

вой зоны, выступает современная трансгрессия Каспийского моря. Существенный вклад в процессы перестроения природных комплексов, вносит и хозяйственная деятельность человека.

В настоящее время, в связи с резко обострившейся экологической ситуацией на приморских низменностях Дагестана, проведение работ по организации региональной системы геоэкологического мониторинга береговой зоны Каспийского моря является насущной необходимостью.

Необходимо охарактеризовать основные природно-территориальные комплексы побережья и подводного берегового склона, с учетом тенденций их развития на фоне трансгрессивной фазы изменения уровня Каспийского моря, выявить влияние отдельных природных, антропогенных факторов на физико-географическую и хозяйственную дифференциацию береговой зоны, составить крупномасштабные карты природных и антропогенных ландшафтов, электронные атласы территории, сформировать геоинформационные системы и т.д. С созданием геоинформационной аналитической системы может быть дана оценка экологической ситуации в рассматриваемом районе, что является основой для решения ряда важных вопросов экологии нефтегазоносных площадей. Немаловажным аспектом геоэкологических исследований является оценка сейсмической опасности. Режимом геодинамики, его направленностью и интенсивностью определяются площади затопляемых территорий, изменение береговой линии и т.д..

Типы природных бедствий на побережье контролируются современной геодинамикой и рельефом. На участках активных разломов интенсивность движений резко возрастает, что приводит к техногенным катастрофам. В местах геодинамической активности по разломам отмечаются выходы метана, происходят систематические разрывы в одних и тех же местах нефте- и газопроводов, нарушение ирригационных и транспортных систем, смещение буровых колонн и т.д..

Учитывая, что в планах развития экономики Республики Дагестан и других прикаспийских государств намечаются масштабные разведка, добыча, переработка и транспортировка углеводородного сырья (нефть, газ, нефтепродукты) следует подчеркнуть, что недоучет геодинамического риска чреват в будущем крупными экологическими катастрофами.

Освоению новых месторождений, строительству новых нефте- и газопроводов по дну и побережью Каспийского моря должна предшествовать, в том числе и эколого-геодинамическая экспертиза с целью оценки возможных природных техногенных катастроф; разработки мер по ослаблению их последствий; организации регионального и локального мониторинга.

Главной особенностью современного этапа развития дистанционного мониторинга являются разработка и использование новых технических средств сбора и обработки информации. Геоэкологический мониторинг в силу большого объема и сложности задач обработки данных должен опираться на эффективные технологии. В настоящее время они связываются с разработкой и внедрением разного рода географических информационных систем (ГИС), в том числе интегрированных ГИС, синтезирующих методы обработки традиционных ГИС с методами дистанционного зондирования (АКС).

Одним из основных потребителей таких данных являются лица и организации, принимающие решения на всех уровнях управления. Созданная региональная геоинформационная аналитическая система рационального природопользования, мониторинга окружающей среды и предупреждения чрезвычайных ситуаций на территории приморских низменностей Республики Дагестана может быть использована также при проведении поисково-разведочных работ на нефть, газ, рудные и нерудные полезные ископаемые, геоэкологической оценке территорий, проведении экологической экспертизы, геоэкологического мониторинга, создании региональной и локальной ГИС, дешифрировании материалов аэрокосмической съемки и прогнозировании чрезвычайных ситуаций. Все вышеизложенное позволит определить характер экологических и природно-хозяйственных изменений, происходящих в бассейне Каспия, последствий этих изменений для жизнедеятельности и здоровья людей, совершенствовать уровень экологической безопасности населения, решать вопросы формирования экологической и природоохранной политики в регионе.

О применении приближенных математических методов для обработки данных геотермической разведки

*Ф.М.Коркмасов
ИПГ ДНЦ РАН*

Геотермическая разведка (терморазведка) объединяет физические методы исследования теплового поля Земли с целью изучения ландшафтов, термического режима земной коры и верхней мантии, выявления геотермических ресурсов, решения поисково-разведочных и инженерно-гидрологических задач. При терморазведке регистрируют тепловое излучение земной поверхности, измеряют температуру, ее вертикальный градиент и тепловой поток. Распределение этих параметров в плане и по глубине несет информацию о термических условиях и геологическом строении изучаемой территории.

