

УДК 550.4: 51

ВОЛКОВА Т.П. (ДонНТУ)

## ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ПРОГНОЗЕ ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ

*На примере Приазовского блока Украинского щита рассмотрен информационный подход к прогнозу эндогенного оруденения, основанный на последовательном выделении наиболее дифференцированных площадей все меньшего размера. Прослежена связь формирования дифференцированных участков земной коры с постепенным концентрированием рудных элементов в результате поступления глубинной энергии. Показано отличие интенсивности и разнообразия оруденения Западного и Восточного Приазовья в связи с особенностями распределения эндогенной энергии в процессе формирования Днепровско-Донецкого палеорифта.*

В настоящее время основным научным направлением в решении проблемы поисков и прогнозной оценки ресурсов перспективных территорий является генетическое. В рамках этого направления проблема решается на основе выделения ряда общих геологических факторов, способствовавших появлению месторождений. Объясняя генезис месторождения, геологи тем самым указывают геологические ситуации, в которых можно ожидать аналогичные объекты. При использовании фактической приуроченности месторождений к определенным структурам, комплексам, геологическим обстановкам, времени, созданы ряды генетического, формационного типа месторождений, что позволяет использовать в качестве основы прогнозирования принцип аналогии. Задача прогнозирования ресурсов при таком подходе решается на основе типизированного «образа» месторождения определенного формационного типа. Поскольку предполагается, что формирование месторождений одного типа происходит в близких условиях, то должны оставаться близкими масштабы запасов и уровни концентраций рудных элементов. На ранних стадиях геологоразведочных работ, когда особенно важна оценка масштабов запасов для отбраковки заведомо непромышленных объектов, отсутствие данных, позволяющих однозначно отнести месторождение к определенному формационному типу, создает значительные ошибки метода аналогии. Безусловно необходима более общая модель, позволяющая оценить масштабы оруденения. Такая модель разработана на базе термодинамики и самоорганизации процессов в открытых неравновесных системах, к которым отнесены геологические объекты [1, 2].

Эволюцию природных систем можно рассматривать как результат направленного энергетического воздействия, проявляющегося в изменении их свойств, состава и строения [2]. Одной из важнейших общих тенденций развития Земли является усиление дифференцированности тектонических структур, геологических и рудных формаций, как в пространстве, так и во времени [3]. В частности, нормальный ход дифференциации интрузивных формаций состоит в увеличении кремнекислоты и щелочности пород с одновременным уменьшением содержаний элементов группы железа, кальция, магния. При этом увеличивается разнообразие и происходит изменение содержаний элементов-примесей в породах: постепенно увеличиваются содержания редких и редкоземельных элементов, уменьшается роль сидерофильных [4]. Основной характеристикой дифференцированности является многообразие информации, которое особенно хорошо проявляется на геологических картах конкретных объектов, одним из которых является Приазовье.

Приазовский блок относится к субплатформенным блокам Украинского щита. В Западном Приазовье преимущественное распространение имеют архейские метаморфизованные суперкрупные образования. Они представлены разнообразными по составу сланцами, гнейсами, мигматитами, образовавшимися в процессах регионального метаморфизма и ультраметаморфизма осадочных, вулканогенно-осадочных, вулканогенных и интрузивных образований палеоархея. Кристаллические породы возрастом менее 2000 млн. лет здесь развиты мало. Особенностью геологического строения Восточного Приазовья является широкое развитие разнообразных по составу и возрасту магматических пород. В последние годы этому явлению дано достаточно убедительное обоснование, базирующееся на теории нуклеарного строения Земли и наличии мантийных диапиров в основании протоплатформенных блоков УЩ [3, 5]. Формирование Восточно-Приазовского диапира и его максимальная эндогенная активность проявилась в рифее, когда началось развитие Днепровско-Донецкого палеорифта с окончательным формированием в палеозое [5]. В течение этого времени территория Восточного Приазовья, в сравнении с Западным, отличалась повышенным потоком эндогенной энергии, обусловившим высокую дифференцированность ее строения.

