

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПОЛОЦКОГО УЧАСТКА
ПОЛОЦКО-КУРЗЕМСКОЙ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ**

Курлович Д.М.

(Белорусский государственный университет, Минск)

Влияние разломов кристаллического фундамента Полоцко-Курземской зоны на развитие осадочного чехла и формирование современного рельефа. оценено с помощью трехмерного моделирования структурных поверхностей, ГИС-моделей корреляции и выявления топалинеаментов. Ключевым участком являлась Полоцкая часть зоны разломов на севере Республики Беларусь. Результаты исследования позволяют предположить, что данная зона разломов после своего первоначального формирования в мезопротерозое остается активной на протяжении всего неопротерозоя и фанерозоя. Тектоническая активность Полоцко-Курземской зоны разломов оказала влияние на формирование осадочного чехла и современного рельефа.

Введение. Современный рельеф является поверхностью раздела для процессов, берущих свое начало в глубинных слоях литосферы, на земной поверхности и в атмосфере. За последние, по крайней мере, 20 млн. лет тектоника литосферных плит и другие геодинамические процессы глубоинной литосферы явились причиной важных структурных изменений рельефа земной поверхности. О преобладании эндогенных процессов среди факторов рельефообразования в районах столкновения литосферных плит известно достаточно давно. Проблемным моментом как раз остаются внутренние части литосферных плит, где только начинается понимание процессов влияния глубоинной литосферы на формирование и развитие осадочного чехла, современный рельеф и гидрографию.

Одним из объектов для понимания связей между кристаллическим фундаментом, покрывающим его осадочным чехлом, и современным рельефом может служить Восточно-Европейская платформа. Здесь довольно хорошо изучены строение и вещественный состав кристаллического фундамента, структура и эволюция осадочного чехла. Исследования чехла были в значительной степени связаны с потенциальной возможностью обнаружения здесь месторождений нефти и газа. Не исключение в этом отношении и западная часть Восточно-Европейского кратона. В последнее время были проведены детальные работы по изучению неотектоники региона, позволившие выявить характер и амплитуды собственно неотектонических

движений, влияние гляциотектоники, выделить активные линейные нарушения. Для данной территории также проводились и исследования степени унаследованности глубинных структур земной коры структурными этажами осадочного чехла и современным рельефом. Однако данные оценки носили чисто визуальный характер. Степень унаследованности оценивалась путем сопоставления структурных карт кристаллического фундамента, осадочного чехла и современного рельефа. Количественные оценки таких взаимосвязей выполнялись лишь в региональном масштабе.

В настоящей работе мы попытались, используя метод ГИС-корреляций структурных поверхностей кристаллического фундамента, осадочного чехла, современного рельефа, количественно определить степень унаследованности структурами осадочного чехла и современным рельефом гипсометрических черт кристаллического фундамента и характер влияния фундамента на развитие этажей осадочного чехла и современный рельеф. Исследование проводилось на примере одной из крупнейших зон разломов в пределах Восточно-Европейского кратона, а именно Полоцко-Курземской (ПКДР). Данная зона прослеживается от района г. Москвы в Российской Федерации, через северную часть Беларуси в Литву и Латвию и, возможно, продолжается через Балтийское море в зону разломов Смоланд-Блекинге (СБДЗ) на юге Швеции и остров Борнхольм (Дания) (рис. 1). Формирование данной разломной зоны происходило в мезопротерозое (примерно 1,5-1,4 млрд, лет назад).