Региональные термические исследования служат для выявления термического режима и состояния недр Земли, что является важным источником информации для геофизики и теоретической геологии. Практически эти исследования направлены на изучение геотермических ресурсов и выявления участков,

перспективных для использования глубинного тепла в качестве источника энергии. Одной из важных задач терморазведки является разработка методологии картирования теплового поля у поверхности в регионе, в частности в Дагестане, с широким разнообразием изменчивости географической среды, сложным горно-равнинным рельефом и структурно-тектоническими особенностями. В таких условиях, когда территория охвачена очень нерегулярной сетью скважин, где определяются значения тепловых потоков, а в высокогорной местности такие определения практически отсутствуют, построить карту теплового поля очень трудно.

Немаловажное значение в построении региональных карт теплового потока является изучение взаимосвязей теплового потока с дневным рельефом в пределах одной географической зоны. В связи с этим рассмотрим следующую задачу.

Пусть дана некоторая разведывательная площадь S в пределах одной географической зоны и каждой точке (x_i, y_i) этой площади поставлено в соответствие вполне определенное значение теплового потока. Для построения на данной площади карты теплового поля необходимо построить изолинии теплового поля. В связи с этим возникает необходимость построения графика распределения значений тепловых потоков в точках $(x_i, y_i) \in S$ в зависимости от их высоты над уровнем моря.

Пусть $T = f(h)$ ($0 \leq h \leq H$) – функция, описывающая распределение теплового потока по высоте h . Задача состоит в том, чтобы по выбранным определенным способом значениям функции $T_i = f(h_i) = f(x_i, y_i; h_i)$ ($i = 1, 2, \dots, N$) в точках (x_i, y_i) , находящихся на высотах h_1, h_2, \dots, h_N над уровнем моря, восстановить ее значения для всех $h \in [0, H]$. Будем предполагать, что $f(h)$ непрерывная и гладкая на $[0, H]$ функция. Сделаем замену переменной $h = \frac{H}{2}(z + 1)$, которая линейно и взаимно однозначно отображает отрезок $[-1, 1]$ изменения z на отрезок $[0, H]$ изменения h . Тогда функция $F(z) = f\left(\frac{H}{2}(z + 1)\right)$ будет определена и непрерывна для $z \in [-1, 1]$. Вычислим значения функции $F(z)$ в точках $\{z_i\}_{i=1}^N$, являющихся нулями многочлена Лежандра $P_N(z)$. Составим для $F(z)$ дискретную частную сумму Фурье–Лежандра порядка $n \leq N - 1$ [1]

$$S_{n,N}(F, z) = \sum_{k=0}^n \lambda_{k,N} \mathcal{F}_k(z), \quad (1)$$

где $\lambda_{k,N} = \sum_{i=1}^N \mu_i F(z_i) \mathcal{F}_k(z_i)$ – дискретные коэффициенты Фурье–Лежандра, $\mu_i = \frac{2}{(1 - z_i^2) (P'_N(z_i))^2}$ – числа Кристоффеля (узлы квадратурной формулы Гаусса), $\mathcal{F}_k(z) = \sqrt{\frac{2k+1}{2}} P_k(z)$ – нормированные многочлены Лежандра.

В работе [2] нами доказано, что если функция $F(z)$ имеет всюду $[-1, 1]$ непрерывную производную, то $|F(z) - S_{n,N}(F, z)| = O(n^{-1/2})$ при $n, N \rightarrow \infty$.

Перейдем обратно к переменной h , сделав замену $z = \frac{2h}{H} - 1$. Получим

$$|f(h) - R_{n,N}(f, h)| \rightarrow 0, \quad (2)$$

где

$$R_{n,N}(f, h) = S_{n,N}\left(f, \frac{2h}{H} - 1\right) = \sum_{k=0}^n \lambda_{k,N} \mathcal{F}_k\left(\frac{2h}{H} - 1\right), \quad (3)$$

$$\lambda_{k,N} = \sum_{i=1}^N \mu_i f(h_i) \mathcal{F}_k\left(\frac{2h_i}{H} - 1\right), \quad (4)$$

$$h_i = \frac{H}{2}(z_i + 1). \quad (5)$$

Резюмируя вышесказанное, можно утверждать, что, вычисляя значения теплового потока в точках, расположенных на высотах $h_i = \frac{H}{2}(z_i + 1)$, $i = 1, 2, \dots, N$, с помощью дискретных сумм Фурье–Лежандра можно с достаточно хорошей точностью восстановить значения функции $T = f(h)$, описы-

вающей распределение теплового потока, на всем промежутке $[0, H]$.