На практике широко используется общая закономерность: чем более дифференцированы магматический комплекс и тектонические структуры, чем выше изменчивость свойств геологического пространства, тем вероятнее обнаружить промышленное оруденение. Повышенная дифференцированность геологических свойств территорий служит признаком усиленного поступления энергии в ее пределы по сравнению с менее дифференцированными площадями. Согласно геохимическому закону всеобщего рассеяния вещества, впервые сформулированного Вернадским В.И., рудные и редкие элементы в земной коре находятся в рассеянном состоянии. Для концентрирования рудных элементов в месторождениях полезных ископаемых, в соответствии с законами термодинамики, необходимы затраты энергии. Этот процесс требует тем больших энергетических затрат, чем ниже содержания элемента в исходном материале и чем большие его концентрации достигаются в рудах месторождения [6]. Поступление внешней энергии в геологическую систему, согласно второму закону термодинамики, фиксируется понижением ее энтропии. В геохимических системах уменьшение термодинамической энтропии свидетельствует о концентрации рудных элементов, а ее рост — об их рассеянии [2]. Все месторождения полезных ископаемых являются следствием энерго- и массопереноса в земной коре. Поэтому наблюдаемое разнообразие геологических свойств, как следствие проявления суммарного энергетического воздействия, может служить индикатором потенциального рудообразования. Подтверждением этому служит рудоконцентрирующая структура, выделенная на карте Восточного Приазовья на основе вычисления информационной энтропии, в пределах которой оказалась большая часть месторождений и рудопроявлений Приазовья [7].

Таким образом, информационный анализ дифференцированности территорий на картах разного масштаба позволяет выделить площади, перспективные на эндогенное оруденение. Основой современного прогноза перспективности территории на эндогенное оруденение должен быть принцип временной, структурной и геохимической эволюции земной коры, проявленных в информационном поле. Понятие «информация» в данном случае подразумевает наличие как количественных, так и качественных измерений. При металлогеническом районировании территорий общепринятым является выделение разномасштабных рудных объектов — металлогенических провинций, рудных областей, районов, узлов, полей, месторождений, каждый из которых несет

