

УДК 551.2+ 551.3

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ОСНОВНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ

Юдин В.В.

*МОО Крымская Академия наук, г. Симферополь, Российская федерация
E-mail: yudin_v_v@mail.ru*

В статье с краткими пояснениями представлены уточненные и дополненные за много лет авторские классификации подразделений актуалистической геодинамики, а также систематизации генетических типов орогенов, меланжей, несогласий, магматизма, олистостром и опасных волн.

Ключевые слова: *геодинамика, орогены, меланжи, несогласия, магматизм, олистостромы, опасные волны.*

ВВЕДЕНИЕ

Классификации геодинамических процессов и объектов являются одной из важных научных проблем современной теоретической геологии. В основном они разрабатывались по морфологическому, структурно-тектоническому и другим признакам. Полные систематизации на основе происхождения практически отсутствуют. В настоящей статье приведены генетические классификации, составленные автором в течение более четверти века. Часть из них была опубликована в разных изданиях, где более подробно приведены обоснования и конкретные примеры выделенных подразделений [1-12 и др.]. После многолетних обсуждений с коллегами и обобщения последних данных по строению разных регионов на основе актуалистической геодинамики, эти подразделения были уточнены, дополнены и приведены ниже с краткими пояснениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Классификация геодинамики. Термин «геодинамика» был введен более 100 лет назад А. Лявом и долгое время понимался как взаимосвязь динамики Земли с космическими факторами, приводящих к формированию приливов в коре и к образованию закономерной регматической сетки трещин-разломов. При последующих революционных сменах геологических парадигм этот термин трактовался по-разному и во многом противоречиво.

В современном понимании, актуалистическая геодинамика – наука о тектонических процессах внутри и на поверхности Земли, рассматривающая перемещения вещества и энергии [4, 5, 7, 8 и мн. др.]. Эта наука объединила концепции тектоники литосферных плит и мантийных плюмов, сформировав универсальную теорию происхождения и эволюции современных и древних структур Земли. Главной причиной тектонических движений считаются мантийные конвекционные токи, приводящие в движение литосферные плиты и их фрагменты. Основные подразделения геодинамики приведены на рис. 1.



Рис. 1. Классификация подразделений геодинамики

Актуалистическая геодинамика разделяется на эндогенную, которую предлагается традиционно называть просто геодинамикой и *экзогеодинамикой* [4, 7, 8 и др.]. Объектами изучения эндогенной – являются глобальные и более мелкие структуры, сформированные внутренними силами Земли. К ним относятся континенты, океаны, складчато-надвиговые пояса, зоны проявления вулканизма, метаморфизма, сейсмичности и др., образованные за счет конвективных течений в мантии вследствие гравитационной и тепловой дифференциации Земли. При рассмотрении древних процессов обособлена историческая *палеогеодинамика*, которая восстанавливает древние геодинамические процессы, формирующие структуры и формации аналогичные современным. Основной задачей таких реконструкций является выяснение прежнего положения литосферных плит, их конфигураций, типов границ и движений. К процессам эндогенной *неогеодинамики* относятся сейсмичность, глубинное структурообразование, создающее рельеф, современный вулканизм, тепловые аномалии, смещения в современных разрывах, динамометаморфизм и т.д. При наличии достоверных данных допустимо разделять *литосферную* (плитную) и *глубинную* неогеодинамику, связанную с плюмами в основном из нижней мантии.

Экзогеодинамика также подразделяется на *палео- (историческую)* и молодую *неоэкзогеодинамику*. Они рассматривают внешние, в основном морфологические приповерхностные особенности Земли, сформированные под воздействием солнечного тепла и гравитации. К ним относятся элементы рельефа и факторы, его образующие: эрозия, абразия, образование олистостром, турбидитов, оползней, осадконакопление, деятельность воды, льда и ветра, карст и другие.

В последние годы при рассмотрении современных процессов выделяются специфические разделы геодинамики. Пример тому – *экогеодинамика*, охватывающая опасные эндогенные и экзогенные явления, которые

непосредственно влияют на экологию [4]. Развиваются направления *инженерной* и *сейсмогеодинамики*, чему посвящен ряд публикаций и даже учебников. Ниже приведены генетические подразделения основных эндогенных и экзогенных процессов.

Процессы и объекты эндогенной геодинамики

Классификация орогенеза. Под орогенезом (по Г. Джильберту 1890 г. «орос» – гора, «геннао» – рождать) понимается процесс резко повышенной тектонической, магматической и сейсмической активности земной коры, приводящий к формированию горного рельефа. Такие зоны понимаются как орогены. В связи с научной революцией в геологии и сосуществованием различных геотектонических гипотез этот процесс трактуется противоречиво.

Орогенез – главное проявление эндогенной геодинамики Земли на ее твердой поверхности. К горам принято относить различные по генезису и морфологии возвышенности с расчлененным рельефом, вершины которых возвышаются над основанием более чем на 700 м. Подробные представления об орогенах в трактовке различных авторов и по разным признакам приведен в монографии [1 и мн. др.]. Можно лишь отметить, что принимаемый многими исследователями критерий выделения гор от уровня моря до вершины – недопустим. Во-первых, это связано с существенным изменением в геологической истории уровня Мирового океана в периоды оледенений. Во-вторых, в таком понимании игнорируются крупные подводные горы разного генезиса. То же можно отметить по поводу гипотетически обязательной связи орогенеза с конвергентной складчатостью.

В актуалистическом геодинамическом понимании эволюции земной коры, в соответствии с циклом Вильсона, орогенез может проявляться на пяти этапах: 1) сводового поднятия, предшествующего рифтогенезу; 2) спрединга с образованием срединно-океанических хребтов; 3) субдукции с образованием активных окраин плит разных типов; 4) коллизии; 5) на заключительном этапе постколлизионного орогенеза (дейтероорогенеза).

Анализ всех горных сооружений мира позволил нам 27 лет назад создать полную, генетико-эволюционную классификацию орогенов [1]. В последующие годы эта классификация была уточнена и дополнена (рис. 2). По типу образования выделены два класса орогенов: *дивергентные (первоорогены)*, образованные в результате подъема мантийного материала в конвективных токах и плюмах и *конвергентные* (собственно орогены), образованные сжатием. Для наглядности на рисунке 2 добавлены современные примеры всех типов орогенов, модели их образования и максимальные высоты разных гор в километрах.