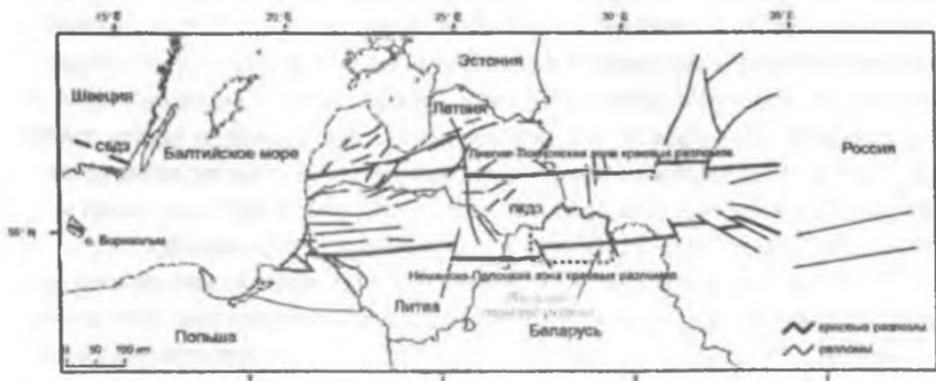


Рис. 1. Полоцко-Курземская зона разломов

Для построения ГИС-моделей корреляции мы выбрали ключевой участок - это Полоцкая часть Полоцко-Курземской зоны на севере Республики Беларусь.

Методика исследований

ГИС-моделирование структурных поверхностей кровли кристаллического фундамента, слоев осадочного чехла и современной поверхности рельефа. Используя программный комплекс ArcGIS (компания ESRI, США) в пределах Полоцкой части Полоцко-Курземкой зоны разломов, были построены структурные 3D-поверхности кровли кристаллического фундамента, рифейских, вендских, ордовикских, девонских и четвертичных отложений и поверхность современного рельефа.

Опубликованные карты гипсометрии кровли фундамента [1], кровли рифейских, вендских и ордовикских отложений [2] для Полоцкого ключевого участка были трансформированы в цифровую форму и пространственно координированы в ГИС. 3 D-модели данных структурных поверхностей были построены с помощью интерполяционных функций модуля Spatial Analyst: метод обратно взвешенных расстояний с опцией полилинии (разломы Полоцко-Курземкой зоны) как барьеры для моделирования кровли кристаллического фундамента и кровли рифейских отложений и метод сплайн с типом натяжение для моделирования кровли вендских и ордовикских отложений. Материалы по интерпретации скважин, пройденных в четвертичных отложениях и геологические описания естественных обнажений [3] были использованы для реконструкции поверхностей кровли дочетвертичных (девонских) и кровли ледниковых и межледниковых отложений в пределах Полоцкого участка. Материалы и описания включали в себя информацию о пространственной позиции (широта/долгота) скважины (или обнажения) и интерпретацию геологического разреза (глубины залегания тех или иных отложений в метрах). Данные были иницированы в ГИС, для создания 3D-моделей был использован метод сплайн с типом натяжение. Трехмерная модель рельефа была построена на основе гипсометрической информации топографических карт на данную территорию в масштабе 1:100 000 (12 карт) применяя интерполяционный метод сплайн.

ГИС-модели корреляции между кровлей кристаллического фундамента и кровлей слоев осадочного чехла и поверхностью современного рельефа. 3D-модели структурных поверхностей кровли кристаллического фундамента, слоев осадочного чехла и современной поверхности рельефа, построенные для ключевых участков, были использованы для определения корреляционной взаимосвязи. ГИС-модели корреляции между кровлей кристаллического фундамента и слоями осадочного чехла создавались с помощью специального расширения («Spatial.CalCorrCoefbyMovingWindow», <http://arcscripsts.esri.com>), написанного для программного комплекса ArcView 3.

Карты корреляции строились по методике «движущегося окна». Для Полоцкого ключевого участка использовался шаг усреднения 5 км. Особенность данной методики заключается в том, что программа разбивает территорию на равные квадраты. Размер квадратов зависит от шага усреднения, т.е. если шаг усреднения 5, то территория будет разбита на серию квадратов 5 × 5 км. Далее, согласно коду программы, рассчитывались коэффициенты корреляции (линейная корреляция по методу Парсона) для каждой пары 3D-моделей структурных поверхностей в пределах каждого квадрата. После этого производилась интерполяция полученных значений коэффициентов корреляции для всей территории ключевого участка (был использован метод сплайн с типом натяжение модуля Spatial Analyst программы ArcGIS), позволившая получить ГИС-модели корреляции.