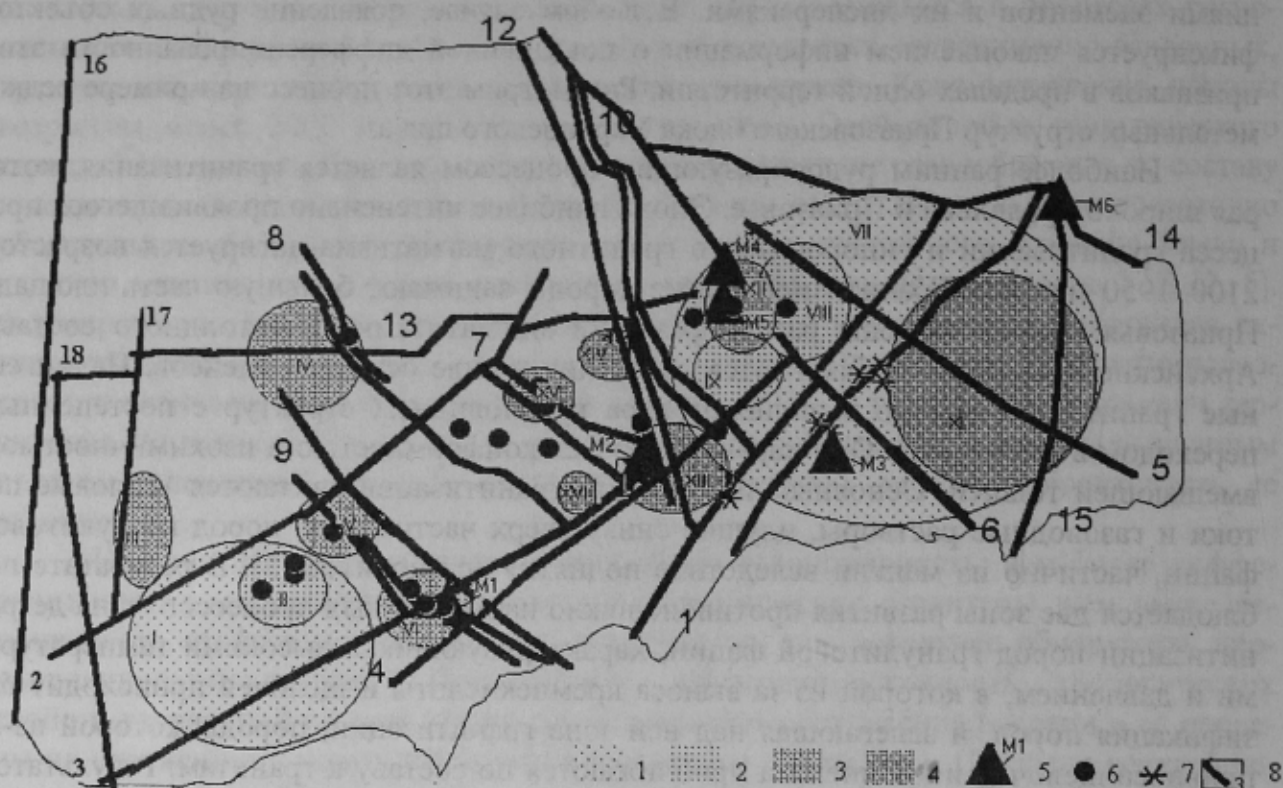
информацию об аномальных концентрациях рудных элементов. Для крупных объектов (провинций, областей, районов) эта информация может быть выражена качественными признаками, изображенными на картах. Более мелкие объекты (узлы, поля, месторождения) характеризуются количественными признаками — средними содержаниями элементов и их дисперсиями. В любом случае, появление рудных объектов фиксируется накоплением информации о повышенной дифференцированности этих признаков в пределах одной территории. Рассмотрим этот процесс на примере редкометальных структур Приазовского блока Украинского щита.

Наиболее ранним рудообразующим процессом является гранитизация, которая широко проявлена в Приазовье. Эпоха наиболее интенсивно проявившегося процесса гранитизации и синорогенного гранитного магматизма датируется возрастом 2100–1950 млн. лет. Гранитизированные породы занимают большую часть площади Приазовья и представлены разнообразными мигматитами гранитоидного состава. Архейские отложения наблюдаются среди них в виде останцов гнейсов. Палингенные гранитоиды обычно выполняют ядра куполовидных структур с постепенным переходом в мигматиты. Они характеризуются конформностью и изохимичностью с вмещающей толщей. Основным источником гранитизации считаются тепловые потоки и газоводные растворы, идущие снизу вверх частично из пород гранулитовой фации, частично из мантии вследствие поднятия астенолитов [3]. В результате наблюдается две зоны развития противоположно направленных процессов: зона дегранитизации пород гранулитовой фации, характеризующихся высокими температурами и давлением, в которой из-за выноса кремнекислоты и щелочей происходит базификация пород, и залегающая над ней зона гранитизации, породы которой из-за привноса щелочей и кремнезема приближаются по составу к гранитам. Результатом этих процессов является возникновение, рост и развитие гранито-гнейсовых куполов в течение нескольких стадий, достаточно детально описанных в литературе. С процессом гранитизации связано перераспределение многих рудных элементов: выносятся такие элементы как Cr, Sc, V, Ni, Co, Cu, а привносятся Sn, Zr, TR, Y, U, Th [8]. Купола Восточного и Западного Приазовья имеют различные стадии развития, характеризующиеся степенью дифференциации рудного вещества.