Дивергентные орогены и связанные с ними структуры весьма специфичны по сравнению с конвергентными. Выделение дивергентных орогенов признается не всеми исследователями. Процесс вызван проявлением достаточно быстрых восходящих орогенических движений, приводящих к образованию горного рельефа на суше или на дне океанов. Обычно это сопровождается образованием мощных терригенных и вулканогенных формаций с большими скоростями осадконакопления. Отдельно выделяются *плюмогенные* орогены, высота которых в океанах достигает самых больших превышений в 9 км. *Аркогенные* (рифтогенные)

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ОСНОВНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ

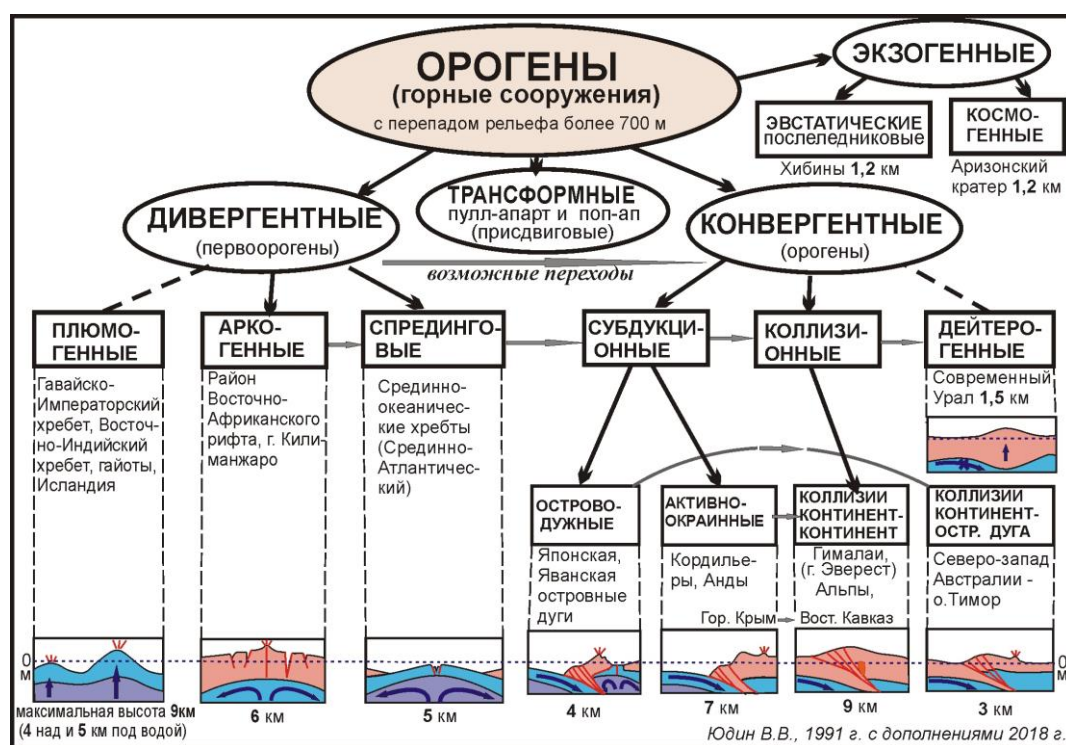


Рис. 2. Классификация и примеры генетических типов орогенеза

на суше и подводные *спрединговые* орогены имеют более глобальный масштаб. Они отражают начальные этапы развития цикла Вильсона.

Конвергентные орогены создаются тангенциальным сжатием и скучиванием литосферы на границах сходящихся плит. В зависимости от строения и положения фрагментов земной коры в зоне конвергенции выделяются различные типы и подтипы орогенов, что отражено во многих публикациях разных исследователей. В процессе геодинамической эволюции в соответствии с циклом Вильсона один тип или подтип конвергентного орогена может переходить в другой, что показано серыми стрелками на рисунке 2. В современных крупных складчато-надвиговых поясах по простиранию могут сосуществовать геодинамические режимы субдукции и коллизии. Тогда их следует называть субдукционно-коллизионными, разделяя в конкретной области по типу поддвигаемой океанической или континентальной коры.

Трансформные орогены связаны с глобальными сдвигами. Такие разрывы иногда формируют крупные положительные формы в структурах поп-ап и отрицательные перепады рельефа в структурах пулл-апарт [10 и др.]. На континентах абсолютно чистые сдвиги редки. Чаще они связаны со сдвиго-надвигами. Вдоль таких зон трансформные орогены могут переходить в конвергентные. Их разделение проводится по преобладанию надвигового или сдвигового смещения.

В заключении цикла Вильсона на месте уже денудированного коллизионного орогена иногда проявляется вторичное завершающее горообразование в виде дейтероорогенеза. Нами оно объяснялось изостатическим подъемом скученных сиалических корней гор при окончательном отмирании нисходящего мантийного конвекционного тока [1].

В древних складчато-надвиговых поясах (палеорогенах), достаточно четко фиксируются осадочные и магматические формации большинства подтипов современных: аркогенных, субдукционных, коллизионных и эпиколлизионных. Вследствие полной субдукции от дивергентных спрединговых и плюмогенных орогенов, в конвергентных, обычно почти не остается следов. Название древних орогенов во избежание накладок может даваться по последнему, наиболее хорошо сохранившемуся в формациях типу или подтипу, а также по возрасту проявления. Например, Палеоурал – субдукционно-коллизионный или коллизионный ороген, а современные Уральские горы – дейтерогенный ороген (рис. 2).

Отдельным типом гор, которые не укладываются в эндогенную геодинамику Земли, являются *эвстатические и космогенные орогены*). По сути, они имеют экзогенное происхождение, поскольку связаны с эвстатическим поднятием территории после снятия нагрузки растаявшего ледникового покрова или с падением на Землю крупных болидов. О интенсивности и роли орогенических движений можно судить по высоте современных орогенов (рис. 2.). В древнейшей геологической истории космогенные орогены преобладали.

Классификация тектонических меланжей. В сместителях крупнейших надвигов и сдвигов конвергентных орогенов часто развиты мощные зоны передробленных пород, которые представляют собой отдельные эндогенные хаотические комплексы – тектоны. Такие меланжи (от французского слова смесь) состоят из глыб-кластолитов разного состава, размера и возраста, которые сорваны при смещении и погружены в мелкообломочный матрикс.

Общепринятая генетическая классификация меланжей отсутствовала. Традиционно они разделялись по составу матрикса или по составу глыб. Однако одинаковые по литологическим признакам типы микститов могут образовываться при разных геодинамических режимах. Поэтому нами предложена генетическая классификация меланжей с элементами их состава (рис. 3). Такая классификация с приведением конкретных примеров была опубликована в работах [8, 10, 12].