Суть построенных ГИС-моделей корреляции заключается в том, что они позволяют количественно определить степень унаследованности структурами осадочного чехла и современным рельефом гипсометрических черт кристаллического фундамента. Коэффициенты корреляции в ГИС-моделях варьируют от +1 до -1. Позитивная корреляция между кровлей кристаллического фундамента и одним из слоев осадочного чехла означает прямую взаимосвязь между гипсометрией данных поверхностей, т.е. когда повышение кровли слоя осадочного чехла соответствует повышению кровли фундамента или, наоборот, когда понижение кровли слоя осадочного чехла соответствует понижению кровли фундамента. Негативная корреляция означает обратную взаимосвязь между структурными поверхностями, т.е. когда повышение кровли слоя осадочного чехла соответствует понижению кровли фундамента или когда понижение кровли слоя осадочного чехла соответствует понижению кровли фундамента.

Идентификация тополинеаментов. Довольно часто в пределах Восточно-Европейской платформы разломные зоны находят свое отражение в тополинеаментах на земной поверхности. Мы также попытались определить взаимоотношение разломов Полоцко-Курземской и тополинеаментов. Для этого было произведено комбинированное визуальное и полуавтоматическое выделение линеаментов. Для этого нами были использованы трехмерные поверхности рельефа и цифровые карты рек и озер. Визуально были идентифицированы как тополинеаменты спрямленные участки рек и береговой линии озер, линейно вытянутые формы рельефа. Кроме этого, на основе трехмерной поверхности рельефа с помощью модуля Spatial Analyst программы ArcGIS 9.2. строились специальные карты, такие как отмывка и анаглиф рельефа, уклон и экспозиция склонов. Данные кар-

ты позволили выделить дополнительный ряд тополинеаментов в полуавтоматическом режиме. Тополинеаменты, длина которых оказалась более 1500 м, интерпретировались как основные, с длиной от 1500 до 1 000 м - как локальные основные, с длиной менее 1000 м - как локальные неосновные.

Результаты и дискуссия

В настоящем исследовании влияние мезопротерозойских разломов Полоцко-Курземской зоны на развитие земной коры в фанеразое было изучено благодаря построению трехмерных моделей кровли кристаллического чехла, слоев осадочного чехла и современной поверхности рельефа, корреляционному анализу и выделению тополинеаментов.

В мезопротерозое палеопротерозойский кристаллический фундамент в пределах Полоцкого ключевого участка был разбит на серию горстов и грабенов по разломам Полоцко-Курземской зоны. Формирование данной зоны разломов было связано с орогенными процессами, происходившими в юго-западной части Восточно-Европейского кратона. Горстово-грабеновая структура кристаллического фундамента и разломы Полоцко-Курземской зоны были выявлены по результатам детальных геофизических исследований [1]. Используя карту магнитных аномалий и данные бурения [1,4], мы пришли к выводу, что большинство горстов кристаллического фундамента на Полоцком участке сложены преимущественно породами низкой плотности с низкой степенью намагниченности (граниты, гнейсы, мигматиты), с другой стороны, все горсты состоят из мафических пород высокой плотности и намагниченности.

Горстово-грабеновая структура кристаллического фундамента и состав слагающих их пород могли оказывать определенное влияние на развитие осадочного чехла. Для определения данного возможного влияния нами были проанализированы определенные параметры, такие как гипсометрия кровли кристаллического фундамента, состав горных пород, слагающих фундамент; гипсометрия кровли основных этажей осадочного чехла, литология пород осадочного чехла, коэффициенты корреляции между поверхностью кровли кристаллического фундамента и поверхностями кровли каждого структурного этажа осадочного чехла.

Предполагаем, что породы фундамента с низкой плотностью и низкой намагниченностью могли способствовать тектоническому поднятию территории, мафические горные породы, напротив, могли вызывать тектоническое опускание. Литологический состав пород осадочного чехла позволяет реконструировать палеогеографические условия осадконакопления в различные периоды формирования чехла. Так, терригенные отложения,

такие как песчанники и алевриты, позволяют предполагать относительно мелководные условия осадконакопления, а даломиты и известняки - глубоководные условия осадконакопления. Коэффициенты корреляции между поверхностью кровли кристаллического фундамента и поверхностями кровли каждого структурного этажа осадочного чехла позволяют выделить периоды одинаковых гипсометрических характеристик поверхности фундамента и слоя осадочного чехла (позитивные коэффициенты корреляции) и ситуации гипсометрической инверсии (негативные коэффициенты корреляции).

