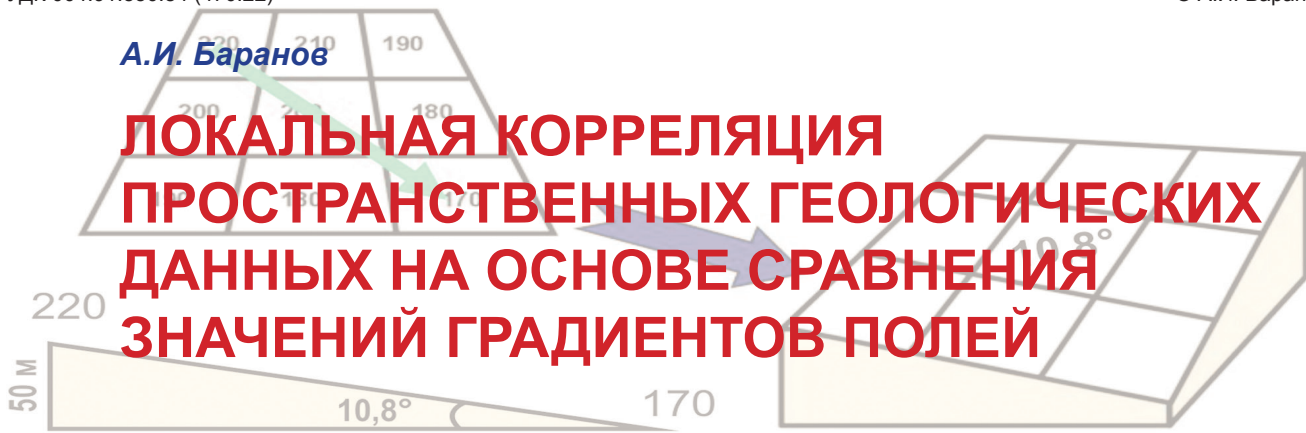


УДК 004:91:550.84 (470.22)

© А.И. Баранов

А.И. Баранов

ЛОКАЛЬНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ГРАДИЕНТОВ ПОЛЕЙ



Введение

В геологии широко и повсеместно используются разнообразные методы оценки взаимной связи между различными геологическими показателями, в частности содержаниями химических элементов (ХЭ), значениями геофизических полей, мощностью пласта, глубиной залегания рудной залежи и т.п. Взаимная зависимость, называемая корреляцией, представляет собой согласованное изменение двух переменных [2]. Для выявления корреляционных связей применяются различные статистические критерии: парная корреляция, регрессионный анализ, метод главных компонент, факторный и кластерный анализы и пр. Один из наиболее широко применяемых и простых критериев – парная корреляция – позволяет быстро и надежно определять наличие и силу взаимной зависимости двух переменных. При всех достоинствах этот критерий имеет ряд недостатков, которые проявляются при работе с пространственно распределенными данными (данными площадной геохимической или геофизической съемки):

- 1) корреляция позволяет выявлять только линейную связь между переменными, хотя реальные геологические связи бывают куда более сложными и часто вообще не могут быть надежно аппроксимированы какими-либо типовыми зависимостями;
- 2) чем больше площадь работ, тем она более разнородна и дифференцирована (по составу и строению геологического основания, мощности рыхлых отложений, рельефу, типам растительности, почв, четвертичных отложений и т.д.), вследствие чего на характер и силу взаимных связей влияет большее число всевозможных факторов. За счет этого реальные природные зависимости, как правило, ослабевают и искажаются. По многолетнему опыту геохимических работ можно сказать, что интерпретация таких данных весьма затруднительна;

- 3) при большой выборке измерений (а в геохимии и геофизике они обычно большие – несколько сотен и более) существенно снижается критическое значение коэффициента парной корреляции ($R_{\text{крит.}}$), благодаря чему появляется избыточное количество слабых положительных связей (значительная часть матрицы коэффициентов парной корреляции состоит из значений выше $R_{\text{крит.}}$);
- 4) парная корреляция может выдавать ложные связи в случае неоднородности выборки. В таких условиях необходимо проводить ее разбиение на однородные подвыборки и проводить расчеты для каждой из них отдельно;
- 5) отсутствует возможность получения пространственной составляющей корреляционной зависимости, т.е. интенсивности связи в зависимости от местоположения.

В целом же, будучи простым и удобным, корреляционный анализ недостаточно гибок и универсален, а главное – он не позволяет выявлять пространственную составляющую корреляционной связи. Данная проблема отмечалась в свое время еще В.С. Певзнером и Ю.К. Бурковым [7]. Авторы предлагали рассчитывать значения коэффициента парной корреляции в пределах скользящего окна, однако никаких точных указаний по выбору параметров окна и количества расчетных точек не привели. В то же время при таком подходе в расчет локального коэффициента корреляции попадут как точки, расположенные вблизи расчетного местоположения, так и удаленные от него, что нарушает основной принцип географии, который гласит, что чем ближе расположены друг к другу объекты, тем большей схожестью они должны обладать [5]. Например, в поисковой геохимии нередко явление, когда содержания ХЭ в соседних точках отличаются на 2-3 порядка. Поэтому для объективной оценки локальной корреляции из-за большого разброса расстояний скользящее окно является не самым подходящим решением. В связи с этим появилась и была

реализована идея о разработке принципа и алгоритма расчета локальных корреляций, не обремененных подобными недостатками.

Понятие градиента применительно к теории локальной корреляции

Любую пространственную переменную можно рассматривать как непрерывное скалярное поле (которым она по сути и является). Любое непрерывное скалярное поле в любой его точке можно охарактеризовать градиентом, который, как известно, обозначает направление наибольшей изменчивости (возрастания или убывания) данной переменной [3]. Градиент – это вектор, который характеризуется азимутом (углом) направления наибольшей изменчивости и степенью изменчивости, т.е. разницей значений переменной в двух точках пространства, между которыми измеряется градиент. Для расчета угла направления используется какое-то фиксированное нулевое направление, чаще всего на север. Если же немного отойти от строгого определения градиента, то разницу значений можно представить как угол наклона поверхности поля в данной точке к поверхности горизонта (т.е. к 0°). Таким образом, рассматривая поле переменной как непрерывную, плавно изменяющуюся поверхность, для каждой его точки мы всегда можем рассчитать два угла, которые, по аналогии с поверхностями рельефа, будем называть *экспозицией* (от 0 до 360°) и *уклоном* (от 0 до 90°). Ввиду объективных причин вместо точки будем работать с ячейкой поверхности достаточно малого размера. С позиции геоинформатики эта поверхность представляет собой растр, имеющий определенное (достаточное для решения задачи)

разрешение и размер ячейки. Иллюстрация данных умозаключений приведена на рис. 1.

Возвращаясь к понятию корреляция, отметим, что она представляет собой меру **согласованного** изменения значений двух переменных, в нашем случае – пространственных переменных. Эту согласованность *можно* охарактеризовать равенством (или близостью) градиентов изменения их значений в пространстве, что позволяет сопоставлять две величины путем сравнения образованных ими поверхностей через градиенты, а именно через пары углов экспозиции и уклона, для любой точки пространства, в которой данные переменные определены. Для более удобного и универсального их сравнения величина, характеризующая схожесть градиентов, должна быть безразмерной и принимать значения от -1 до +1, т.е. представлять собой аналог коэффициента парной корреляции. Назовем эту величину *коэффициентом локальной корреляции* ($K_{л}$). $K_{л}$, равный -1, должен характеризовать сильную отрицательную связь, +1 – сильную положительную связь, а 0 – отсутствие связи между параметрами. Если рассчитать $K_{л}$ для каждой ячейки поверхности, получим корреляционную поверхность, отражающую географическое распределение корреляционных связей двух величин.