Сдвиговые меланжи в чистом виде встречаются редко. Обычно они связаны с надвиго-сдвигами. Специфической особенностью таких микститов является формирование полосовых скоплений ромбовидных в плане кластолитов, расположенных под углом к простиранию сдвига. Зоны ромбовидных блоков получили название лозанж. Морфологически он напоминает систему пластин-дуплексов, положенных на бок. Второй характерный признак сдвиговых меланжей – наличие в матриксе мелких нейтральных складок с субвертикальными или круто наклоненными шарнирами. Главную роль в выделении этого типа микститов является достоверное определение реального сдвигового типа самого нарушения, с



Рис. 3. Классификация меланжей

четким разделением правостороннего или левого смещения и его амплитуды.

Сбросовые меланжи формируются на крыльях раздвигов при эндогенном рифтогенезе и спрединге. По сути, такие сбросы имеют гравигенное происхождение и формируют другой тип микститов – экзогенные олистостромы, классификация которых приведена ниже. Отнесение меланжа к сбросовому типу возможно лишь в том случае, когда в зоне сброса присутствуют синхронные смещению высокотемпературные минералы, свидетельствующие об эндогенном происхождении разрыва.

Надвиговые меланжи наиболее широко развиты в конвергентных орогенах. Микститы, сформированные при субдукции и коллизии, в общем похожи. При длительной конвергенции, субдукция постепенно переходит в коллизию с образованием сходных складчато-надвиговых структур. Поэтому надвиговые меланжи четко могут разделяться лишь по расположению к главной зоне конвергенции – на сутурные, фронтальные и тыловые.

Сутурные меланжи связаны с древними зонами конвергенции, в которых были поглощены значительные фрагменты древней океанической или субокеанической коры. После субдукции, континентальные массы древних плит или террейнов сходятся с образованием регионального надвига огромной амплитуды. В сутурных меланжах проявляется динамометаморфизм высоких давлений и относительно низких температур. Здесь же развита самая интенсивная дислоцированность пород из всех известных на Земле. Специфической

особенностью их является наличие кластолитов из офиолитовой триады палеоокеанической коры. Могут присутствовать фрагменты пород первого (осадочного) слоя, сложенного глубоководными илами и радиоляритами, превращенными в яшмы и фтаниты, фрагменты второго-третьего слоя (базальтов и габброидов), а также ультрабазиты подстилающей мантии. Кластолиты из ультрабазитов в меланжах обычно сильно изменены и серпентинизированы. В зависимости от преобладающего состава пород, сутурные меланжи подразделяются на офиолитовые и динамосланцевые.

Офиолитовые меланжи по составу весьма разнообразны. Традиционно они называются серпентинитовыми и обычно располагаются в основании офиолитовых покровов. Матрикс из тектонизированных серпентинитов местами превращен в перетертый агрегат по ультрабазитам. Кластолиты от сантиметров до первых сотен метров, имеют неправильную форму и представлены глыбами пород офиолитовой ассоциации. Меланж перекрывается и включает в себя фрагменты тектонических чешуй разного состава и возраста. Поэтому традиционное название «серпентинитовый меланж» не вполне отвечает составу кластолитов, а иногда и матрикса. Такие микститы правильнее называть сутурным офиолитовым меланжем, подразумевая различный состав слагающих пород с присутствием офиолитов.

Динамосланцевые меланжи отличаются от офиолитовых преобладанием в них метаморфических сланцев высоких давлений и низких температур с незначительным содержанием кластолитов. Такие зоны характерны для верхних частей коллизионных сутур, первоначально сложенных абиссально-батиальными осадочными породами аккреционного клина. Синонимами такого меланжа являются глаукофансланцевый, голубых сланцев и др., в зависимости от преобладающего состава слагающих пород и степени динамометаморфических преобразований.

Фронтальные меланжи располагаются в автохтоне древних коллизионных сутур или в молодых активных зонах конвергенции. Они наклонены в одну сторону со швом и имеют одинаковую вергентность связанных с ними складок. Более детальная типизация таких меланжей определяется составом слагающих их кластолитов и матрикса (рис. 3). Общепринято разделение их на осадочные, вулкано-терригенные, гипсокарбонатные меланжи.

В предшествующих классификациях отдельно рассматривались терригенные и карбонатные меланжи. Но поскольку оба типа слагающих пород являются осадочными, мы, как и в зарубежных публикациях, выделяем осадочные меланжи, подчеркивая седиментационный тип слагающих их пород. В зависимости от разного или одинакового литологического состава обломков, они традиционно разделяются на полимиктовые и мономиктовые.

Гипсокарбонатные и гипсосолевые меланжи связаны с высокой пластичностью слагающих их пород в условиях тангенциального сжатия, что неизбежно приводит к их аномальной дислоцированности. В геодинамической эволюции по циклу Вильсона, соленосные отложения закономерно формируются в основном на двух этапах – рифтогенном и коллизионном. Соленосные комплексы

рифтогенного этапа подстилают пассивно-окраинные формации и при конвергенции послойно меланжированы во многих орогенах мира. На коллизионном этапе соленосные комплексы формируются в передовых, реже тыловых прогибах и определяют их тектоническую расслоенность.

Тыловые меланжи нередко сходны с фронтальными, но связаны с ретронадвигами, имеющими наклон противоположный коллизионной сuture. Такие микститы располагаются в тыловой части складчато-надвиговой области или зон конвергенции и легко диагностируются по их положению относительно основных надвиговых структур.

Меланжи сложного генезиса образуются при наложении разных этапов длительной геодинамической эволюции. Четко обоснованные микститы смешанного генезиса в литературе описывались редко, хотя выделено их достаточно много. Важно отметить, что разнотипные меланжи и рассмотренные ниже олистостромы нередко формируются одновременно. Как следствие, образуются тектонизированные фронтальные олистостромы. Их формирование связано с оползневыми комплексами, развитие которых контролируется тектоническими покровами и надвигами. Терригенные полимиктовые меланжи иногда развиваются в подошвах покровов при тектонизации олистостром, образованных перед фронтом надвигающегося покрова. Такой меланж имеет нечетко выраженный, постепенный нижний контакт, которым он отделяется от подстилающих олистостром. Верхний контакт, по которому его перекрывают образования покрова – тектонический.

