

Рисунок 4 – График изменения пластовых давлений добывающего и нагнетательного фонда скважин, МПа

### Библиографические ссылки

1. Мак-Каллок У. С., Питте В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности // Автоматы / Под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. М. : Изд-во иностр. лит., 1956. С. 363–384.
2. Мандрик И. Э., Гузев В. В., Сыртланов В. Р., Громов М. А., Захарян А. З. Нейроинформационные подходы к прогнозированию эффективности гидравлического разрыва пласта // Нефтяное хозяйство. 2009. № 6. С. 44–49.
3. Паклин Н. Б., Мухамадиев Р. С. Использование обучающихся алгоритмов для интерпретации данных ГИС // Бурение и нефть. 2005. № 5. С. 12–16.
4. Кононов С. В., Коровин Я. С., Ткаченко М. Г. Оперативная диагностика состояния нефтепромыслового оборудования на основе технологий интеллектуальной обработки данных // Нефтяное хозяйство. 2012. № 9. С. 116–118.

УДК 550.849(476)

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ УЧАСТКА ПРИПЯТСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА СРЕДСТВАМИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ LEFA

**А. А. Куксовский**

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,  
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; kuksouski@bsu.by

Показаны возможности автоматизированного линеаментного анализа средствами специализированного программного обеспечения LEFA.

**Ключевые слова:** линеаментный анализ; Припятский нефтегазоносный бассейн; LEFA.

Линеаментный анализ – один из методов обработки данных дистанционного зондирования Земли с целью изучения глубинного строения конкретной территории. Суть метода состоит в выделении протяжённых линейных элементов – линеаментов, как прямолинейных, так и дугообразных (кольцевые структуры) в рисунке земной поверхности. Прямолинейные

объекты, как правило, характеризуются связью с дизъюнктивными нарушениями земной коры, в то время как кольцевые структуры могут представлять собой широкий ряд объектов от регионального до планетарного масштаба различного происхождения – импактного, тектонического, магматического и метаморфического.

Линеаментный анализ осуществляется на основе геоиндикационного дешифрирования, где геоиндикаторами являются, главным образом, геоморфологические и ландшафтные неоднородности, сформированные на новейшем этапе тектонического развития. Применительно к территории Беларуси такими индикаторами выступают спрямлённые фрагменты речных долин, резкие изменения направления русел и их коленообразные изгибы, выраженные в виде контрастного изменения фототона на космоснимках резкая смена растительных сообществ, линейно вытянутые системы прирусловых валов, а также приуроченные к линиям дизъюнктивов ледниковые и эоловые гряды и болота.

Если для обширных территорий, включающих горные хребты и районы повышенной сейсмической активности эффективность автоматизированного линеаментного анализа не вызывает сомнений, поскольку разрывные нарушения земной коры здесь ярко выражены в рельефе и чётко дешифрируются по космическим снимкам и данным радарной топографической съёмки, то по поводу целесообразности автоматизированного линеаментного анализа для выделения на дневной поверхности менее масштабных объектов платформенных областей, таких как региональные разрывные и пликативные структуры Припятского нефтегазонаосного бассейна, возникают вопросы. Помимо того, что здесь значительная мощность осадочного чехла, а на рельеф поверхности огромное влияние оказала ледниковая деятельность, в результате чего тектонические дислокации слабо выражены на дневной поверхности, также данная территория подверглась значительному антропогенному преобразованию, что является препятствием для автоматизированного анализа, т. к. контуры населённых пунктов, сельскохозяйственных угодий, искусственно спрямлённых и обвалованных русел могут быть ошибочно восприняты в ходе алгоритмических преобразований изображения как естественные объекты, при этом антропогенно изменённые ландшафты занимают значительную часть участка.

Целью данной работы стала проверка эффективности автоматизированного линеаментного анализа для участка Припятского нефтегазонаосного бассейна (далее НГБ) в районе оз. Червоное и сравнение полученного результата с данными геофизической съёмки для региона. В качестве программного обеспечения (далее ПО) для проведения анализа было выбрано специализированное ПО с открытым исходным кодом, выполняемое в среде Matlab – LEFA (Lineament Extraction and Fracture Analysis) [1], для сравнения и сопоставления результатов обработки использовалась свободная геоинформационная система QGIS 3.12. ПО LEFA позволяет работать с одноканальными снимками Landsat 5-8 и данными SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), также поддерживает работу с изображениями без геопривязки. Для распознавания линеаментов на изображении требуется произвести ряд операций. Т. к. программа работает только с одноканальными растрами, то в качестве основы были выбраны снимок Landsat 8 в ближнем ИК-спектре, на котором чётко видны контура водных объектов, а также почвенные и растительные разности, и данные SRTM для изучаемого участка, результаты анализа которых будут затем сопоставлены.