В Западном Приазовье наиболее крупной складчатой структурой докембрия является Салтычанский антиклинорий. Он представляет собой сложную структуру, ось которой меняет простирание от северо-западного ( $320\text{--}330^\circ$ ) на юге Приазовского блока до субмеридионального в северной его части. Крылья антиклинория осложнены складками более высокого порядка, представленными изометричными брахисинклинальными формами, которые разделяются узкими, гребневидными антиклинальными перемычками. В ядерной части антиклинория широко проявлены процессы гранитизации и мигматизации, в результате которой широкое развитие получили гранитогнейсовые купола. Характерной особенностью западноприазовских куполов является наличие в ядерных частях гранитоидов. Массивы, сложенные этими гранитоидами, залегают среди метаморфических пород и имеют с ними постепенные переходы, сохраняя многочисленные ксенолиты и признаки гибридности. Особенно характерно такое строение для Елисеевской купольной структуры, расположенной в центре Салтычанского антиклинория и осложненной более мелкими Андреевской и Елизаветовской купольными структурами. Залегающие в ядре этих структур массивы диоритов, гранодиоритов и тоналитов обиточненского комплекса, имеют согласное простирание и постепенные переходы с вмещающими их гнейсами и мигматитами западноприазовской серии. Наиболее характерные для Западного Приазовья месторождения керамических, слюдяных и редкометальных пегматитов образуют

здесь пегматитовые поля, приуроченные к внешним, наиболее проницаемым частям купольных структур. Большая часть пегматитов расположена в пределах троговых структур, опоясывающих Салтычанский антиклинорий (рис.1).

В Восточном Приазовье тектонической структурой первого порядка является



**Рис. 1.** Схема образования редкометальных структур Приазовского блока. Условные обозначения: 1 — купольные структуры I стадии: I — Салтычанский антиклинорий; VII — Кальчик-Кальмиусский антиклинорий; 2 — купольные структуры II стадии: II — Елисеевский; VIII — Ново-Алексеевский; IX — Красновский; X — Ново-Григорьевский; 3 — межкупольные депрессии: III — Черниговская; IV — Федоровская; V — Куйбышевская; VI — Сорокинская. 4 — интрузивные массивы: XI — Тельмановский плутон; XII — Октябрьский; XIII — Южно-Кальчикский; XIV — Екатериновский; XV — Каменногильский; XVI — Стародубовский; 5 — крупные эндогенные месторождения редких металлов: М1 — Крутая Балка; М2 — Азовское; М3 — Петрово-Гнутовское; М4 — Мазуровское; М5 — Калинино-Шевченковское; М6 — Покрово-Киреевское; 6 — пегматиты; 7 — флюорит-паризитовые рудопроявления; 8 — крупные разломы (по Л.Ф. Лавриненко): 1 — Кальмиусский; 2 — Михайловско-Белоцерковский; 3 — Лозоватский; 4 — Ольгинский; 5 — Криворожско-Павловский; 6 — Октябрьский (Донской); 7 — Каменногильский; 8 — Куйбышевский; 9 — Сорокинский; 10 — Мануильский; 11 — Малоянисольский; 12 — Муравско-Пречистовский сброс; 13 — Конский; 14 — Южно-Донбасский; 15 — Грузско-Еланчикский; 16 — Орехово-Павлоградский; 17 — Черниговский; 18 — Корсакский

Кальчик-Кальмиусский антиклинорий, в пределах которого выделены Ново-Алексеевская, Ново-Григорьевская и Красновская купольные структуры. Они практически полностью уничтожены более поздними массивами гранитоидов, также расположенными по периферии купольных структур. Последовательность формирования тектонических структур Приазовского блока отражена на структурной схеме (рис.1).

Развитие куполов в Западном Приазовье завершилось в раннем протерозое на стадии протоплатформенного режима. Однотипное положение рудных полей этой части Приазовья обеспечивает одинаковую формационную принадлежность и близ-

кую геохимическую специализацию месторождений. Структурная схема отражает двухэтапное концентрирование редких элементов в пределах рудных полей. На территории Восточного Приазовья наблюдаются месторождения разнообразных формационных типов и рудной специализации. Их характерной особенностью является многостадийность парагенезисов рудных минералов. Как правило, все они имеют несколько генераций, наиболее поздние из которых связаны с поздним метасоматическим преобразованием пород. На структурной схеме отражено трехэтапное концентрирование редких элементов в рудных полях.