Меланжи представляют собой широко распространенные тектонические образования, известные во многих регионах мира. Предложенная геодинамическая классификация включает все известные типы современных и древних меланжей, что позволяет разделять их в древних и в современных орогенах.

Классификация несогласий. Геодинамическая эволюция орогенов достаточно четко фиксируется в несогласном залегании осадочных формаций. Это выражено значительными перерывами в осадконакоплении между комплексами слоев и проявляется в разном их залегании. Выделено много видов несогласий, морфологические признаки которых изложены в монографиях, учебниках, справочниках и статьях.

На рис. 4 представлена генетическая классификация несогласий и их соотношений практически всех ранее выделенных типов, включая термины-синонимы. Подразделения отличаются масштабами распространения и выраженностью в стратиграфических разрезах. Их конкретные примеры приведены в статье [11].

С позиций актуалистической геодинамики можно выделить три основные причины формирования несогласий. Первая связана с глобальной эволюцией земной коры очень крупных регионов Земли в соответствии с циклом Вильсона (рифтогенез – спрединг – субдукция – коллизия). На заключительных этапах развития цикла формируются конкретные (но не повсеместные на Земле) угловые несогласия, разделяющие структурно-геодинамические комплексы разных циклов.



Рис. 4. Классификация несогласий

Вторая причина связана с проявлением регионального тектогенеза на фоне развития этапов одного цикла Вильсона. Эти несогласия имеют менее масштабное и более локальное распространение, связанное с некоторым ускорением в целом непрерывно и длительно проявляющегося процесса конвергенции. Такие несогласия являлись основанием для выделения многочисленных и противоречивых фаз тектогенеза, считавшихся глобальными. Отметим, что многие такие фазы оказались «скользящими» во времени, вследствие длительной миграции зоны основного структурообразования от внутренних зон складчато-надвиговых областей к внешним. Кроме того, во многих конвергентных орогенах присутствует сдвиговая составляющая. В результате, по простирацию складчато-надвигового пояса образуются зоны продольных поднятий и опусканий с разным уровнем денудационного среза. Соответственно в них фиксируются разные диапазоны размыва осадочного комплекса.

Третья, причина формирования несогласий связана с эпейрогеническими поднятиями и седиментацией на фоне проявления первых двух причин, связанных с эндогенным тектогенезом. Кроме того, за счет экзогенных эвстатических колебаний уровня морей и мирового океана на кратонах формируются *стратиграфические параллельные несогласия* с различными подтипами (рис. 4).

Угловые несогласия наиболее важные для понимания геодинамической эволюции регионов. Они понимаются как взаимоположение осадочных толщ, имеющих существенно разные углы наклона. Поверхностью несогласия считается подошва вышележащего комплекса. Нижележащие слои дислоцированы сильнее, чем их перекрывающие и залегающие субпараллельно несогласному контакту

Поскольку структурообразование часто происходит одновременно с осадконакоплением, на сейсмопрофилях и при непосредственном изучении контактов, даже в одном небольшом районе можно наблюдать разные типы согласных и несогласных соотношений толщ. В присводовых частях растущих антиклиналей выделяются зоны размывов со стратиграфическими, а локально и с угловыми несогласиями. На крыльях складок они переходят в согласные стратиграфические контакты. Такие локальные конседиментационные угловые несогласия также не отражают наличия тектонопауз и не дают оснований для выделения фаз тектогенеза, отдельных структурных этажей и ярусов.

Локальные угловые несогласия, проявленные в сериях грубо-косослоистых пород, иногда сопровождающиеся резко выраженными угловыми несоответствиями слоев осадков. Такие размывы (диаастемы) также не отражают переломных моментов в тектоническом развитии региона и не предшествуют новым циклам осадконакопления. Ряд исследователей мелкие размывы внутри толщ к несогласиям не относят и называют их ложными.

Крайевые несогласия, образуются при эвстатических изменениях уровня морей и океанов. Такие образования следует рассматривать как неоавтохтоны, характерные для многих горно-складчатых районов мира. Они обусловлены не тектонопаузами между фазами складчатости, а аномально быстрым осадконакоплением на отдельных участках при непрерывно продолжающемся структурообразовании.

Тектонические несогласия, связаны с пологими разрывами эндогенного и гравигенного происхождения. Они образуются на дивергентном или конвергентном этапах развития и формируют разные падения пород в крыльях, внешне схожие со стратиграфическими угловыми несогласиями. Отличие заключается в присутствии на контактах зон брекчирования, мелких складок и зеркал скольжения, что позволяет легко их различать. Отметим, что ряд исследователей тектонические контакты с разным падением пород в крыльях надвигов несогласиями не считают. Это приводит к путанице терминов, а также интерпретаций строения и истории развития конкретных геологических объектов. *Гравигенные тектонические несогласия* в основном связаны с пологими сбросами, развитыми в основаниях сползших олистолигов и олистоплак [8, 11].

В заключение добавим, что вследствие разной компетентности породных комплексов, разделенных совершенно очевидными стратиграфическими несогласиями, по зоне их контакта при конвергенции часто происходит субпослойный срыв (флэт, детачмент). В таких случаях следует отдельно рассматривать генезис и возраст собственно стратиграфического и наложенного тектонического несогласия с определением возраста и роли каждого из них.

Классификации интрузивного и эффузивного магматизма достаточно хорошо разработаны по морфологическому признаку (формы тел) и по петролого-геохимическим особенностям. Однако четкого деления по происхождению на основе актуалистической геодинамики они не дают. Исключение составляет, составленная нами 20 лет назад классификация, которая была уточнена с рассмотрением конкретных примеров в разных регионах [2, 3, 5, 6, 7, 8, 10 и др.]. Исходя из положения современного магматизма Земли в различных

геодинамических обстановках, дополненная генетическая классификация приведена на рис. 5. Она основана на общей эволюции земной коры и отражает все известные современные и древние проявления этих процессов.



Рис. 5. Геодинамическая классификация магматизма Земли с современными примерами

Космогенный (импактный) магматизм связан с падением на Землю крупных космических тел. Он встречается редко, не укладывается в закономерности геодинамической эволюции и непосредственно не связан с эндогенными процессами. Примерами тому – разновозрастные астроблемы, в центральных частях которых присутствует специфический вулканизм [1, 3 и др.]. Можно предполагать, что на самых ранних стадиях развития Земли этот вид магматизма был одним из главных, но ныне у поверхности почти не сохранился.

