические модели каждого из изучаемых объектов с повышающейся степенью полноты, детальности, точности и достоверности. Последующие исследования охватывали всю территорию Южно-Якутского угольного бассейна.

Технология моделирования включала расчет более 30 вариантов моделей, в том числе:

1) с 4 вариантами погрешностей («зашумление») обучающей выборки значений глубин и альтитуд рельефа – 10, 20, 30, 50 %;

2) с 7 вариантами радиуса покрытия скользящего окна $R = 20, 30, 40, 60, 100, 150, 200$ км;

3) с двумя различными вариантами наборов факторов-характеристик – G, M, H , средние (G_s, M_s, R_s), дисперсии (SG, SM, SR), градиенты (dG, dM, dR) и т. д.

При построении первого исходного варианта геологической модели были взяты характеристики по скважинам для двух геологических профилей с геологической карты Алдано-Чульманского угленосного района. Внутри контура этого района добавлены расчётные точки с информацией по альтитууде и глубине фундамента, снятой с литолого-стратиграфического разреза. По Усмуноскому, Гонамскому и Токинскому районам данные по альтитууде и глубине фундамента взяты из опубликованной литературы [1]. На анализируемый контур дополнительно были нанесены расчётные точки со значениями выхода фундамента на поверхность. Для создания *grid*-поверхностей альтитууды и глубины фундамента с использованием ArcGIS 9.3 строилась сеточная модель 1×1 км с внесением значений альтитууды и глубины фундамента по точ-

кам 1×1 км в контурах месторождений по свитам: юхтинская, дурайская, кабактинская.

Результатом построения первой исходной модели фундамента по Алдано-Чульманскому угленосному району явилась карта изолиний глубины фундамента, построенная с помощью метода Криге. Но эта модель считалась недостаточно объективной по причине её неоднозначности в установлении границ фундамента. Поэтому в результате всех расчётов в ArcGIS 9.3 первоначально был принят приближённый вариант геологической модели фундамента. Альтернативой этому варианту явилось применение программного комплекса OKAP_28_Large – «Обработка, корреляция, аппроксимация, распознавание», в котором заложен принцип решения задачи на основе многомерной регрессии как отображение геолого-геофизических закономерностей. Практическое решение здесь сводилось к созданию сводной матрицы (более 25 тыс. строк-точек на 31 характеристику). Сопоставление проведенных расчётов и результаты выборочных локальных регрессионных зависимостей показали хороший результат в скользящем окне. Частные статистические решения (способ статистических испытаний) – вычисление и результаты с изменяемыми размерами скользящего окна $R = 20, 30, 40, 60, 100, 150, 200$ км, вариантами производных покрытий (dG, dM, dR , вариантами погрешностей исходной выборки для рельефа – $H = 10, 20, 30, 50$ %) – дали практически одинаковые результаты.

На основе созданного сводного Excel-файла по нормированным значениям глубины фундамента Южно-Якутского угольного бассейна (матрица 5×5 км, 25 602 точек, многомерная регрессия в окне радиуса $R = 61$ км по 23 характеристикам) построена с помощью ГИС-технологий (ArcGIS 9.3) схема изменения альтитууды фундамента Южно-Якутского угольного бассейна (рис. 1).

На этой схеме показаны области максимального прогиба фундамента и наибольшего погружения депрессионных зон. Выделены области постепенного погружения кристаллического фундамента с севера на юг и, соответственно, постепенного увеличения мощности угленосных отложений за счёт наращивания разреза. Примечательно, что модель не показала наличия новых глубоких грабенов в ближайшем окружении Южно-Якутского угольного бассейна. Это следует из выделения зон выхода фундамента на поверхность рельефа, где значения альтитууды фундамента и рельефа совпадают.

На рис. 2 приведен пример получения нормированных значений глубины фундамента по результатам расчётов многомерной регрессии с радиусом $R = 63$ км. Отчетливо выделяются глубины залегания, в частности с параметром $H_f = 2000$ м.