Начальное представление о степени дифференциации рудного вещества можно получить при сравнении степени преобразования пород одного и того же комплекса в пределах Западного и Восточного Приазовья. Гранитоиды обиточненского комплекса широко распространены в Западном Приазовье и слагают Салтычанский, Центрально- и Северо-Обиточненский, Нельговский, Западно- и Восточно-Елисеевский массивы, расположенные в ядре Елисеевской купольной структуры. При детальном петрографическом исследовании массивов установлено, что для них характерны незначительные колебания минерального состава и приуроченность более кислых разностей к центрам массивов [9]. В Восточном Приазовье гранитоиды обиточненского комплекса имеют весьма ограниченное распространение. Они слагают северо-восточную часть Приазовского блока, а также встречены в Тельмановском плутоне, расположенном в юго-восточной части Кальчик-Кальмиусского антиклинория. На юго-западной окраине плутона расположен Пищевикский блок. Он имеет трапециевидную форму и ограничен со всех сторон тектоническими нарушениями. Западной границей блока является зона дробления, ограничивающая с востока Кальмиусский разлом, восточная граница проходит по субмеридиональной зоне дробления, северная — по субширотной и южная — северо-западной. В целом, Пищевикский блок имеет север-северо-восточное направление и протягивается на 8–8,5 км при ширине 6–6,5 км. Это подтверждает эндогенную активность этого рудного узла в более поздние эпохи активизации Приазовского блока. Здесь расположены Петрово-Гнутовское месторождение, Пищевикское и Павлопольское рудопроявления, относящиеся к фтороносным редкоземельным карбонатитам. Вмещающими породами служат гранодиориты «пищевикского» типа обиточненского комплекса, в которых в виде ксенолитов сохранились биотит-амфиболовые гнейсы косивцевской толщи. Рудные тела сложены грубозернистыми и блоковыми массивными агрегатами кальцита, бастнезита, паризита и флюорита и представляют собой максимальную степень дифференциации вещества. При этом минералы редкоземельных элементов (бастнезит, паризит) приобретают роль породообразующих. Такая степень обогащения рудного вещества требует значительной дополнительной энергии и достигается на повышенном уровне содержания редких элементов во вмещающих породах. Сравним уровни содержания редких элементов гранитоидов обиточненского комплекса Западного и Восточного Приазовья, с помощью геохимических спектров (рис. 2).

На рис. 2 четко виден значительный размах спектра гранитоидов Восточного Приазовья, характеризующий повышенные, в сравнении с Западным, содержания практически всех элементов. Дисперсии многих из них изменяются от 50 до 80%, в то время как для Западного для большинства элементов они ограничены 50%. Как известно, повышенные дисперсии концентраций элементов типоморфного комплекса характерны для потенциально рудоносных площадей [9]. Повышенными дисперсиями концентраций редких элементов характеризуются гранитоиды субплатформенных массивов Восточного Приазовья (рис.1). Причем на площадях с выявленными месторождениями (Азовская структура, Красновское и Петрово-Гнутовское рудные поля) они превышают 100%. Это свидетельствует о значительном перераспределении рудного вещества в пределах круп-

ных структур, вмещающих рудные поля и месторождения, обеспечивая промышленный уровень их запасов. Редкометальная специализация уже характерна для раннепротерозойских гранитоидов анадольского комплекса. Среди них выявлены отдельные разновидности, характеризующиеся повышением содержаний минералов редких элементов в несколько раз [10]. Для субплатформенных интрузий она проявляется еще более четко. Во всех породах хлебодаровского комплекса, слагающих Тельмановский плутон, хорошо выражена специализация для скандия, молибдена, олова, церия. Кларки концентраций этих элементов в отдельных разновидностях пород достигают 4–6. Подобная ситуация отмечена в Южно-Кальчикском и Октябрьском рудных узлах.