Плюмогенный магматизм (горячих точек, внутриплитный) – один из самых грандиозных на Земле. Он излил десятую долю лав на поверхности и формирует наиболее крупные вулканы. Источник магмы расположен глубоко в мантии, где кроме верхнего яруса конвекционных токов, отвечающих за тектонику плит, существует нижний ярус конвекции. Из него поднимаются отдельные горячие струи из магмы диаметром до сотен километров. У поверхности они образуют “горячие точки”, число которых на Земле по разным данным составляет от 36 до 122. Их примеры рассмотрены во многих публикациях [2, 3 и др.]. С древними горячими точками на континентах связаны мощные трапповые излияния и специфический

кимберлитовый вулканизм [6].

Рифтовый магматизм формируется при горизонтальном раздвигании мантийными токами толстой континентальной коры. Такой процесс происходит в системе Восточно-Африканских рифтов, длиной 3 тыс. км и сопровождаются большим тепловым потоком из недр. Здесь же формируются вулканы разных морфологических типов (рис. 5) и покровные трещинные излияния. К рифтогенному геодинамическому режиму в геологическом прошлом был приурочен кимберлитовый вулканизм [5, 6 и др.].

Спрединговый магматизм распространен на Земле наиболее широко. Он сформировал “базальтовый” слой океанской коры, занимающей 56% поверхности планеты. Излияния такого типа составляют 80% объема всех вулканических пород. Общая протяженность срединно-океанических хребтов, в которых формируется новообразованная океанская кора, составляет около 60 тыс. км. На склонах хребтов под тонким слоем осадков залегают базальты, излившиеся на поверхность дна в виде покровов, даек и многочисленных мелких вулканических построек. На более глубоком уровне океанической коры образуется габбровый слой в основании которого залегают кумулятивный расслоенный дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый слой. Спрединговый магматизм оказывает влияние и на мантию, формируя ее истощенный верхний слой.

Отдельным подтипом является *задуговоспрединговый* магматизм, формирующий новообразованную субокеаническую кору в задуговых бассейнах (например, в морях Охотском, Японском, Банда и Черном). Следует отметить, что на континентах, вследствие последующей субдукции, от спредингового магматизма в геологической летописи остаются лишь фрагменты в офиолитовых меланжах присутурных зон.

Конвергентный магматизм формируется при сжатии литосферных плит. При субдукции океанской коры на глубинах 50-300 км происходит выплавка преимущественно андезитовой магмы. В плане зона плавления удалена по падению сместителя на расстояние 100-500 км, в зависимости от угла его наклона. Поэтому этот тип вулканизма назван нами *надсубдукционным*, чтобы подчеркнуть его удаленное положение от выхода на поверхность зоны конвергенции, выраженной «холодным» глубоководным желобом [2, 3 и др.].

На суше с надсубдукционным магматизмом связано 75% всех действующих вулканов. Классический пример тому – “андезитовая линия” вокруг Тихого океана, состоящая из многочисленных вулканических построек, в двух типах окраин. *Активноокаинный магматизм* (восточнотихоокеанского или андийского типа) проявляется на краях континентов, примыкающих к зоне субдукции. Пример тому – вулкан Парикутин на юге Северной Америки, Льюльяльяко в Андах и др. [2, 3 и др.]. На глубине формируются плутоны диоритов, гранодиоритов и тоналитов.

Островодужный магматизм широко развит на севере, западе и юге Тихого океана, а также в Индонезийской зоне конвергенции. Строение надвигаемой окраины иное, что отражается и в составе магматитов. Наиболее известный вулкан этого типа – Кракатау).

Коллизионный магматизм происходит, когда океаническая кора в зоне

конвергенции полностью поглощена и сталкиваются фрагменты континентальной коры. Магматизм в этих условиях в основном среднего и кислого состава. Обычно он проявляется на ранних стадиях коллизии, когда на глубине еще идет подвиг переходной коры. Примеры тому приведены в работах [2, 3 и др.]. Вероятно, он связан с седловинными отслоениями и разуплотнениями в ядрах очень крупных принадвиговых антиформ.

Предложенная генетическая классификация на основе актуалистической геодинамики позволяет разделить многообразие объектов и понять закономерности размещения проявления современного и древнего магматизма.

Процессы и объекты экзогенной геодинамики

Классификация олистостром, как гравигенных экзогенно-тектонических микститов, разработана недостаточно. Их типизация по внутреннему строению, литологическому составу или другим признакам несовершенна, поскольку одинаковый набор составляющих обломков пород может быть в генетически разных видах микститов и наоборот. Типизации с позиций тектоники литосферных плит были противоречивы и не охватывали все виды микститов. Разработанная нами полная генетическая классификация олистостром, основанная на актуалистической геодинамике и цикле Вильсона (рис. 6). Более детальные описания подразделений и их конкретных примеров приведены в публикациях [9, 10 и др.].

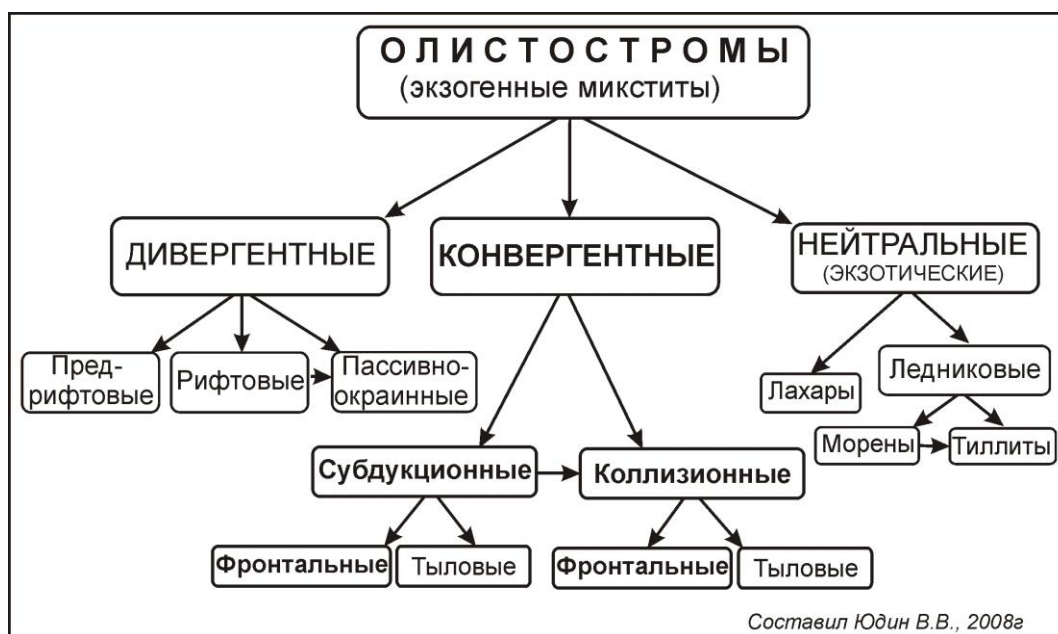


Рис. 6. Классификация олистостром

Дивергентные олистостром связаны со склоновыми процессами перед началом расхождении литосферных плит, при рифтогенезе, а также на пассивных окраинах континентов. Современные процессы дивергенции создают контрастный

рельеф, с перепадами высот от сотен метров до 2-6 км, на склонах которого, происходит образование олистостром. Согласно принципу актуализма, можно полагать, что в рифтогенных литодинамических комплексах палеоскладчато-надвиговых поясов, можно выявить древние аналоги таких микститов.