Математическая сущность локальной корреляции

Пусть имеется два пространственных параметра (например, содержания двух ХЭ), параметр **A** и параметр **B**, для которых необходимо вычислить локальную корреляцию. Они должны иметь единое пространственное разрешение. В каждой точке поля обоих параметров помимо собственно значений

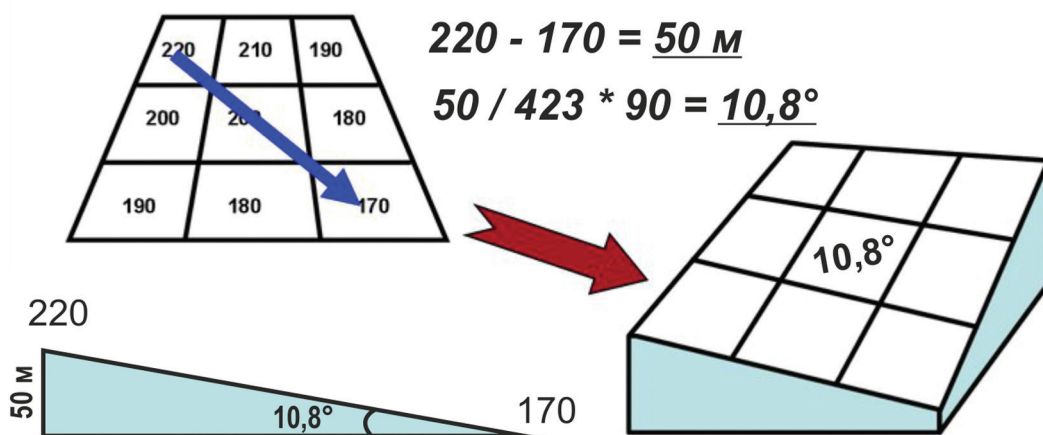


Рис. 1. Иллюстрация соответствия двух подходов к определению понятия «градиент»: в виде угла наклона поверхности и в виде разницы значений

Fig. 1. Illustration of the two approaches correspondence to the definition of the concept «gradient»: as a slope angle and as a values difference

определены углы экспозиции (θ_A и θ_B) и уклона (φ_A и φ_B). Признаком локального сходства-различия двух параметров будет являться разница в соответствующих значениях:

$$\Delta\theta = \theta_A - \theta_B, \tag{1}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B. \tag{2}$$

Таким образом, мы получаем значения двух углов:

- 1) $\Delta\theta$ – меняется в пределах от 0 до 180° (от 0 до π рад) и характеризует разницу в направлениях наибольшего наклона поверхностей;
- 2) $\Delta\varphi$ – меняется от 0 до 90° (от 0 до $\pi/2$ рад) и характеризует разницу в самих значениях наклонов.

Учитывая, что мы, во-первых, работаем с углами, а во-вторых, нам надо получить значения коэффициента локальной корреляции, непрерывно и плавно меняющегося от -1 до +1, целесообразно использовать тригонометрические функциональные зависимости. Отталкиваясь от предполагаемой формы функциональной зависимости, приходим к следующим формулам (рис. 2):

$$f_1(\Delta\theta) = \cos(\Delta\theta) - \text{изменяется от } -1 \text{ до } +1$$

$$f_2(\Delta\varphi) = \cos(2\Delta\varphi + 1)/2 - \text{изменяется от } 0 \text{ до } +1$$

$\Delta\theta$ показывает наличие взаимной связи между параметрами, а $\Delta\varphi$ – силу этой связи. В реальности $\Delta\theta$ может колебаться в пределах от -360 до +360° (а не от 0 до 180), но с учетом того, что мы используем косинус, этот аспект можно проигнорировать ввиду симметричности функции относительно 0° и относительно 180° (0 и π рад). То же самое касается $\Delta\varphi$, который на самом деле может принимать значения от -90 до +90°, но имеет симметрию относительно 0° и 90° (0 и $\pi/2$ рад). Эти замечания важны для последующей алгоритмизации.

Результирующая функция, значение которой мы будем использовать в качестве искомого показателя коррелированности (значение K_L), должна быть функционально зависима от обеих функций. Такая зависимость отражена в их произведении (рис. 3):

$$F(f_1, f_2) = F(\Delta\theta, \Delta\varphi) = f_1 \cdot f_2 = \cos(\Delta\theta) \cdot \cos(2\Delta\varphi + 1)/2 \tag{3}$$

Таким образом, после нахождения разностей соответствующих углов мы с помощью несложных вычислений получаем итоговую поверхность, значения в каждой точке которой будут отражать степень коррелированности двух переменных.

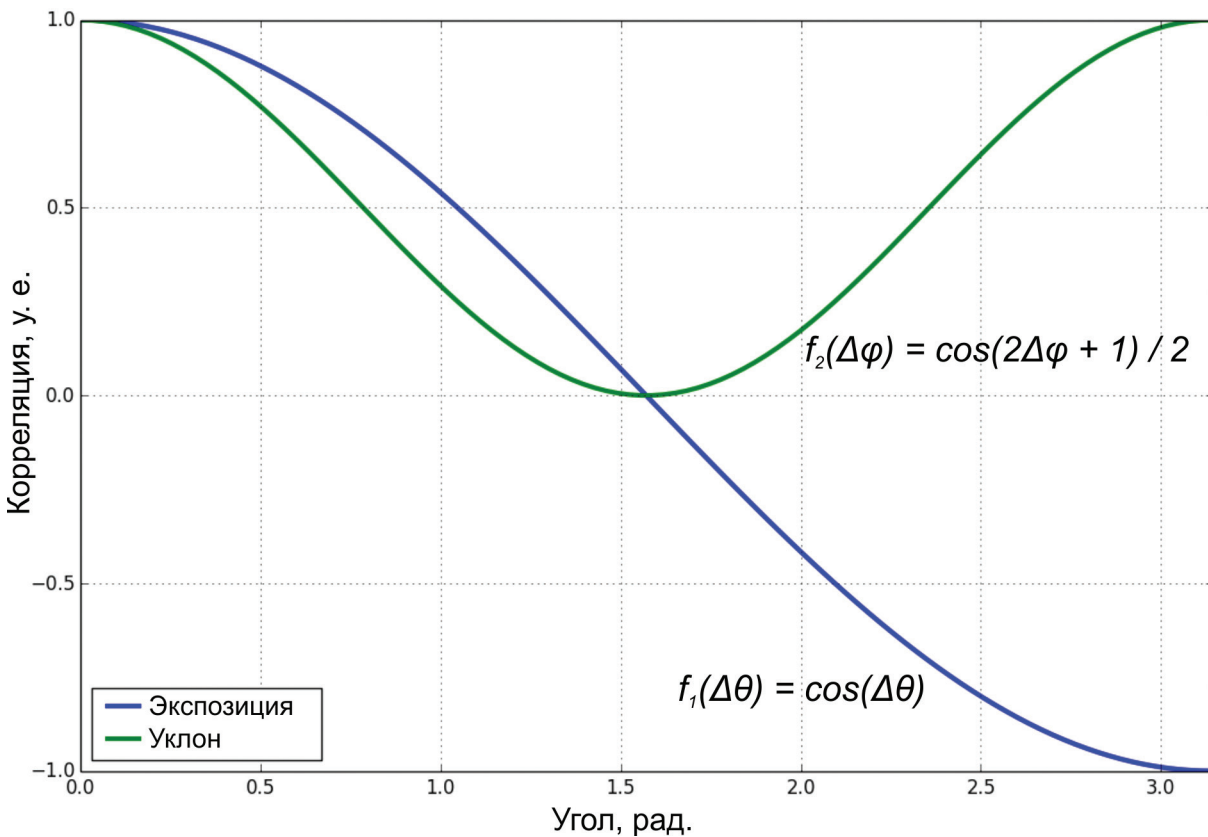


Рис. 2. Зависимость коэффициента локальной корреляции от разницы экспозиций и уклонов

Fig. 2. Dependence of the local correlation coefficient on the difference of exposures and slopes