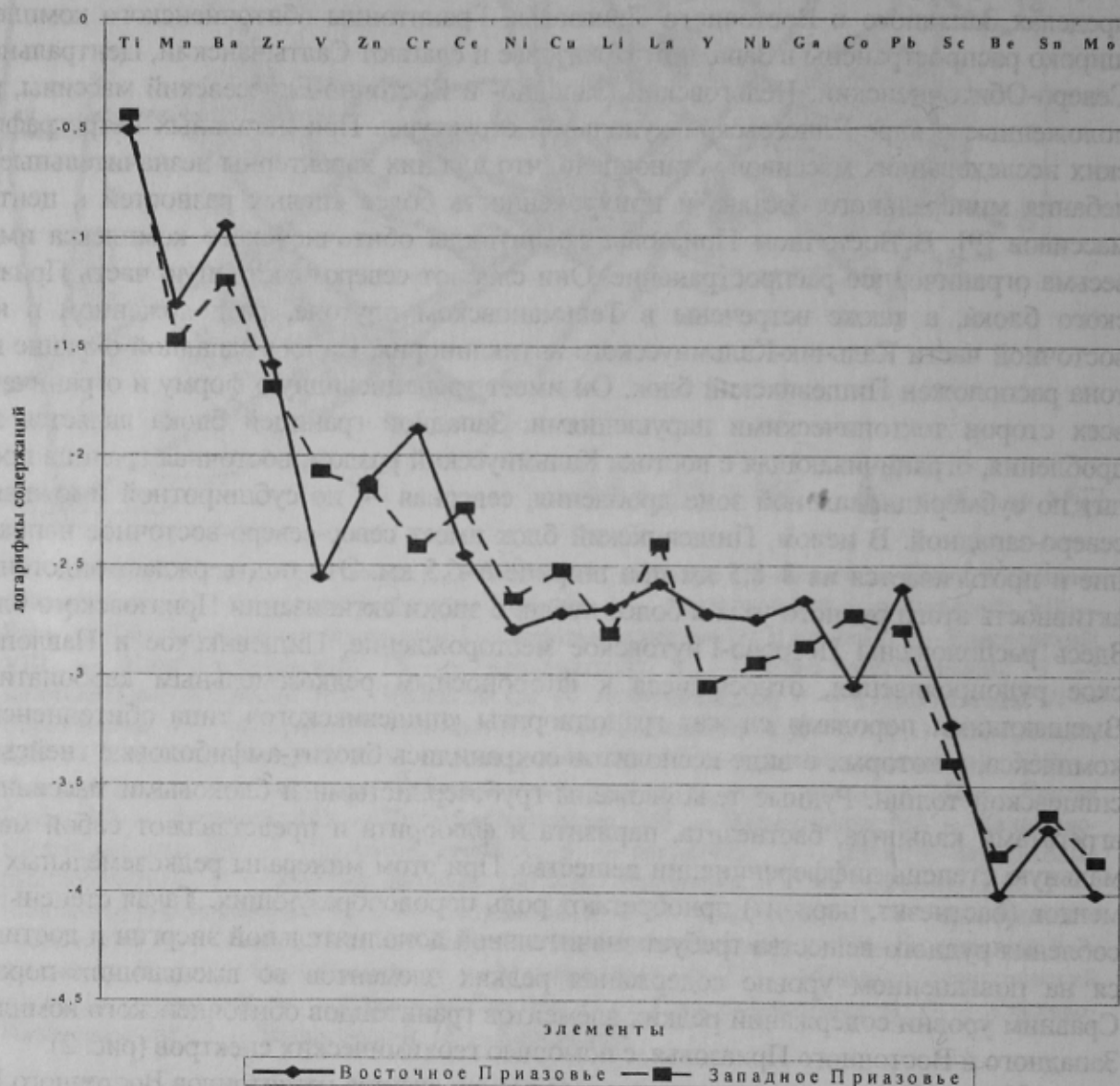


Рис. 2. Геохимические спектры гранитоидов обичненского комплекса в Восточном и Западном Приазовье (по данным спектральных анализов Приазовской ГРЭ)