Предрифтовые олистостромы образуются на склонах крупных сводовых поднятий, предшествующих рифтогенезу. Примеры тому выявлены в раннемеловое время в Крыму, Турции и на Кавказе [8, 9, 10].

Рифтовые олистостромы формируются в начале собственно дивергентного этапа. По системе сбросов создаются линейные грабены с достаточно контрастным рельефом, что способствует формированию гравигенных микститов. Современные аналоги такого режима известны в Восточноафриканских и Байкальском рифтах, в Красном море и других районах.

Пассивноокраинные олистостромы образуются в подводных условиях, после перехода рифтогенного режима к спрединговому и появления океанической коры. Роль эндогенного тектонического фактора при создании микститов мала или отсутствует. Материал подводных олистостром образуется на относительно крутых континентальных склонах пассивных окраин огромной протяженности. Современными примерами тому - гравигенные микститы на континентальных склонах Атлантического океана, где перепады высот подводного рельефа достигают 5-6 км. Аналогичные микститы выявлены и в древних пассивноокраинных формационных комплексах горно-складчатых областей.

Конвергентные олистостромы развиты наиболее широко и нами разделены на субдукционные и коллизионные (рис. 6). Основным отличием между ними является преобладание в субдукционном типе морских, а в коллизионном – наземных олистостром. Оба типа микститов проявляются во фронтальной и тыловой частях зон конвергенции. По отношению к основной зоне субдукции или коллизионной сuture, они достаточно просто различаются на фронтальные и тыловые подтипы.

Субдукционные олистостромы формируются преимущественно на подводных склонах островных дуг и активных окраин андийского типа, а также в глубоководных желобах с наиболее контрастным рельефом на Земле. Большинство древних субдукционных олистостром осложнены эндогенной тектонической переработкой. Она выражена ремобилизацией олистолитов и матрикса эндогенными разрывами и ассоциацией с меланжами.

Фронтальные субдукционные олистостромы развиты в складчато-надвиговых поясах перед фронтом надвигающихся аллохтонов. Состав обломков в микстите очень разный из-за смешения в аккреционной призме пород океанической и субконтинентальной коры. Это может привести к впечатлению меланжевой природы. Главным отличительным признаком гравигенного происхождения служит слабая степень эпигенетических преобразований матрикса и линзообразные формы тел среди осадочных толщ флиша. Древние фронтальные олистостромы протягиваются вдоль складчато-надвигового пояса на сотни и тысячи километров.

Тыловые субдукционные олистостромы развиты менее широко. Для их формирования необходим достаточно крутой склон, который в тылу тектонических покровов обычно положе, чем во фронтальной зоне. Формирование

тылового оползневого комплекса происходит при наличии крупных ретронадвигов обратного падения и присутствия в стратиграфическом разрезе пластичных прослоев глин или солей.

Кроме классической субдукции, в геодинамике хорошо известен процесс квазисубдукции – поглощение субокеанической коры в задуговых бассейнах. При таком режиме перепады рельефа в 1-3 км достаточны для формирования мощного гравигенного комплекса. Отличие *квазисубдукционных* олистостром заключается в отсутствии в матриксе и олистолитах пород офиолитовой ассоциации. Пример тому – батияль Черного моря [10, 11].

Коллизионные олистостромы широко развиты в разных регионах от раннего палеозоя до настоящего времени. Они связаны со столкновением континентальных плит на заключительных этапах цикла Вильсона. Как следствие, тип микститов в них преимущественно субаэральный. Такие олистостромы образуются в краевых и тыловых прогибах. Они характерны в верхней пестроцветной континентальной молассе и в нижней сероцветной морской молассе. Литология микститов может быть разной и зависит от состава пород воздымающегося горного сооружения. Коллизионные олистостромы также подразделяются на фронтальные и менее крупные тыловые. Их дифференциация легко проводится по расположению в автохтоне коллизионной сутуры краевого прогиба и по положению тылового прогиба в автохтонах ретронадвигов обратного падения.

Нейтральные (экзотические) олистостромы выделены нами отдельно в связи с отсутствием их непосредственной связи с рельефом, сформированным эндогенными геодинамическими режимами по циклу Вильсона. К ним отнесены лахары и ледниковые олистостромы [9, 10 и др.].

Лахары образуются на склонах вулканов независимо от их происхождения (см. рис. 5). Пирокластический материал грязекаменных потоков имеет вулканогенно-осадочное происхождение, а его перемещение по склону обязано гравитационным процессам. От классических олистостром их отличает способ образования вулканокластического материала и локальная приуроченность к конкретной вулканической постройке.

Ледниковые микститы (морены) формируются при движении и таянии покровных и горных ледников. Хаотический характер их строения локально перемежается с элементами нормально-осадочного строения. Древние морены (*тиллиты*) также характеризуются всеми признаками, свойственными микститам. Они образуют псевдостратифицированные тела большой протяженности и толщины со специфическими признаками строения (следов абразивной обработки обломков и ложа комплекса; наличие эрратических валунов, отсутствие связи со склонами и др.).

В заключение рассмотрения олистостром отметим, что, различные их типы играют важную роль в строении верхней части земной коры. Составленная геодинамическая классификация включает практически все известные в мире виды современных и древних гравигенных микститов.

Классификация опасных и катастрофических волн по генезису имеет важное значение для понимания современных и древних геологических процессов.

В классификациях океанологов обычно отмечались ветровые, приливные, анемобарические, сейсмические, «корабельные» и другие волны. Ниже приведена более полная генетическая классификация опасных волн, которая ранее нами не публиковалась (рис. 7).