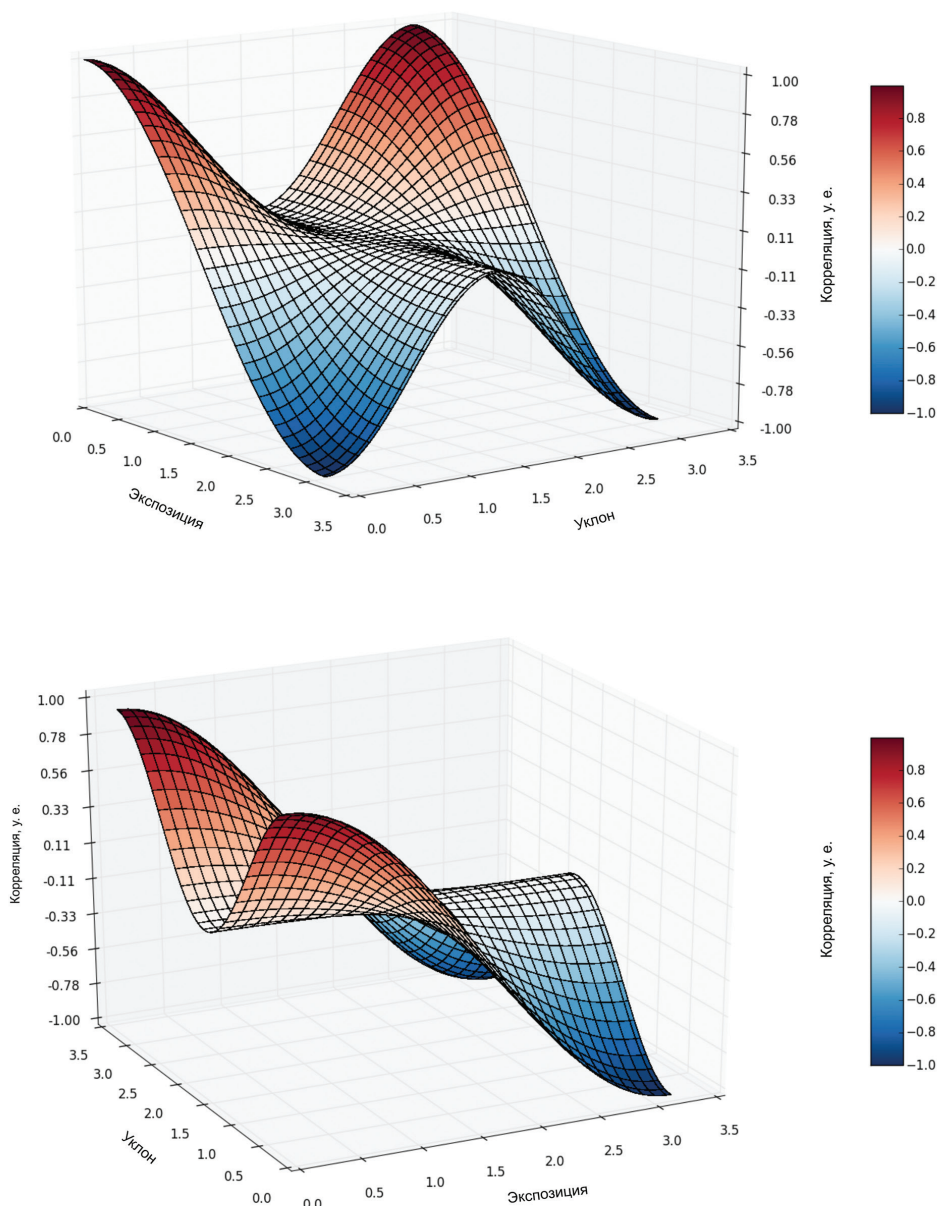


Рис. 3. Результирующая поверхность зависимости коэффициента локальной корреляции от разницы углов экспозиции и уклона (с разных ракурсов)

Fig. 3. The resulting surface of the local correlation coefficient dependence on the difference of exposition angles and slope (from different perspectives)

Для объективного расчета градиента необходима ячейка поверхности удовлетворительного размера, который напрямую связан с масштабом съемки. С одной стороны, ячейка должна быть достаточно мелкой, чтобы получить гладкую поверхность, с другой – достаточно крупной, чтобы при расчете корреляции на результат не оказывали влияние локальные шумы. Очевидно, что минимальный размер ячейки, в пределах которой мы можем делать достоверный прогноз, составляет половину шага съемки. Такое разрешение возьмем за основу при построении предварительной корреляционной поверхности, для чего исходные интерполированные поверхности должны

иметь такое же разрешение. В зависимости от целей можно использовать и другое разрешение, но все же не рекомендуется делать его слишком большим или слишком маленьким ввиду потенциальной потери ключевой информации.

На данном шаге в принципе можно остановиться, но полученная корреляционная поверхность ввиду низкого разрешения будет слишком грубой, а потому не очень удобной в работе, в связи с чем к полученной поверхности желательно применить осредняющее сглаживание. Наиболее оптимальным будет выбор размера ячейки результирующей поверхности в 1/10 от шага съемки, для чего надо

увеличить разрешение предварительной поверхности в 5 раз, а затем «пройтись» по ней скользящим окном с радиусом 1/2.

Практическая реализация алгоритма

Вся обработка и алгоритмизация проводилась в программе ArcGIS. Первичные поверхности переводятся в растровый формат с требуемым разрешением. Они и послужат исходными данными для всех последующих расчетов. В общем случае источник первичных данных не имеет значения, главное, чтобы это были растровые поверхности с одинаковым разрешением.

Для реализации описанного выше алгоритма на языке программирования Python был создан специальный инструмент, который в качестве входных данных получает растровые поверхности со значениями каких-либо параметров, а на выходе создает растровые поверхности значений коэффициента локальной корреляции. Для расчета поверхностей углов используются встроенные инструменты «Экспозиция» и «Уклон» (модуль Spatial Analyst), которые впоследствии пересчитываются в соответствии с приведенными выше формулами при помощи калькулятора растров.

Далее увеличивается разрешение (инструмент «Изменить разрешение» с методом пересчета «ближайшая окрестность») и проводится сглаживание с помощью инструмента «Фокальная статистика» (модуль Spatial Analyst). Принципиальная схема работы инструмента представлена на рис. 4.

Исходные данные

В качестве опытного полигона выбрана т.н. Заонежская площадь (номенклатурный лист Р-36-ХVII), на нем в 2011-2012 гг. проводилась литохимическая съемка (рис. 5) по наложенным вторичным ореолам рассеяния с применением метода анализа сверхтонкой фракции [1] масштаба 1:200 000 (сеть 1×1 км). На трех небольших участках проводилась более детальная съемка (500×500 м), однако в контур исследуемой территории попал лишь один из них. Работы выполнялись в рамках создания Опережающей геохимической основы по листу Р-36-ХVII и в исследовательских целях – для отработки методики на закрытых и полузакрытых территориях, перекрытых моренно-ледниковыми отложениями.

В общей сложности в пределах листа Р-36-ХVII было отобрано 2579 проб рыхлых отложений.