Анализ всех перечисленных выше параметров позволил произвести следующую группировку блоков кристаллического фундамента Полоцкого участка:

Группа 1 включает блоки фундамента: 4, 6, 11 и 14 (рис. 2), которые на протяжении всего фанерозоя испытывали только тектоническое опускание или только тектоническое поднятие. Эта тенденция связана с составом пород, слагающих блоки фундамента («гранитоидные» блоки испытывали тектоническое поднятие, «мафические» блоки - тектоническое опускание) и подтверждается тем, что преимущественно терригенные осадки слагают осадочный чехол над «гранитоидными» блоками фундамента и исключительно карбонатные над «мафическими» блоками.

Группа 2 включает блоки фундамента, бывшие наиболее тектонически активными на протяжении последнего (неотектонического) периода. Для некоторых блоков (7, 8 и 9 на рис. 2) состав пород фундамента предопределил характер неотектонической активности, для других блоков (1, 15, 16 и 18) он играл подчиненную роль, так как эти грабены были заполнены мощным осадочными отложениями, а горсты были сложенные тяжелыми мафическими породами.

Группа 3 состоит из блоков фундамента (2, 3, 5, 10, 12, 13 и 17 на рис. 2), которые на различных этапах фанерозоя испытывали как тектонические поднятия, так и опускания. Различный характер тектонической активности частично был связан с составом пород, слагающих фундамент, но также, возможно, был вызван с влиянием орогенных процессов, происходивших недалеко от пределов Восточно-Европейского кратона (каледонская, герцинская, альпийская эпохи горообразования), а также плейстоценовых оледенений.

Группировка блоков кристаллического фундамента, а также анализ палеогипсометрии и литологии кристаллического фундамента, слоев осадочного чехла, корреляционный анализ, позволили лучше понять эволю-

цию осадочного чехла на Полоцком ключевом участке и связь кристаллический фундамент - осадочный чехол в пределах Полоцко-Курземской зоны разломов.

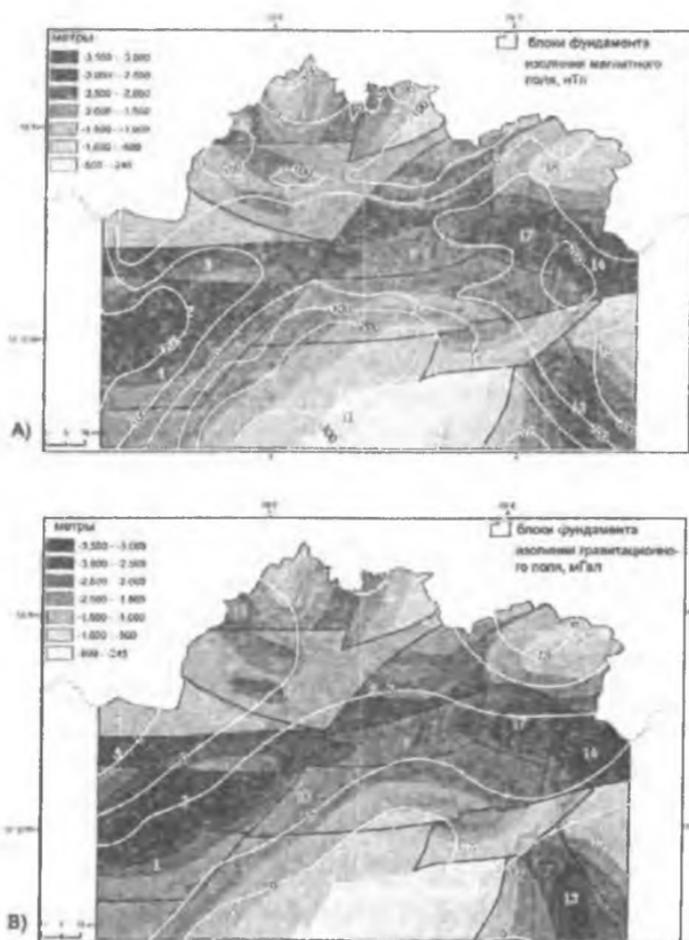


Рис. 2. Блоки кристаллического фундамента Полоцкого участка Полоцко-Курземской зоны разломов в полях магнитных (А) и гравитационных (В) аномалий