В качестве примера приведем следующую ситуацию. Предположим, что функция, описывающая распределение теплового потока по высоте h , имеет вид $T = f(h) = 2h + h\cos(h) + 40$ ($0 \leq h \leq 6$). Рассмотрим два случая, когда значения функции вычисляются, соответственно, в пяти и семи точках, расположенных на высотах $h_i = 3(z_i + 1)$.

В качестве аппарата приближения для этой функции выберем дискретные суммы Фурье–Лежандра (3). На рис.1,2 представлены графики функции $T = f(h) = 2h + h\cos(h) + 40$ и $R_{n,N}(f, h)$ для случаев $N=5$ ($n=4$) и $N=7$ ($n=6$).

Как видно из табл.1 отклонение значений $R_{n,N}(f, h)$ от значения функции $T = f(h) = 2h + h\cos(h) + 40$ в точках 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5 в случае $N=5$ не превышает $0,35$ мВт/м², а уже при $N=7$ – $0,03$ мВт/м².

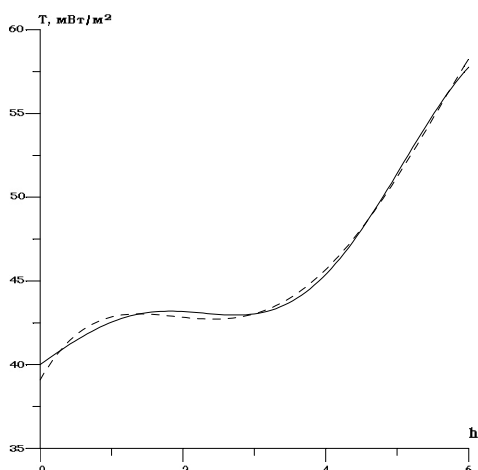


Рис.1. Графики функции $T = 2h + h\cos(h) + 40$ и суммы $R_{4,5}(f, h)$, соответствующей фиксированным высотам $\{h_i\}_{i=1}^5$ (пунктирная линия).

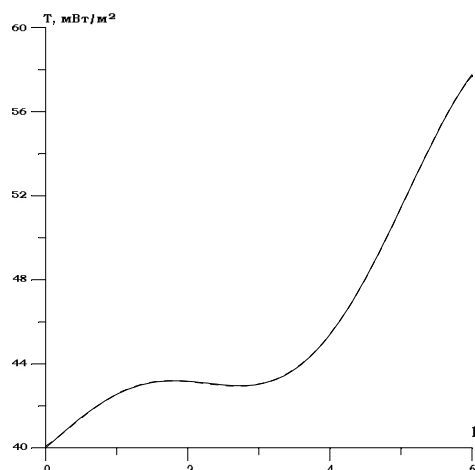


Рис.2. Графики функции $T = 2h + h\cos(h) + 40$ и суммы $R_{6,7}(f, h)$, соответствующей фиксированным высотам $\{h_i\}_{i=1}^7$ (пунктирная линия).

Таблица 1

h	Значение разности $ f(h) - R_{4,5}(f, h) $ в точке h	Значение разности $ f(h) - R_{6,7}(f, h) $ в точке h
1	0,304437867676448	0,021939956696059
1,5	0,091794483807306	0,020669597803909
2	0,343365286941598	0,015474596852229
2,5	0,278435259198218	0,025926705028667
3	0,00000000001336	0,00000000001336
3,5	0,257247916887707	0,025023393640254
4	0,292260076522254	0,014407380376667
4,5	0,071551581370251	0,018543689768535
5	0,215226173701900	0,018935877730527
5,5	0,203333945819764	0,026043579361712

Изложенный нами подход может быть реализован не только в прикладных задачах геотермальной разведки (построение карт изотерм для одинаковых глубин, карт средних геотермических градиентов и т.д.), но и гравиразведки, магниторазведки, сейсморазведки и др., связанных с построением зависимостей параметров (градиенты силы тяжести и геомагнитного поля, скорость упругих волн и др.), один из которых определен дискретным множеством значений.

Литература

1. Коркмасов Ф.М. Аппроксимативные свойства средних Валле–Пуассена для дискретных сумм Фурье–Якоби // Сибирский математический журнал. 2004. Т. 45. №2. С.334–355.
2. Коркмасов Ф.М. Аппроксимативные свойства дискретных сумм Фурье–Якоби // Вестник молодых ученых №1. 2005. С.15–25.