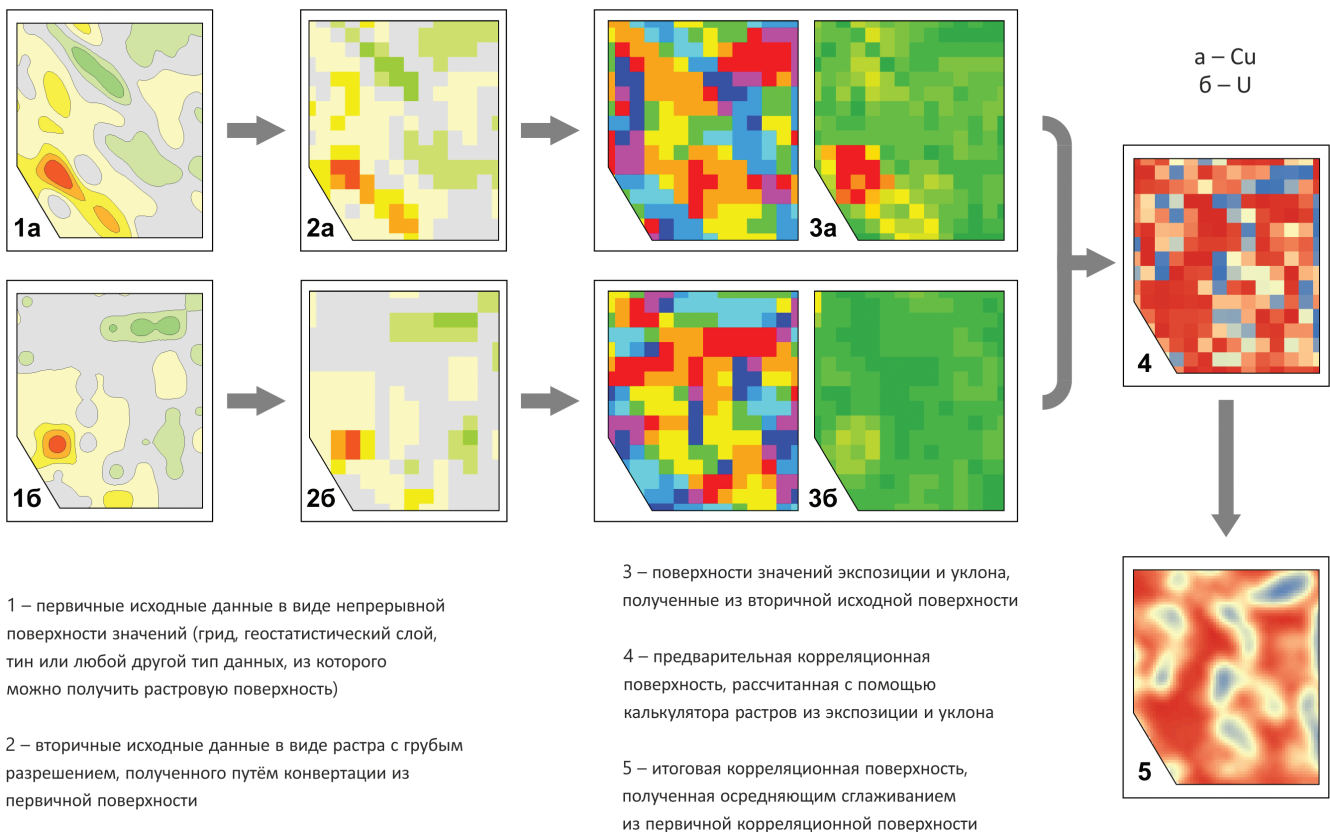


Рис. 4. Схематическая последовательность действий при создании корреляционной поверхности

Fig. 4. Schematic sequence of actions in the correlative surface creation

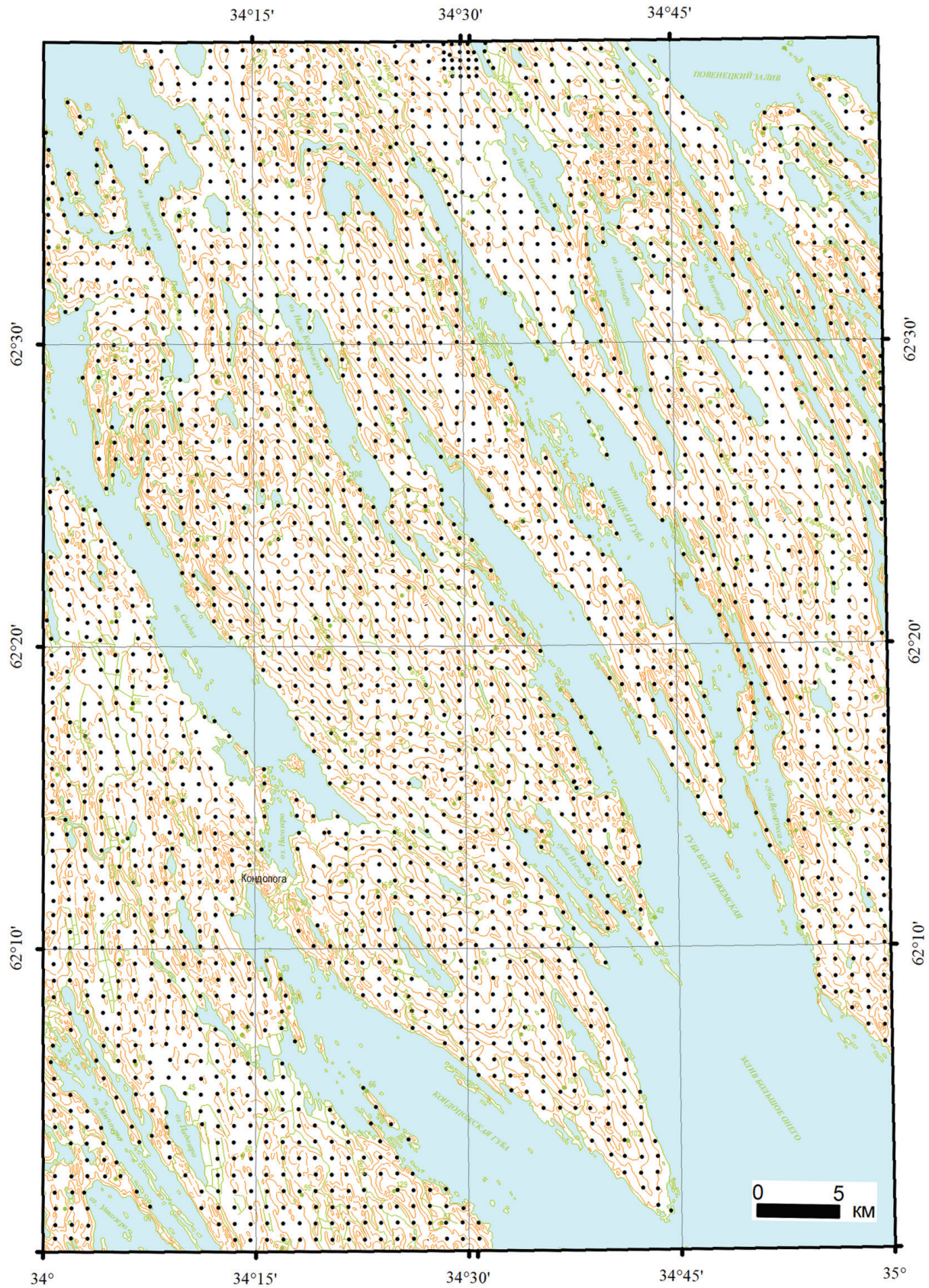


Рис. 5. Схема расположения пунктов литохимического опробования по наложенным вторичным ореолам рассеяния в пределах листа Р-36-ХVII

Fig. 5. Sketch-map of the lithochemical sampling points location after secondary dispersion halos on P-36-XVII map sheet

Во всех пробах с использованием метода ICP-MS (разложение в «царской водке») были определены содержания 22 химических элементов (ХЭ). Все анализы и пробоподготовка проводились в Центральной аналитической лаборатории ВСЕГЕИ. Список элементов и их пределы обнаружения приведены в табл. 1.

По всем ХЭ построены карты содержаний во вторичных ореолах рассеяния. В качестве примера рассмотрим лишь Cu и U (рис. 6). Выбор именно этих ХЭ связан, во-первых, с металлогеническими особенностями данной территории, а во-вторых, с тем, что они хорошо определяются методом ICP-MS и хорошо показали себя во вторичных ореолах. Карты построены в программе ESRI ArcGIS интерполяцией ординарным кригингом (модуль Geostatistical Analyst) по исходным точечным данным.