Примечание. Магнитное и гравитационное поля по [4]. Цветовой шкалой обозначены абсолютные отметки кровли кристаллического фундамента в метрах [4]. Цифры на рисунках обозначают следующие блоки кристаллического фундамента: 1 - Шарковичинский; 2 - Миорский; 3 - Повятыевский, 4 - Верхнедвинский; 5 - Кохоновский; 6 - Освейский; 7 - Лисновский; 8 - Россонский; 9 - Борковичский; 10 - Новополоцкий; 11 - Ветринский; 12 - Горянский; 13 - Обольский; 14 - Полоцкий; 15 - Козьянский; 16 - Дретуньский; 17- Мариницкий; 18 - Заборьевский.

На протяжении неопротерозоя и раннего палеозоя «гранитоидные» блоки фундамента, принадлежащие первой группе, испытывали тектоническое поднятие, в то время как «мафические» блоки этой же группы опускались. Обольский (13) и Дретуньский (16) грабены стали опускаться в рифее в связи с развитием Волыно-Оршанского авлакогена. В результате опускания данные грабены были покрыты внутриконтинентальным морским бассейном, в котором шло осадконакопление. Активизация разломов Полоцко-Курземской зоны произошла в венде, когда данная территория испытала оледенение. Смена тектонических режимов (опускание во время оледенения и поднятие после отступления) вызвало активизацию. Шарковщинский (1), Миорский (2), Повятыевский (3), Верхнедвинский (4) и Освейский (6) «мафические» блоки, и Кохоновский (5) и Лисновский (7) «гранитоидные» блоки кристаллического фундамента опускались в кембрии и ордовике, что было связано с отдаленным эффектом каледонского горообразования. Данные блоки были перекрыты морским бассейном, в котором накапливались карбонатные отложения.

На протяжении рифея, венда, кембрия, ордовика разломы Полоцко-Курземской зоны в пределах Полоцкого участка оказывали значительное влияние на формирование осадочного чехла. Практически над всеми разломами, и особенно над наиболее активным краевым Неманско-Полоцким разломом, слои осадочного чехла залегают в форме флексур. Это подтверждается и корреляционным анализом. Широкий пояс позитивных коэффициентов корреляции между поверхностью кровли кристаллического фундамента и поверхностями кровли рифейских, вендских, ордовикских отложений над разломами Полоцко-Курземской зоны позволяет предположить флексурный характер залегания данных отложений осадочного чехла, который, возможно, был вызван тектоническими движениями блоков кристаллического фундамента, а также влиянием каледонской орогении [5].

В девоне отмечается новый цикл седиментации на данной территории. Полоцкий участок на данном этапе был покрыт морем. Поднятие «гранитоидных» блоков фундамента и опускание «мафических» блоков, принадлежащих первой группе, продолжалось. Кохоновский (15) и Новополоцкий (10) «гранитоидные» блоки, Миорский (2) и Мариницкий (17) «мафические» блоки, принадлежащие третьей группе, испытали опускания, а Повятыевский (3), Обольский (13) и Горянский блоки этой группы поднимались на протяжении этого периода. Различный характер тектонической активности, возможно, был связан как с составом пород кристаллического фундамента, так и с отдаленным эффектом герцинского горообра-