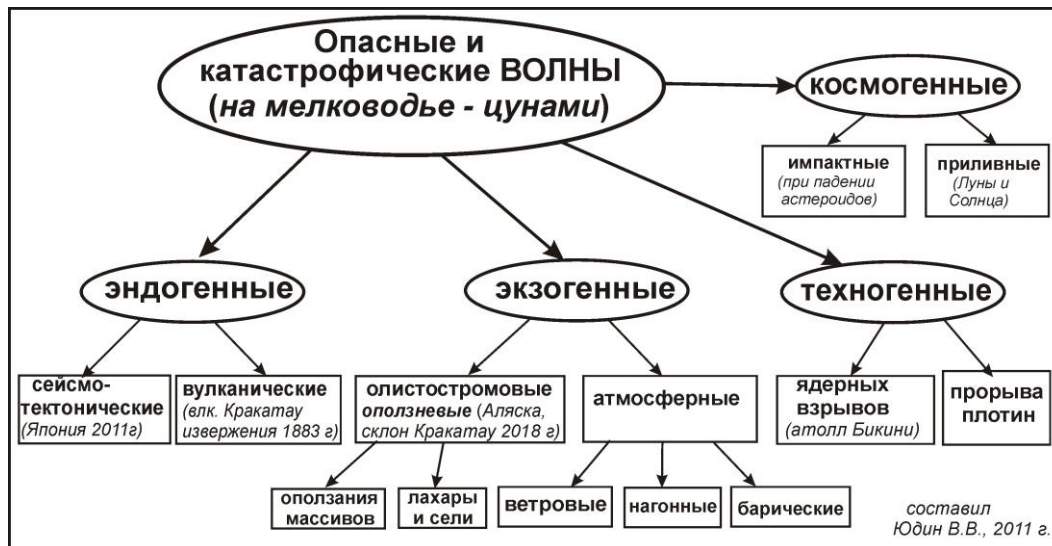


Рис. 7. Генетическая классификация волн

Отдельно выделены *космогенные* типы с достаточно прогнозируемыми *приливными* гравитационными волнами от Луны и Солнца. Совершенно непредсказуемыми являются *импактные* волны в результате падения в океан астероидов. Следы от таких катастроф могли сохраниться в разрезах древних осадочных пород.

Наиболее опасные волны *эндогенного* происхождения формируются при резких смещениях крыльев крупных подводных сейсмогенных разрывов, имеющих значительную вертикальную составляющую. При подходе к берегу такие волны образуют региональные, реже глобальные катастрофические цунами (рис. 7). То же касается цунами от крупнейших береговых и подводных вулканических извержений, которые фиксируются по всему Мировому океану. Пример тому – катастрофическое извержение влк. Кракатау в 1883 г.

Экзогенные волны связаны с гравигенными и атмосферными процессами. Самая высокая из известных волн образовалась в бухте Литуйя на Аляске. Там в 1958 г. в результате обвального оползня из-за землетрясения образовалась волна высотой до 500 м. Другой тип олистоостромового генезиса волн связан с вулканическими сейсмотолчками, приводящими к разрушению склонов прибрежных вулканов (рис. 7). Наиболее широко распространенные *атмосферные* волны, разделяемые на ветровые, нагонные и барические.

К особому типу отнесены *техногенные* волны, связанные с деятельностью человека. Наиболее опасные из них происходили и прогнозируются при ядерных

взрывах в океанах и при прорывах плотин крупных водохранилищ. К этой же группе можно отнести часто фигурирующие в литературе «корабельные» волны от движения на большой скорости крупных судов. Выделенные в классификации генетические типы опасных волн не исчерпывают весь спектр их происхождения. Каждый их типов может накладываться другой с увеличением их опасности. Этому же способствует пологая морфология дна берега, особенно в устьях рек и многие другие факторы.

ВЫВОДЫ

Предложенная в статье разработка важной научной проблемы – классификации основных геодинамических процессов и объектов Земли включает практически все известные типы современных и древних орогенов, магматизма, меланжей, олистостром, несогласий и катастрофических волн. Учитывая сложность и многообразие геодинамических процессов и созданных ими геологических объектов, разработанные автором классификации, могут быть уточнены и дополнены. Приведенные рисунки с иерархией геодинамических процессов и объектов рекомендуются для использования, профессиональным ученым, а также для обзорных лекций современного состояния науки студентам геологических и географических специальностей.

Автор выражает глубокую благодарность докторам геол.-мин. наук Д.Н. Ремизову, Ю.Г. Юровскому и многим другим коллегам за полезные дискуссии и замечания при создании классификаций и статьи.

Список литературы

1. Юдин В.В. Орогенез Севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург, УИФ “Наука”, 1994. 284 с.
2. Юдин В.В. Магматизм Крымско-Черноморского региона с позиций актуалистической геодинамики. // Мінеральні ресурси України, 2003, №3. Київ. УкрДГРІ. С. 18-21.
3. Юдин В.В. Геодинамическая классификация вулканизма Земли на основе актуалистической геодинамики. В кн.: Труды междунар. конф., Ч. 1. “Эффузивно-осадочный литогенез и рудогенез”. Крымское отд. УкрГГРИ, Симферополь, 2004. С. 118-124.
4. Юдин В.В. О понятиях геодинамика и экогеодинамика. // Геополитика и экогеодинамика регионов. Симферополь, 2005. Т. 1, вып. 1. Крымский НЦ НАНУ, ТНУ. Симферополь. С. 21-24.
5. Юдин В.В. Геодинамические и структурные критерии коренной алмазоносности в Украине // Мінеральні ресурси України, Київ, 2005, №2. С. 9-12
6. Юдин В.В. Алмазоносность Украины с позиций геодинамики. В кн.: Прогнозирование и поиски коренных и россыпных алмазных месторождений. М-лы 2-й Международной конф. Симферополь-Ялта, сентябрь 2004 г. Киев, УкрГГРИ, 2006. С. 227-234.
7. Юдин В.В. Геодинамика Черноморско-Каспийского региона (*Монография*). Киев, УкрГГРИ, 2008. 117 с.
8. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Монография. Симферополь, ДИАЙПИ, 2011. 336 с.
9. Юдин В.В. Классификация олистостром. Труды Крымской Академии наук, Симферополь, 2012. С. 150-162
10. Юдин В.В. Надвиговые и хаотические комплексы. *Монография*. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2013. - 252 с., 34 рис., 180 библи. ISBN 978-617-648-185-0
11. Юдин В.В. Угловые несогласия в обнажениях Крыма и сейсмических разрывах // Збірник наукових праць УкрДГРІ, №4, Київ, 2013-а. С. 127-136.
12. Юдин В.В. Классификация меланжей / Труды Крымской Академии наук. Симферополь, 2014. С. 113-123.