Геологическая характеристика территории исследования

Заонежская площадь расположена в пределах северной части Онежского прогиба, который представляет собой брахиформную синклинорную структуру раннепротерозойского возраста, залегающую на архейском гранито-гнейсовом фундаменте в южной части Балтийского щита и сформировавшуюся в течение протоорогенного и субплатформенного этапов развития территории. Основание прогиба представляет собой гранито-гнейсовый

фундамент саамийско-лопийского возраста, а сам прогиб заполнен осадочно-вулканогенными отложениями ятулийско-вепсийского возраста [6] (рис. 7).

На территории Онежского прогиба широким развитием пользуются нижнепротерозойские осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные стратифицированные отложения, прорванные позднепротерозойскими силлами и дайками габбро-диабазов и перекрытые плащом рыхлых четвертичных отложений. Ятулийско-людиковийские отложения представлены карбонатными породами и сланцами, которые перекрываются глинисто-карбонатными, алеврито-глинистыми и шунгито-глинистыми сланцами, различными порфиритами, туфосланцами и туфопесчаниками. К образованиям калевийско-вепсийского времени относятся разнообразные по составу кварцито-песчаники (в том числе вулканогенные), конгломераты, алевролиты, аргиллиты. Повсеместно распространенные четвертичные отложения переменной мощности – по большей части моренные и торфяно-болотные.

Интрузивные образования развиты довольно широко и представлены силлами и дайками габбро-долеритов (как правило, трудно отличимых от покровов базальтов), в меньшей мере – перидотитов. Интрузии приурочены к двум разновременным интрузивным комплексам людиковийского возраста. По вещественному составу интрузии являются

Таблица 1

Пределы обнаружения элементов при анализе методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS)

The detection limits of chemical elements in the analysis by mass spectrometry with inductively coupled plasma method (ICP-MS)

ХЭ	Ед. изм.	Предел обнаружения	ХЭ	Ед. изм.	Предел обнаружения
TiO ₂	%	0,001	Ag	г/т	0,01
V	г/т	2,5	Sn	г/т	0,2
Cr	г/т	1	Sb	г/т	0,1
MnO	%	0,0002	Ba	г/т	3
Co	г/т	0,5	Pb	г/т	1
Ni	г/т	1	Bi	г/т	0,1
Cu	г/т	1	U	г/т	0,1
Zn	г/т	1	Pd	г/т	0,002
As	г/т	1	Pt	г/т	0,002
Se	г/т	0,3	Au	г/т	0,002
Mo	г/т	0,6	Hg	г/т	0,015

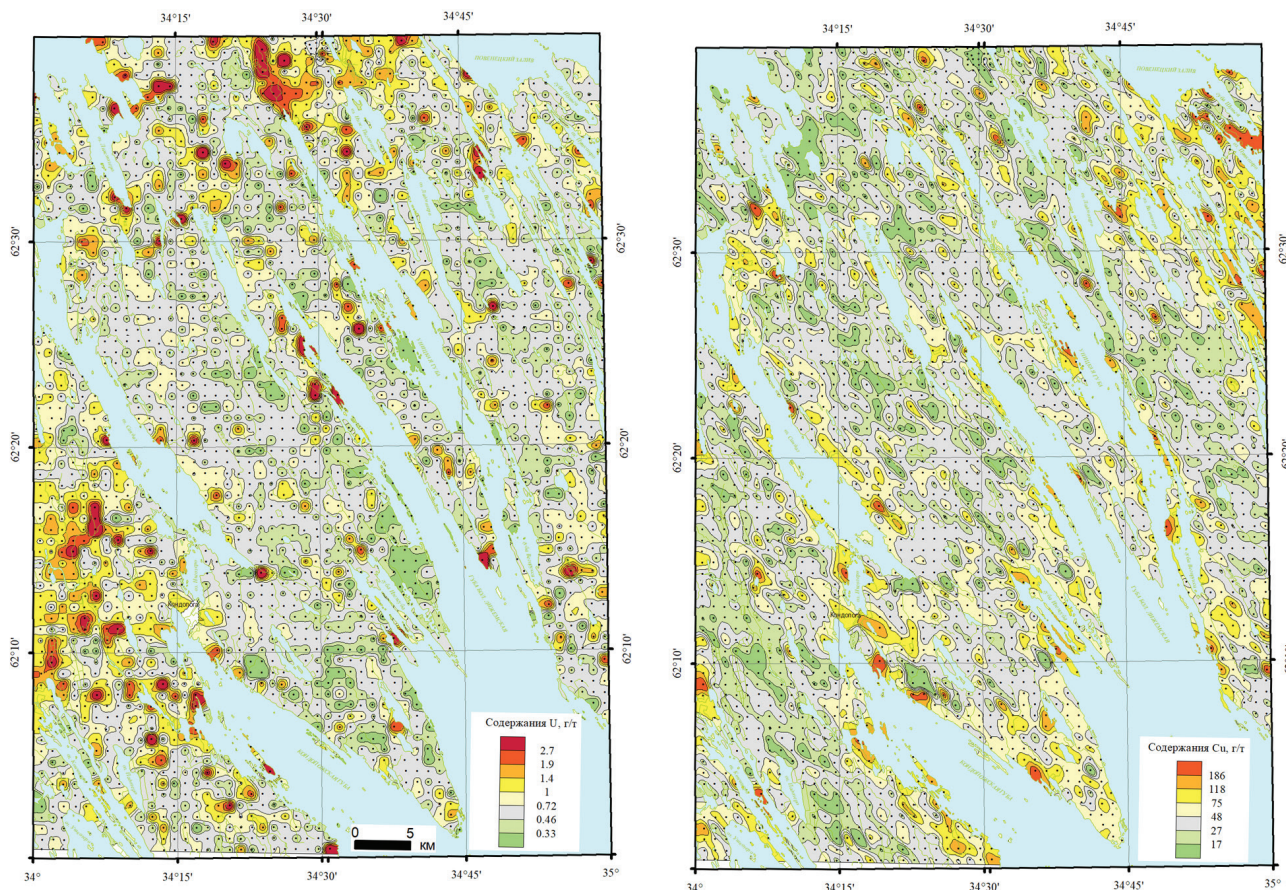


Рис. 6. Карты вторичных ореолов рассеяния U и Cu

Fig. 6. Maps of U and Cu secondary dispersion halos

аналогами соответствующих вулканических пород (базальтов и им подобных).

Северо-Онежский синклиорий, к которому приурочена изучаемая территория, является частью крупной структуры – Карельского кратона. Северо-Онежский синклиорий – это сложно построенная мульдообразная структура, выполненная вулканогенно-осадочными отложениями палеопротерозоя. В то время Онежская структура представляла собой обширный и длительно развивающийся бассейн. В настоящее время осадочные образования слабо дислоцированы и метаморфизованы до уровня филлитовой фации. Ключевая особенность синклиория – наличие зон складчато-разрывных дислокаций (СРД) – широких зон северо-западного простирания, развитых исключительно в его пределах и контролирующих размещение U-V оруденения.