зования. Трехмерные поверхности кровли дочетвертичных пород, а также поверхности кровли среднеплейстоценовых оледенений/межледниковий отражают серию ложбин ледникового выпахивания и размыва, расположенную над разломами Полоцко-Курземской зоны. Мы предполагаем, что данные ложбины представляли собой так называемые «ослабленные» зоны осадочного чехла, которые были наиболее подвержены экзарационной деятельности среднеплейстоценовых ледников. Карты коэффициентов корреляции между поверхностью кровли кристаллического фундамента и поверхностями кровли дочетвертичных пород, наревских, беловежских, александрийских, днепровских и днепровско-сожских ледниковых/межледниковых отложений показывают практически одинаковую картину, что связано с ограниченным распространением данных ледниковых/межледниковых отложений. Позитивные коэффициенты корреляции широким поясом расположены в центральной части Неманско-Полоцко краевого разлома, что свидетельствует о флексуобразном залегании девонских и среднеплейстоценовых пород над данным разломом [5]. Это подтверждается и геологическим профилированием по скважинам, вскрывшим плейстоценовые и девонские отложения.

Достаточно резкие смены тектонических режимов в плейстоцене, вызванные как альпийскими горообразованиями, так и опусканиями территории во время наступания ледников, сменявшиеся компенсационными поднятиями во время межледниковий способствовали активизации разломов Полоцко-Курземской зоны на Полоцком участке [5, 6]. Наиболее активными на данном неотектоническом этапе оказались блоки кристаллического фундамента, принадлежащие второй группе. Неотектоническое поднятие Ветриновского (И), Заборьевского (18), Козьянского (15) «гранитидных» блоков могло оказать определенное влияние на формирование над ними Нещедринской и Ветринской возвышенностей.

Ледиковые/межледниковые горизонты плейстоцена достаточно четко реагируют на нахождение под ними разломов Полоцко-Курземской зоны выклиниванием горизонтов, флексуобразным залеганием. Кроме того, расположенные над разломами неотектонически активные линейные зоны, выделенные с помощью морфометрического метода, подтверждают наличие флексур и трещин в четверичных отложениях [5, 6]. Разломы Полоцко-Курземской зоны оказали достаточное влияние и на формирование современного рельефа данной территории. Большинство выявленные тополинеаментов, представляющих собой прямые отрезки рек, береговой

линии озер, микроформ рельефа расположены в прямой зависимости от разломов зоны [5].

Выводы

1. После формирования в мезопротерозое в связи с горообразовательными процессами, происходившими в юго-западной части Восточно-Европейского кратона, Полоцко-Курземская зона разломов оставалась тектонически активной на протяжении неопротерозоя и фанерозоя.

2. Фазы активности зоны были связаны как с внутренними (состав пород кристаллического фундамента), так и внешними (отдаленные эффекты каледонской, герцинской, альпийской орогении, влияние оледенений) факторами. Кайнозойская активность зоны была вызвана как неотектоникой, так и различным давлением ледниковых покровов на осадочный чехол.

3. Тектоническая активность Полоцко-Курземской зоны разломов повлияла на формирование осадочного чехла, а также части современной гидрологической сети и форм рельефа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геолого-геофизическая характеристика Полоцко-Курземского пояса разломов / Р.Г. Гарецкий [и др.] // Литосфера. - № 2(21). - 2004. - С. 10-27.
2. Тектоника запада Восточно-Европейской платформы. - Минск: Наука и техника, 1990.
3. Левицкая, Р.И. Сбор и обобщение материалов по четвертичным отложениям северной части БССР с целью составления погоризонтных карт масштаба 1 : 500 000 / Р.И. Левицкая. - Минск, 1990.
4. Геология Беларуси / А.С. Махнач [и др.]. - Минск: Ин-т геолог, наук НАН Беларуси, 2001.
5. Kurlovich, D.M. 2007b: The Polotsk-Kurzeme and the SmSland-Blekinge Deformation Zones of the East European Craton: geomorphology, architecture of the sedimentary cover and the crystalline basement / D.M. Kurlovich U Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet. - Kvartargeologi, nr. 214, Lunds Universitet, Lund.
6. Kurlovich, D.M. 2007a: The Cenozoic activity of the Polotsk-Kurzeme fault belt in the East European Craton and its influence on the topography / D.M. Kurlovich, S.V. Bogdanova, A.K. Karabanov H Geophysical research abstracts OfEuropean Geosciences Union General Assembly. - 2007. - № 9(04994).