Перед тем как произвести поиск линейных элементов на изображении, требуется настроить его контрастность и произвести поиск границ. Для определения границ LEFA предлагает ряд алгоритмов, в данной работе был использован детектор Кэнни [2]. Результат обработки представлен на рис. 1. Видно, что все резкие переходы интенсивности цвета воспринимаются как границы и детектируются очень чётко. При этом большое количество прямых линий сформировано контурами сельскохозяйственных угодий, и при дальнейшей обработке стоит задача не включать их в линеаментный анализ.

Следующий этап – поиск линейных элементов на изображении. Для этой задачи в LEFA используется преобразование Хафа [3] с возможностью задания параметров детектируемых объектов, таких как длина линий в пикселях, допуск разрыва линии, дискретизация значений координат Хафа и некоторых других. В результате работы алгоритма выделяется большое число линейных объектов разной длины, отвечающих заданным параметрам (рис. 2). Важно понимать, что большая часть этих объектов не представляет никакого интереса для изучения, т. к. являются отдельными, никак не связанными между собой элементами.

Для того, чтобы выделить объекты, которые прослеживаются на большом расстоянии, LEFA предоставляет опцию объединения коллинеарных элементов. При этом также есть возможность указать нужные переменные для достижения корректного результата: количество сегментов, минимальную длину сегмента, параметры коллинеарности. Важно подобрать такие параметры, при которых линейные объекты антропогенного происхождения не будут включены в объединённые линеаменты.

Результат детектирования линеаментов на изучаемой площади, а также сопоставление полученных результатов со структурными картами подсолевого и межсолевого комплексов Припятского НГБ представлены на рис. 3, 4.

Изучив полученные результаты, можно обнаружить, что некоторые детектированные ПО линеаменты во многом совпадают с линиями выявленных в ходе геофизических исследований разломов подсолевого и межсолевого комплекса либо на всем их протяжении, либо на отдельных участках. Данный факт может указывать на новейшую активизацию данных разломов, в результате которой разломные зоны испытывали вертикальные и горизонтальные перемещения и нашли отражения в современном рельефе. Однако нельзя исключать и вероятность случайного детектирования линеаментов на основе индикаторов, происхождение которых не связано с тектонической активностью. В пользу этого также свидетельствует тот факт, что большая часть выделенных линеаментов все-таки не находит подтверждения на структурных картах.

Наряду со снимком Landsat 8 аналогичным образом были проанализированы свободно распространяемые данные топографической радарной съёмки SRTM разрешением 30 м для изучаемого участка, представленные в виде 16-битного растрового изображения, значение каждого пикселя которого численно равно высоте местности над поверхностью геоида EGM96 в метрах. Точность модели соответствует топографической карте масштаба 1 : 100 000 [4]. Результат анализа участка на основе данных SRTM и сопоставление их со структурными картами региона представлены на рис. 5–6.

В результате обработки радарных данных число детектированных протяжённых линеаментов оказалось гораздо ниже, чем при обработке космоснимка – выделено всего три протяжённых элемента, вектор двух из которых на некоторых участках схож с ориентировкой разломных деформаций земной коры, при этом между собой линеаменты космоснимка и раstra SRTM не совпадают. Т. к. растр SRTM визуализирует неоднородности высот рельефа, то можно предположить, что на исследуемом участке тектонические нарушения выражены не столько в вертикальных колебаниях рельефа (либо различия при текущем разрешении 30 м настолько малы, что не определяются ПО как неоднородности), сколько в особенностях его строения, дешифрирующихся по изменению фототона на космоснимке, чем объясняется большее количество линеаментов, выделенных при анализе КС Landsat.

Таким образом, по результатам автоматизированного линеаментного анализа участка некоторые разломные элементы подсолевого и межсолевого комплексов рассматриваемого в работе участка Припятского НГБ предположительно имеют проявление на дневной поверхности в виде линеаментов, выражающихся на ДДЗ преимущественно в виде резкого изменения фототона, при анализе данных радарной съёмки протяжённые линейные элементы на исследуемом участке детектируются слабо. Выявленные линеаменты, пространственно совпадающие с разломами подсолевого и межсолевого комплексов Припятского НГБ могут быть

следствием активизации этих разломов на новейшем этапе развития района. Однако бóльшая часть детектированных линий не коррелирует с установленным геофизическими методами глубинным строением территории. Связать это можно как с особенностями работы алгоритмов ПО и ошибочным выделением линейных объектов, так и с природой некоторых линейаментов, которая может быть отличной от тектоно-геодинамической. Сделать однозначный вывод об эффективности автоматизированного линейаментного анализа для локальных и региональных структур платформенных территорий можно только после предметного изучения геодинамической обстановки территории, построения геологических и геоморфологических профилей, карт аномалий геофизических полей и их сопоставления. Линейаментный анализ не может являться самостоятельным методом изучения, но результаты анализа являются хорошей основой для выделения объектов, которые в дальнейшем будут подвергнуты углублённому исследованию.