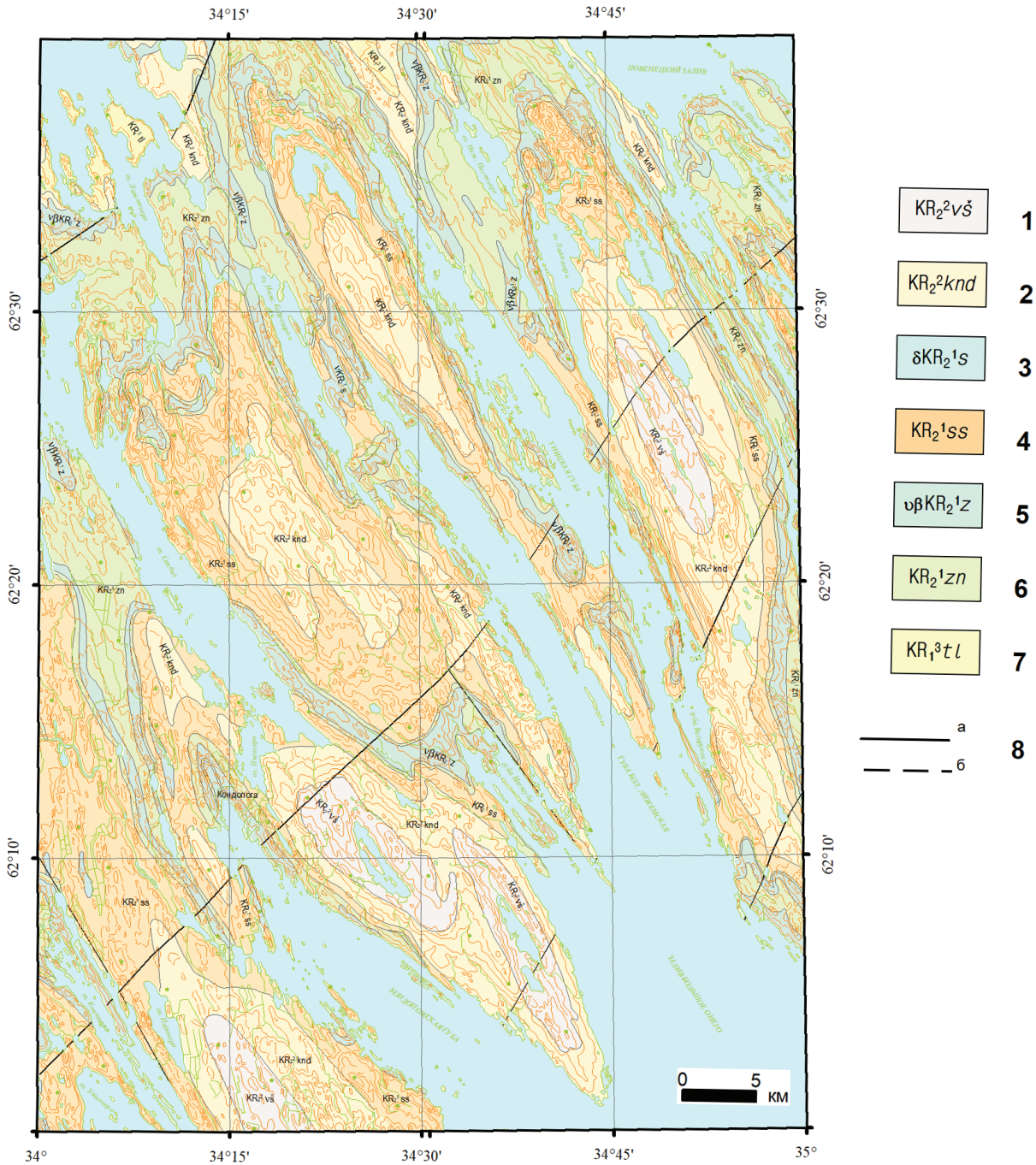
В пределах зон СРД проявлены гидротермально-метасоматические образования (ГМО) субщелочного характера, которые развиты в следующей последовательности: альбититы (эйситы, пропициты) – слюдиты (мусковит, биотит, роскоэлит, фенгит) –

кварц-карбонатные прожилково-гнездовые образования с сульфидами. ГМО проявлены зонально, что в свою очередь отразилось на размещении рудной минерализации [4]. Руды богатые и включают широкий спектр полезных компонентов, основным среди которых является V, второстепенными U, Au, Pt, Ag и др. Самые крупные рудные объекты расположены к востоку от изучаемой территории. Это в первую очередь крупное (по запасам V) месторождение Средняя Падма, а также целый ряд более мелких месторождений и рудопроявлений [8]. В пределах листа Р-36-ХVII имеются проявления Шульгиновское (содержания Pd – до 5 г/т, Pt – до 2 г/т) и Нижнеуницкое (содержания Au – до 2,3 г/т).

Результаты

С использованием разработанной технологии построены карты значений K_L для всех пар имеющих 22 химических элементов (всего 231 карта). В качестве примера используется только карта значений K_L Cu и U (рис. 8).

Визуальное сопоставление исходных и результирующих данных позволяет убедиться в том, что



Условные обозначения:

1-7 – геологические подразделения: 1-2 – *Калевий*: 1 – Вашозерская свита (гравийные, полимиктовые песчаники, алевролиты, доломиты, силициты, алевролиты), 2 – Кондопожская свита (алевроиты, песчаники, аргиллиты, гравелиты, мелкогалечные конгломераты); 3-6 – *Людиковий*: 3 – Суйсарский комплекс (дайки, силлы, некки долеритов, пироксенитов, перидотитов, пикритов), 4 – Суйсарская свита (сланцы шунгитсодержащие, песчаники, туфы и туфобрекчии базальтов, туфоалевролиты, туфопесчаники, туфоконгломераты), 5 – Заонежский комплекс (дайки, силлы габбро-долеритов.), 6 – Заонежская свита (переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов, шунгитсодержащие туфогенные породы различной размерности, базальты, шунгитовые песчаники и алевролиты); 7 – *Ятулий*: Туломозерская свита (доломиты, алевролиты, известняки, песчаники, седиментогенные брекчии); **8 – основные разломы:** а – достоверные, б – предполагаемые.

Рис. 7. Схема геологического строения Заонежской площади

Fig. 7. Scheme of the Trans-Obninsk Area geological structure

в целом корреляционная поверхность действительно отражает взаимную локальную зависимость сравниваемых параметров.

Для аргументации правомерности и работоспособности представленной модели проведено сравнение значений коэффициентов обычной парной корреляции, рассчитанных по исходным данным (2579 измерений) с усредненными значениями коэффициентов локальной корреляции. Коэффициенты парной корреляции рассчитывались по стандартной методике [3] при помощи встроенного функционала программы MS Excel, а усредненные коэффициенты локальной корреляции – как среднее арифметическое, рассчитанное по всем ячейкам растровой корреляционной поверхности для соответствующей пары ХЭ.

Полученные значения приведены в табл. 2. Несложно заметить, что расхождения значений коэффициентов достаточно малы, что говорит о высокой сходимости результатов, что видно и на графиках (рис. 9). Следует отметить, что для некоторых ХЭ (Mo, Sb, Pt и др.) наблюдаются довольно существенные расхождения значений, что связано, вероятно, с особенностями анализов – данные элементы имеют высокий (относительно кларка) порог обнаружения и плохо диагностируются, в связи с чем представительная часть выборки по ним составляет менее 50 %. А это в свою очередь негативно влияет как на качество построенных по ним карт содержаний, так и на качество карт значений коэффициентов локальной корреляции.

Выводы

Полезность представленной в работе корреляционной модели и ее практическая значимость очевидны. Математическая модель легко алгоритмируема и может найти широкое применение не только в геологии, но и в любых других научных и прикладных сферах, которые подразумевают работу с пространственными данными. Наиболее актуально применение разработанной технологии, пожалуй, в поисковой геохимии и геоэкологии, в связи с высокими разбросами содержаний ХЭ даже в ближайших точках опробования.

Главные преимущества данного метода: получение пространственной составляющей корреляционной связи двух переменных, независимость оценки от количества измерений, локальность оценивания, возможность получения корреляционной поверхности различной детальности в зависимости от целей исследования за счет изменения пространственного разрешения.