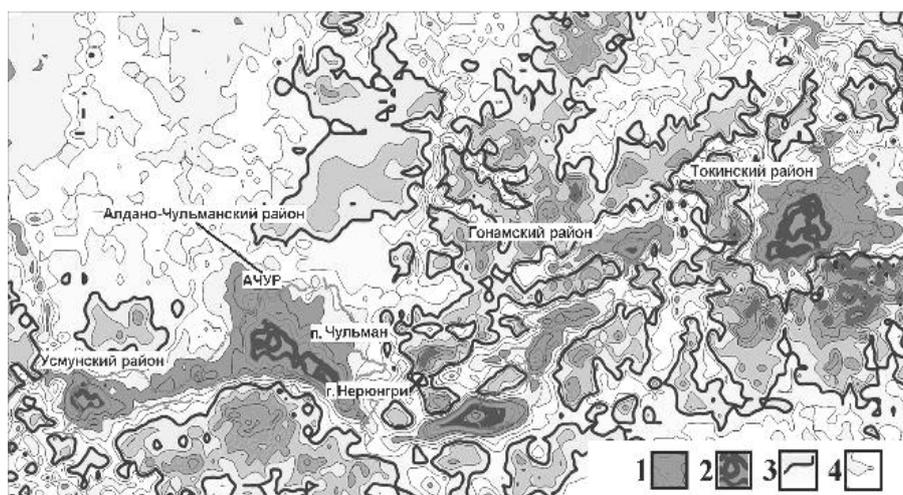


Рис. 1. Результаты расчётов альтитуды фундамента Южно-Якутского угольного бассейна по многомерной регрессии в окне радиуса $R = 61$ км по 23 характеристикам: 1 – области постепенного погружения кристаллического фундамента; 2 – области максимального прогиба фундамента и наибольшего погружения депрессионных зон; 3 – рельеф прилегающих территорий Южно-Якутского угольного бассейна (жирная линия $h = 1000$ м, тёмные цвета – горные участки $h > 1000$ м); 4 – рельеф прилегающих территорий Южно-Якутского угольного бассейна (светлые цвета – равнинные участки $h < 1000$ м)

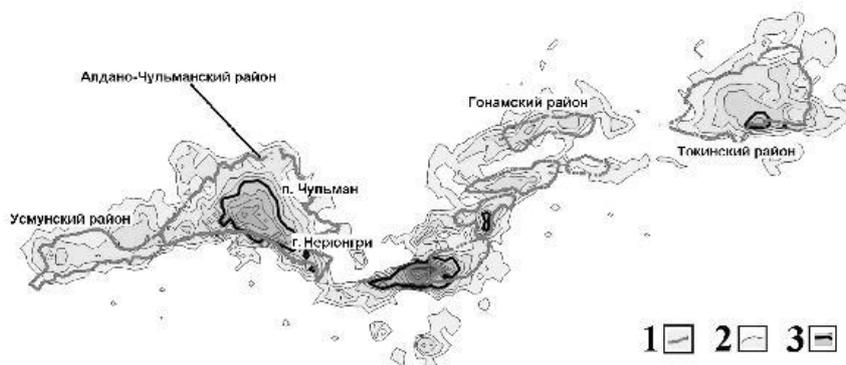


Рис. 2. Нормированные значения глубины фундамента Южно-Якутского угольного бассейна по результатам расчётов многомерной регрессии в окне радиуса $R = 63$ км: 1 – границы угольных районов Южно-Якутского угольного бассейна; 2 – изолинии глубин фундамента Южно-Якутского угольного бассейна; 3 – изолиния глубины фундамента 2000 м

Таким образом, анализ вариантов моделирования показал непротиворечивость геологического содержания получаемых вариантов моделей и возможность интерактивного управления процессом моделирования для экспертной оптимизации конечных результатов. Применена информационная технология моделирования целевых геологических параметров, основанная на использовании комплекса геолого-геофизических данных и современных программных средств (специализированных – OKAP_28_Large и геоинфор-

мационной системы ArcGIS). Получены непротиворечивые независимые оценки глубин и тектонических структур фундамента как для основных угленосных районов Южно-Якутского угольного бассейна, так и для прилегающих площадей его обрамления. Выявленные геолого-структурные закономерности могут быть использованы в качестве самостоятельного информационного блока при прогнозе угленосности слабоизученных территорий Южно-Якутского угольного бассейна.

Литература

1. Угольная база России. Т. V, кн. 2: Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). М., 1999. 638 с.
2. Власов В.М. Строение и условия образования угленосной формации Южно-Якутского бассейна. Л., 1983.
3. Гребенников Г.А. Новые представления об условиях формирования и формационной принадлежности угленосных отложений Южно-Якутского бассейна // Тез. докл. VI Всесоюз. угольн. совещ. Ч. I. Львов, 1980.
4. Свидетельство ФАИС № 2013617557 от 20.08.2013 г. Программный комплекс ОКАР – «Обработка, корреляция, аппроксимация, распознавание» / Б.И. Журбицкий, Г.А. Жбанков. ВНИГРИуголь.

References

1. *Ugol'naya baza Rossii. T. V, kn. 2: Ugol'nye basseiny i mestorozhdeniya Dal'nego Vostoka Rossii (Respublika*

Sakha, Severo-Vostok, o. Sakhalin, p-ov Kamchatka) [Coal Russian base. Vol. 5, b. 2: Coal basins and deposits of the Far East of Russia (Republic of Sakha, Northeast, i. Sakhalin, p. Kamchatka)]. Moscow, 1999, 638 p.

2. Vlasov V.M. *Stroenie i usloviya obrazovaniya uglenosnoi formatsii Yuzhno-Yakutskogo basseina* [The structure and conditions of formation of coal-bearing formations of South-Yakutia basin]. Leningrad, 1983.
3. Grebennikov G.A. [New ideas about the conditions of formation and formation type of coal-bearing deposits of the South Yakutia Basin]. *Tez. dokl. VI Vsesoyuz. ugol'n. soveshch.* [Proc. rep. VI All-Union. coal. conference]. P. I. Lvov, 1980.
4. Zhurbitskii B.I., Zhibankov G.A. *Programmnyi kompleks OKAR – «Obrabotka, korrelyatsiya, approksimatsiya, raspoznavanie»* [Program complex IKAR – «Processing, correlation, approximation, recognition»]. VNIIGRIugol'. Certificate FAIS, no 2013617557, 20.08.2013.

Поступила в редакцию

12 февраля 2016 г.