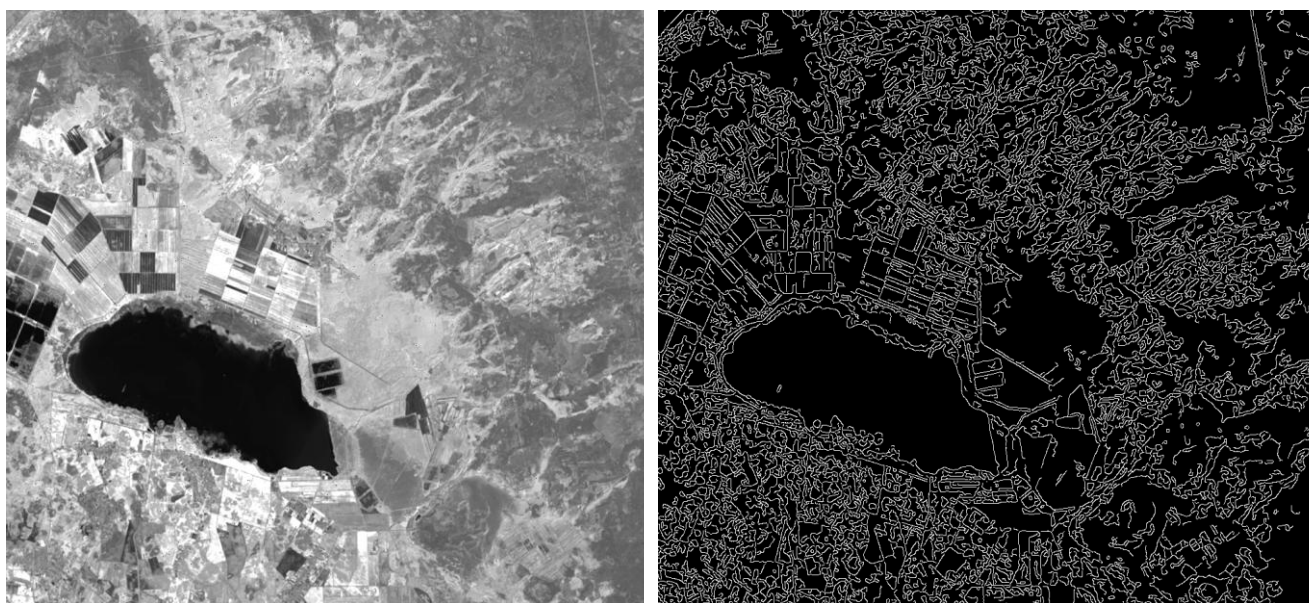


Рисунок 1 – Фрагмент исходного космоснимка Landsat 8 для изучаемого региона (слева) и результат его обработки детектором границ Кэнни (справа)