Ключевые слова: локальная корреляция, поисковая геохимия, интерполяция, моделирование в геологии, поверхность, ГИС, Заонежье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях / С.В. Соколов, А.Г. Марченко, С.С. Шевченко, О.Н. Симонов, А.И. Стехин, О.И. Олешкевич, А.Н. Дедюхин, Т.Е. Теремецкая. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2005. – 98 с.
2. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии : в 2 кн. / пер. с англ. В.А. Голубевой ; под ред. Д.А. Родионова. – М. : Недра, 1990.
3. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии : учебник для вузов. – М. : Недра, 1990. – 251 с.
4. Кулешевич Л.В., Голубев А.И. Благороднометалльная минерализация в щелочных метасоматитах Средней Падмы Онежской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск, 2011. – Вып. 14. – С. 113-126.
5. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков : учебник. – М. : КДУ, 2008. – 422 с.
6. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минералогия) / отв. редакторы Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. – Петрозаводск : КНЦ РАН, 2011. – 431 с.
7. Певзнер В.С., Бурков Ю.К. Система обработки геохимической информации с целью прогноза месторождений полезных ископаемых. – Л. : Недра, 1976. – 20 с.
8. Полеховский Ю.С., Волошин А.В., Тарасова И.П., Пахомовский Я.А., Крецер Ю.Л. Новый тип палладийсодержащей минерализации в метасоматитах Карелии // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1991. – № 7. – С. 86-95.

REFERENCES

1. Temporary guidelines for geochemical prospecting in closed and semi-closed territories / S.V. Sokolov et al. Saint-Petersburg : VSEGEL, 2005. 98 p.
2. Davis J.C. Statistics and Data Analysis in Geology / V.A. Golubeva (English–Russian translation) Ed. D.A. Rodionov (Ed.). Vol. 1-2. Moscow, 1990.
3. Kazhdan A.B., Gus'kov O.I. Mathematical Methods in Geology : High school textbook. Moscow : Nedra, 1990. 251 p.
4. Kuleshevich L.V., Golubev A.I. Noble metals' mineralization in alkaline metasomatites of Sredn'aja Padma of Trans-Onega Area. Petrozavodsk, 2011. Vol. 14. P. 113-126.
5. Lur'e I.K. Geoinformational mapping. Geoinformatics and Digital Satellite Image Processing Methods. Textbook. Moscow : KDU, 2008. 422 p.
6. Palaeoproterozoic Onega Structure (geology, tectonics, deep structure and mineralogy) / Executive