Проведенный краткий анализ рудоносных площадей Приазовского блока, показывает последовательное накопление качественной и количественной информации о возрастании дифференцированности пород в пределах все более мелких по объему структур, сопровождающейся постепенным повышением концентраций редких элементов. Как видно из рис. 1, в Восточном Приазовье пространственное положение рудных полей характеризуется неоднократным наложением тектонических структур, образо-

ванных в результате поэтапного поступления эндогенной энергии. Для Западного Приазовья оно ограничивается раннепротерозойской эпохой. В Восточном Приазовье поступление глубинной энергии продолжалось в течение длительного периода, связанного с формированием Днепровско-Донецкого палеорифта [5]. Наиболее поздние девонские вулканогенные структуры в Кичиксу-Новоселовском рудном поле формировались в Кальмиусской металлогенической зоне, увеличивая уже достигнутый на предыдущих этапах уровень концентрации рудных элементов в породах хлебодаровского комплекса. В месторождениях и рудопроявлениях, сформированных на этом этапе (Петрово-Гнутово, Пищевик, Павлопольское и др.) рудные тела имеют мономинеральный редкоэлементный состав, подтверждающий высшую степень дифференцированности пород. Этот многоэтапный процесс концентрирования рудных элементов должен быть обеспечен источником дополнительной энергии. Рудоконцентрирующая структура северо-восточного простирания, выявленная в Приазовье, имеет выход на Днепровско-Донецкий рифт. По этой системе обеспечивалось длительное поступление дополнительной энергии рудообразования по разломам северо-восточного простирания и многоэтапное концентрирование рудных элементов в месторождениях Приазовского блока. Согласно последним достижениям в термодинамике геохимических процессов, многоэтапное концентрирование не является случайным, оно подчиняется фундаментальным принципам самоорганизации материи. Функционирование самоупорядочивающихся рудообразующих систем определяется длительным поступлением энергии из внешней среды. При этом происходит изменение энтропии и повышение уровня структурной организации системы как за счет внешней энергии, так и за счет необратимых процессов внутри нее [1]. Наличие информации о функционировании подобных систем в пределах отдельных регионов обеспечивает достоверный прогноз пространственного распределения и масштабов запасов эндогенного оруденения.

### Библиографический список

1. Пригожин И. От существующего к возникающему. — М.: Наука, 1985. — 586 с.
2. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. — Новосибирск: Наука, 1992. — 230 с.
3. Глуховский М.З. Геологическая эволюция фундамента древних платформ. — М.: Наука, 1990. — 215 с.
4. Марин Ю.Б., Скублов Г.Т., Ванштейн Б.Г. Петрохимическая эволюция фанерозойских гранитоидных формаций. — Л.: Недра, Ленингр. отдел., 1983. — 150 с.
5. Балуев А.С., Глуховский М.З., Моралев В.М. Тектонические условия формирования массивов анортозит-рапакивигранитной формации на Восточно-Европейской и Сибирской платформе // Известия ВУЗов, сер. Геология и разведка, 1997. — №2. — С. 3–15.
6. Сафронов Н.И., Мещеряков С.С., Иванов Н.П. Энергия рудообразования при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. — Л.: Недра, 1978. — 215 с.
7. Волкова Т.П. Рудоконцентрирующая структура Восточного Приазовья // Труды ДонНТУ, серия горно-геол., 2001, — вып.23. — С. 85–88.
8. Петрова З.И., Макрыгина В.А. Геохимия процессов ультраметаморфизма в связи с проблемой рудообразования // Металлогения раннего докембрия СССР. — Ленинград: Наука, 1984. — С. 77–84.
9. Цуканов В.А. Петрология раннедокембрийских гранитоидов Приазовья. — К.: Наукова думка, 1977. — 162 с.
10. Ляхович В.В. Факторы рудогенерирующей способности гранитоидов. — М.: Наука, 1983. — 255 с.
11. Волкова Т.П., Стрекозов С.Н. Минералого-геохимические критерии редкометальной специализации докембрийских комплексов Приазовья // Труды ДонНТУ, серия горно-геол., 2001. — вып. 24. — С. 120–126.