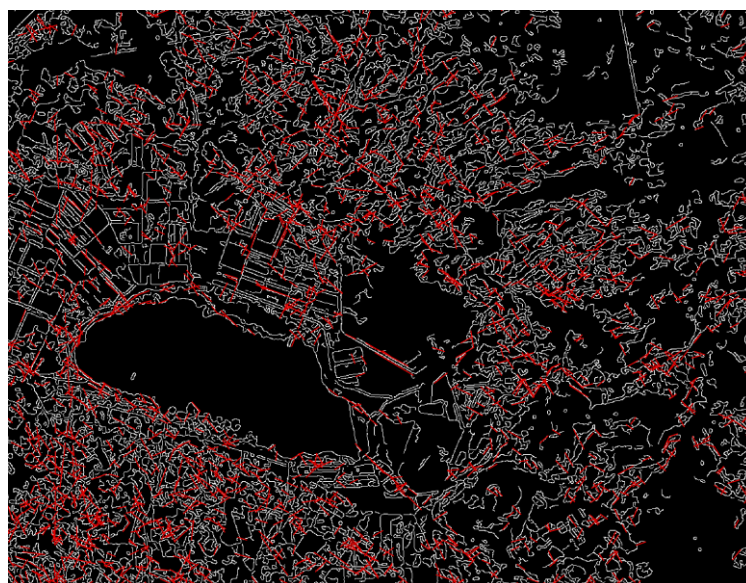


Рисунок 2 – Результат детектирования линейных объектов преобразованием Хафа

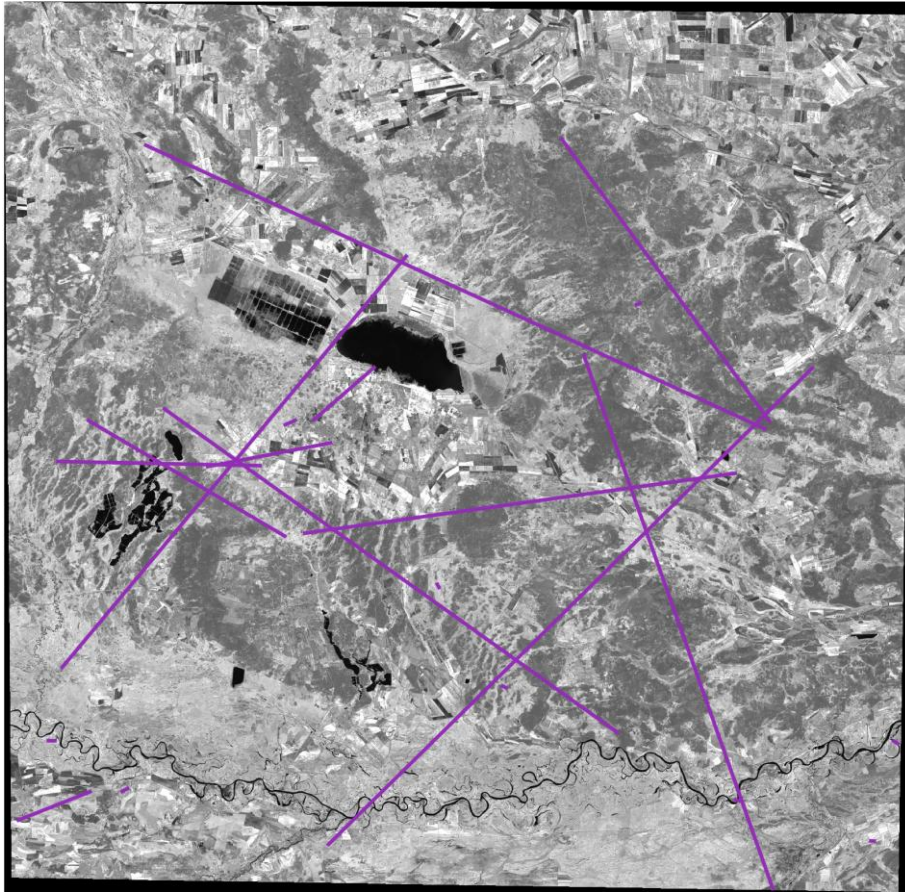


Рисунок 3 – Результат автоматизированного линеamentного анализа КС участка Припятского НГБ  
 Линеamentы – линии фиолетового цвета, подложка – снимок Landsat 8, использовавшийся для анализа