GENETIC CLASSIFICATIONS OF GEODYNAMIC PROCESSES

Yudin V.V.

Crimean Academy of Sciences, Simferopol, Russia
E-mail: yudin_v_v@mail.ru

Classifying geodynamic processes and objects still remains one of the most important problems of modern theoretical geology. Numerous types of existing geodynamics classifications have been based on a number of criteria such as morphological, structural-tectonic and others.

In this paper seven clarified and complemented genetic classifications are described, that constitutes a synthesis of geological research that have been conducted by the author for more than 25 years period. Some of them were published earlier in articles and books of the author, which provide more detailed justifications for geodynamic classifications and distinguished categories of different ranks.

Short descriptions of the classifications proposed are shown below.

Actualistic geodynamic is divided into endogenous and exogenous geodynamics. In each of them, paleo- and neo- geodynamics, as well as specific engineering, seismic, ecological geodynamics, etc. are discriminated.

A genetic-evolutionary classification of orogens has been created. Two main classes are distinguished - divergent and convergent, as well as transform and exogenous. Each of these classes is divided into 2-3 types and a subtypes in accordance with modern orogens.

A genetic geodynamic classification of tectonic mélanges proposed by the author differs from earlier classifications that were developed on the basis of the structure morphology and composition of mixtites. The main convergent thrust, transform shear, and divergent fault mélanges are identified as categories of the tectonic mélanges. In turn, thrust mélanges are divided into sutural, frontal and rear ones, each of which has 2-3 lithological subtypes.

Previously in the geological literature, many types of unconformities were described and their classification was mainly based on morphological features. The author of the article has compiled a genetic-geodynamic classification of unconformities, which includes almost all previously identified types. Among them, three main types (angular, parallel, and marginal) are distinguished, each of which has 2-3 subtypes and categories of lower ranks.

Classifications of magmatism are well developed on the basis of morphological and petrologic-geochemical characteristics. However, there has not been yet any classification based on origin of magmatism in the terms of actualistic geodynamics concept. Taking into consideration position of the foci of modern Earth's magmatism in various geodynamic settings, a complete genetic classification that reflects all known modern and ancient displays of magmatic processes has been compiled. Thus, magmatism is divided into divergent and convergent, plumeogenic and cosmogenic. The first two categories are divided into types and subtypes according to the Wilson cycle.

Existing classifications of olistostromes (gravitational exogenous-tectonic mixtites) based on such criteria as internal structure, lithological composition, and others are seem to be insufficiently developed. The article presents a genetic classification of olistostromes in

the terms of the actualistic geodynamics and the Wilson cycles. Divergent, convergent and neutral types are distinguished, each of which has 2-3 subtypes and more categories of lower ranks.

A genetic classification of dangerous and catastrophic waves is represented in the paper. Amongst the waves endogenous, exogenous, cosmogenic and technogenic waves are recognized. These four categories are divided into 2-3 types and 2-3 subtypes.

Taking into account the complexity and diversity of geodynamic processes and the geological objects created by them, the classifications presented in the paper may need further clarification and elaboration. The drawings with a hierarchy of geodynamic processes and objects are recommended for use by professional scientists, as well as by students of geological and geographical specialties.

Перевод А. Б. Паннелл

References

1. Yudin V.V. Orogenez Severa Urala i Paj-Hoja [Orogenesis the North Ural and Pay-Khoj]. Ekaterinburg, UIF "Nauka", 1994, 284 p. (in Russia).
2. Yudin V.V. Magmatizm Krymsko-Chernomorskogo regiona s pozicij aktualisticheskoy geodinamiki. Mineral'ni resursi Ukraïni, 2003, no 3, Kiïv. UkrDGRI, pp. 18-21 (in Russia).
3. Yudin V.V. Geodinamicheskaja klassifikacija vulkanizma Zemli na osnove aktualisticheskoy geodinamiki. V kn.: Trudy mezhdunar. konf., Ch. 1. "Jeffuzivno-osadochnyj litogenez i rudogenez". Krymskoe otd. UkrGGRI, Simferopol', 2004, pp. 118-124 (in Russia).
4. Yudin V.V. O ponjatijah geodinamika i jekogeodinamika regionov. Geopolitika i jekogeodinamika regionov. Simferopol', 2005. T. 1, vyp. 1. Krymskij NC NANU, TNU. Simferopol', pp. 21-24 (in Russia).
5. Yudin V.V. Geodinamicheskie i strukturnye kriterii korennoj almazonosnosti v Ukraine. Mineral'ni resursi Ukraïni, Kiïv, 2005, no 2, pp. 9-12 (in Russia).
6. Yudin V.V. Almazonosnost' Ukrainy s pozicij geodinamiki. V kn.: Prognozirovanie i poiski korennyh i rossypnyh almaznyh mestorozhdenij. M-ly 2-j Mezhdunarodnoj konf. Simferopol'-Jalta, sentjabr' 2004 g. Kiev, UkrGGRI, 2006, pp. 227-234 (in Russia).
7. Yudin V.V. Geodinamika Chernomorsko-Kaspijskogo regiona [Geodynamics of the Black Sea- Caspian Sea region]: Monogr. Kiev, UkrGGRI, 2008, 117 p. (in Russia).
8. Yudin V.V. Geodinamika Kryma. Monografija. Simferopol', DIAJPI, 2011, 336 p. (in Russia).
9. Yudin V.V. Klassifikacija olistostrom. Trudy Krymskoj Akademii nauk, Simferopol', 2012, pp. 150-162.
10. Yudin V.V. Nadvigovye i haoticheskie komplekсы [Tthrust structures and mixtites]: Monogr. Simferopol': IT «ARIAL», 2013, 252 p. (in Russia).
11. Yudin V.V. Uglovye nesoglasija v obnazhenijah Kryma i sejsmicheskikh razrezah. Zbirnik naukovih prac' UkrDGRI, №4, Kiïv, 2013, pp. 127-136 (in Russia).
12. Yudin V.V. Klassifikacija melanzhej. Trudy Krymskoj Akademii nauk. Simferopol', 2014, pp. 113-123 (in Russia).

Поступила в редакцию 13.10.2019