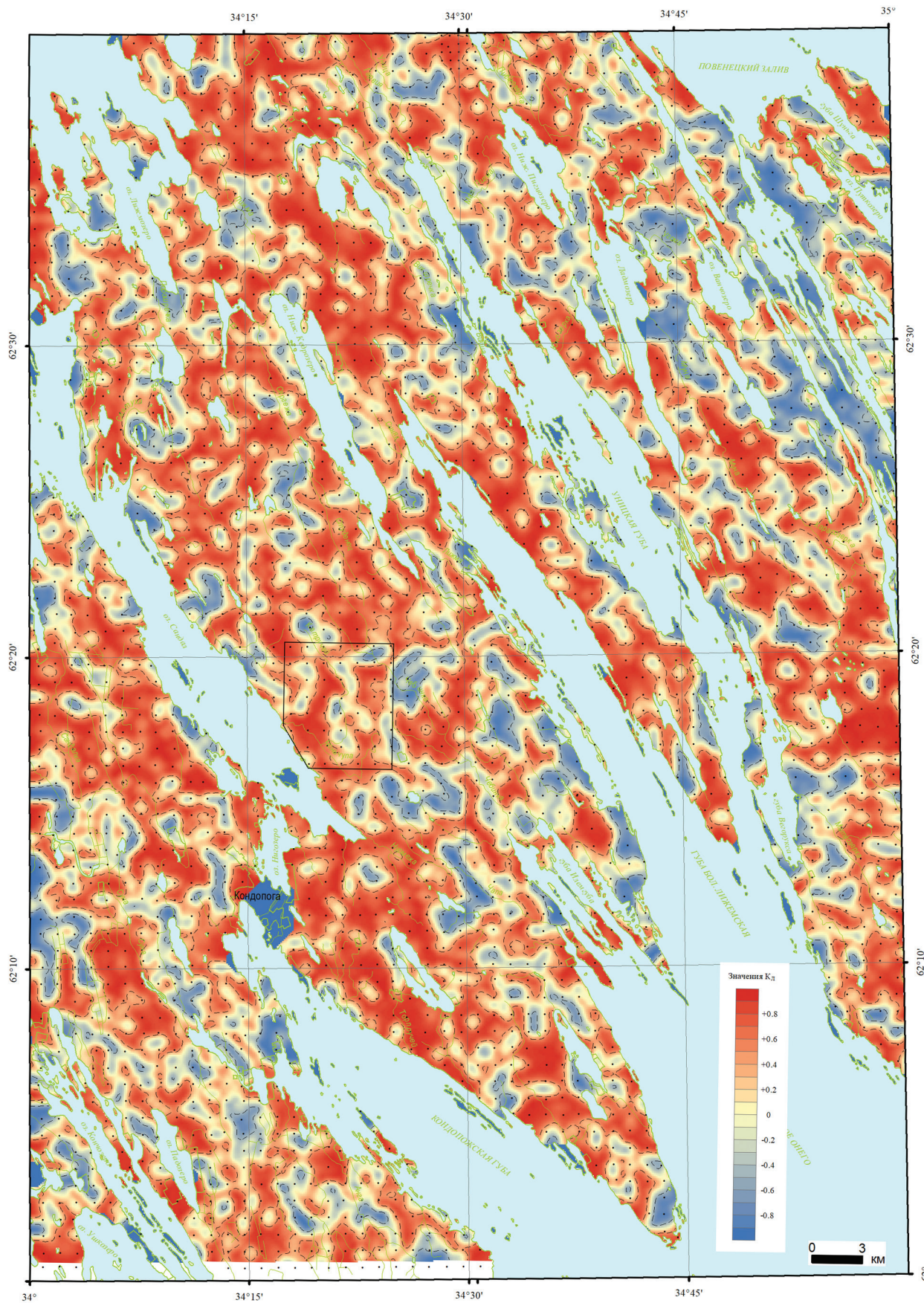


Рис. 8. Карта значений коэффициентов локальной корреляции пары элементов Cu-U

Fig. 8. Local correlation coefficients map of the Cu-U pair

Таблица 2

Значения коэффициентов парной и локальной корреляции

The values of paired and local correlation coefficients

ХЭ	Ag	As	Au	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Pd	Pt	Sb	Se	Sn	Ti	U	V	Zn
Ag	1	0,41	0,04	0,12	0,15	0,21	0,09	0,23	0,23	0,15	0,35	0,15	0,19	0,17	0,11	0,29	0,23	0,13	0,06	0,07	0,23	0,34
As	0,29	1	-0,01	0,22	0,18	0,40	0,12	0,41	0,20	0,25	0,76	0,28	0,25	0,23	0,26	0,54	0,38	0,06	0,07	0,15	0,38	0,39
Au	0,07	0,06	1	0,01	0,04	-0,01	0,04	0,04	0,04	0,02	-0,01	0,04	0,06	0,08	0,03	0,08	0,04	0,04	0,04	0,01	0,00	0,00
Ba	0,14	0,23	0,02	1	0,05	0,31	0,12	0,14	0,06	0,42	0,24	0,11	-0,01	0,27	0,15	0,02	0,31	-0,01	0,00	0,28	0,16	0,24
Bi	0,19	0,22	0,04	0,11	1	0,05	-0,01	0,11	0,08	0,14	0,14	0,01	0,58	0,00	0,03	0,22	0,06	0,36	0,17	0,01	0,18	0,14
Co	0,16	0,44	0,02	0,37	0,02	1	0,42	0,58	0,05	0,64	0,32	0,48	0,06	0,31	0,25	0,19	0,36	0,09	0,28	0,09	0,60	0,57
Cr	0,15	0,32	0,06	0,21	0,07	0,50	1	0,30	0,01	0,21	0,22	0,85	0,01	0,19	0,16	0,07	0,23	0,16	0,24	0,08	0,38	0,24
Cu	0,19	0,42	0,07	0,20	0,03	0,50	0,43	1	0,06	0,32	0,30	0,46	0,16	0,38	0,34	0,27	0,45	0,07	0,21	0,14	0,47	0,45
Hg	0,34	0,25	0,11	0,08	0,18	0,10	0,14	0,15	1	0,06	0,18	0,02	0,07	0,11	0,07	0,17	0,15	0,09	-0,04	0,09	0,05	0,07
Mn	0,13	0,31	0,03	0,39	0,07	0,58	0,29	0,28	0,06	1	0,23	0,21	0,15	0,28	0,23	0,17	0,30	0,12	0,13	0,05	0,38	0,38
Mo	0,28	0,43	0,03	0,13	0,14	0,32	0,35	0,37	0,23	0,23	1	0,33	0,24	0,13	0,16	0,50	0,24	0,08	0,09	0,11	0,30	0,32
Ni	0,12	0,32	0,06	0,22	0,00	0,58	0,70	0,49	0,06	0,34	0,34	1	0,09	0,18	0,17	0,21	0,22	0,10	0,18	0,08	0,33	0,38
Pb	0,20	0,14	0,05	0,04	0,60	-0,05	0,05	0,01	0,16	0,02	0,17	0,00	1	0,01	0,07	0,39	0,08	0,41	0,22	0,00	0,22	0,18
Pd	0,09	0,27	0,11	0,24	-0,03	0,28	0,22	0,32	0,12	0,18	0,14	0,20	-0,09	1	0,44	0,11	0,76	-0,04	0,05	0,38	0,21	0,14
Pt	0,09	0,16	0,20	0,12	0,05	0,16	0,14	0,20	0,09	0,11	0,15	0,14	0,03	0,18	1	0,14	0,59	0,02	0,12	0,12	0,38	0,12
Sb	0,17	0,23	0,24	0,04	0,18	0,10	0,08	0,11	0,18	0,10	0,18	0,09	0,20	0,07	0,19	1	0,17	0,27	0,15	0,02	0,26	0,25
Se	0,18	0,44	0,07	0,29	0,07	0,37	0,32	0,40	0,24	0,21	0,21	0,26	0,00	0,46	0,19	0,10	1	-0,03	0,01	0,45	0,32	0,21
Sn	0,20	0,20	0,08	0,03	0,40	0,12	0,20	0,09	0,16	0,11	0,21	0,11	0,41	0,00	0,04	0,20	0,01	1	0,52	-0,10	0,40	0,16
Ti	0,05	0,11	0,04	0,00	0,10	0,19	0,22	0,13	-0,01	0,15	0,11	0,16	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05	0,29	1	-0,05	0,63	0,12
U	0,12	0,29	0,03	0,33	0,08	0,24	0,26	0,26	0,15	0,11	0,13	0,20	-0,01	0,35	0,12	0,04	0,60	-0,07	0,03	1	-0,01	0,04
V	0,21	0,48	0,04	0,20	0,26	0,49	0,45	0,39	0,16	0,34	0,35	0,33	0,21	0,17	0,17	0,16	0,26	0,41	0,35	0,09	1	0,42
Zn	0,24	0,36	0,05	0,39	0,12	0,55	0,33	0,36	0,11	0,49	0,25	0,38	0,05	0,14	0,08	0,13	0,24	0,16	0,09	0,16	0,34	1

Примечание. Красным цветом обозначены коэффициенты классической парной корреляции, синим – значения, рассчитанные как средние по коэффициентам локальной корреляции

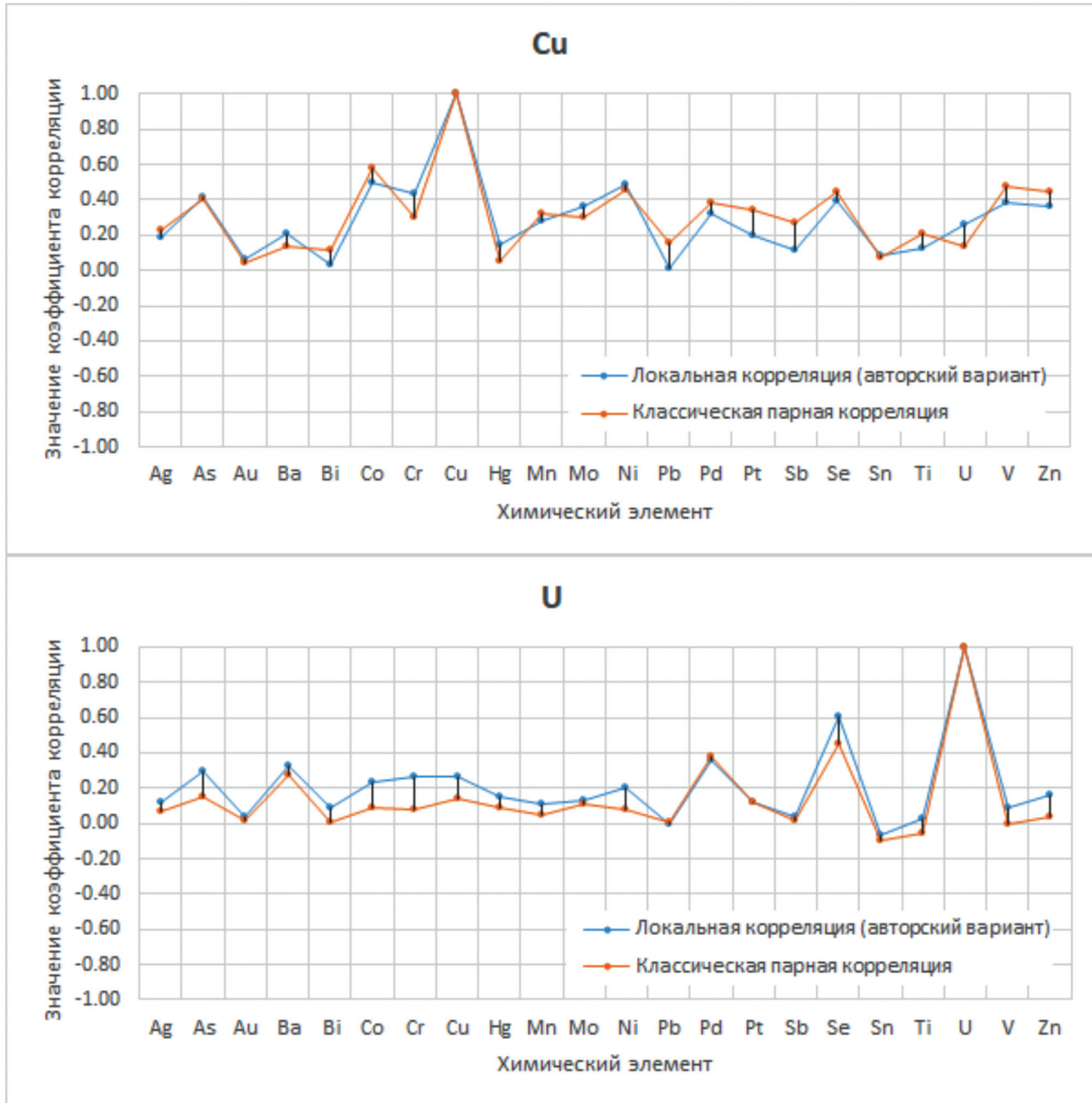


Рис. 9. Графики сопоставления коэффициентов парной корреляции и усредненных коэффициентов локальной корреляции для Cu и U

Fig. 9. Graphics showing the matching of paired correlation coefficients and averaged local correlation coefficients for Cu and U

editors: L.V. Glushanin, N.V. Sharov, V.V. Shchiptsov. Petrozavodsk, 2011. 431 p.

7. Pevzner V.S., Burkov Ju.K. System of Geochemical Information Processing for Mineral Deposits Prospecting Purposes. Leningrad : Nedra, 1976. 20 p.

8. Polekhovskij Ju.S., Voloshin A.V., Tarasova I.P., Pahomovskij Ya.A., Kreer Yu.L. New Type of mineralization containing palladium in Karelian metasomatites // Proceedings of the Academy of Sciences of USSR. Geological issue. 1991. No. 7. P. 86-95.