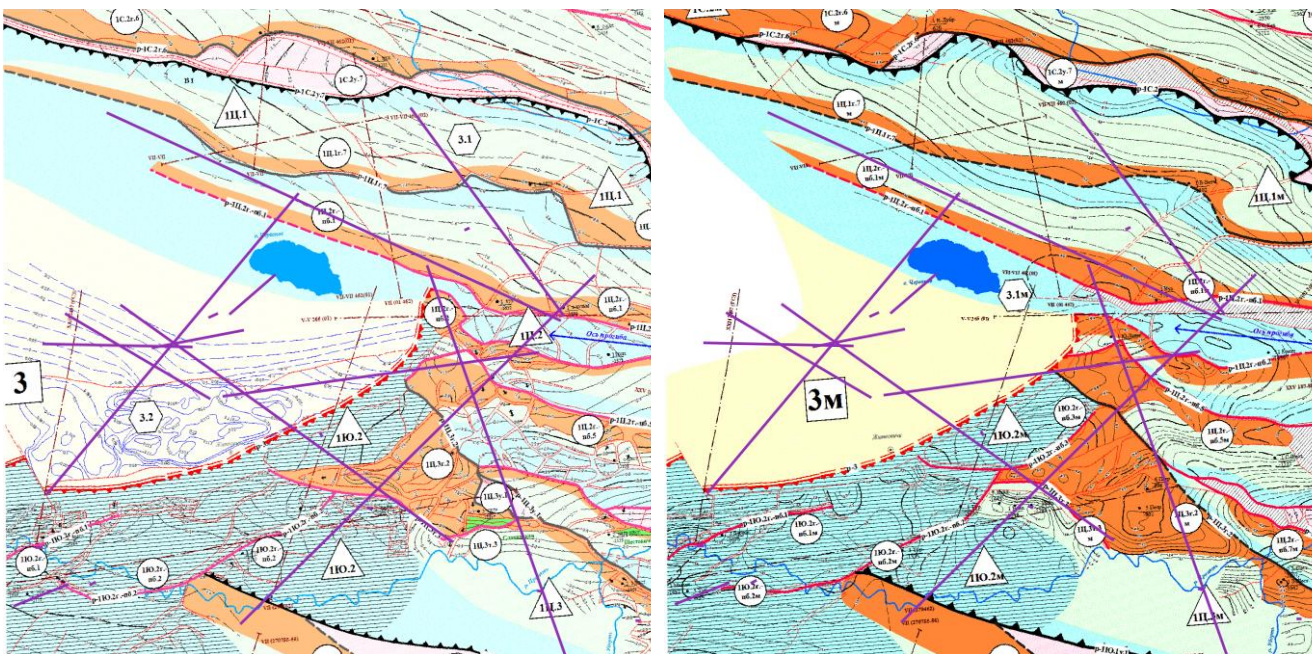


Рисунок 4 – Фрагмент структурной карты подсолевого (слева) и межсолевого (справа) комплекса  
 Припятского НГБ с нанесёнными линеamentами (линии фиолетового цвета),  
 выделенными на основе КС Landsat 8

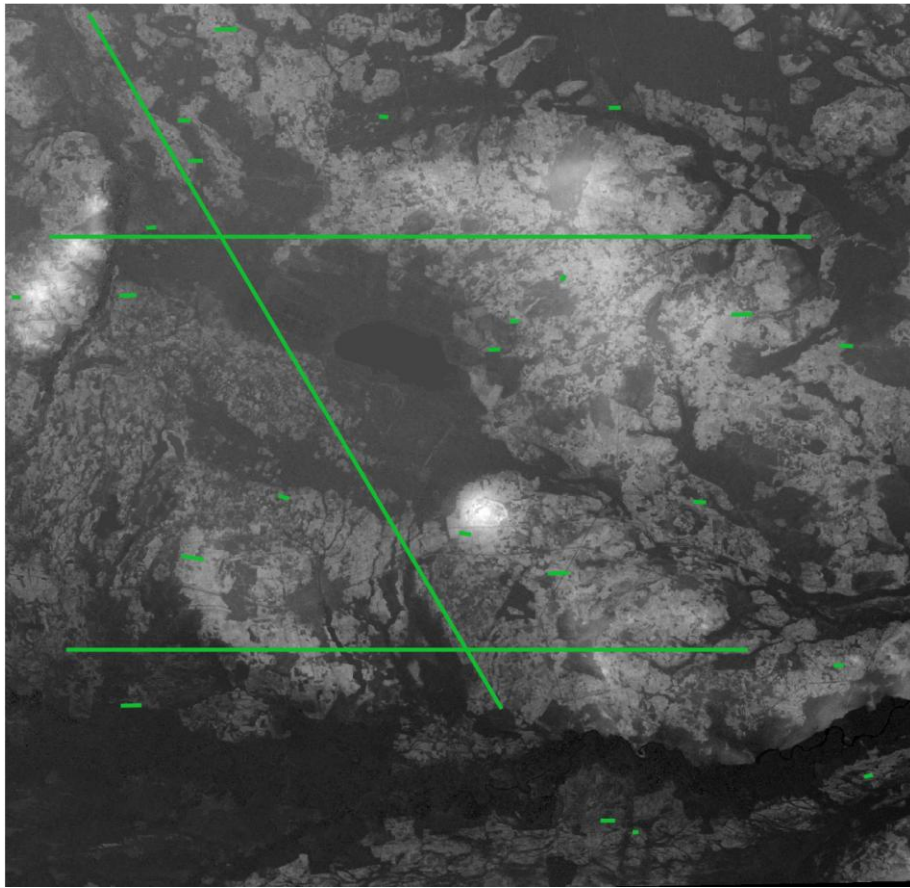


Рисунок 5 – Результат автоматизированного линейментного анализа на основе данных SRTM  
Линеаменты – линии зелёного цвета, подложка – матрица SRTM разрешением 30 м

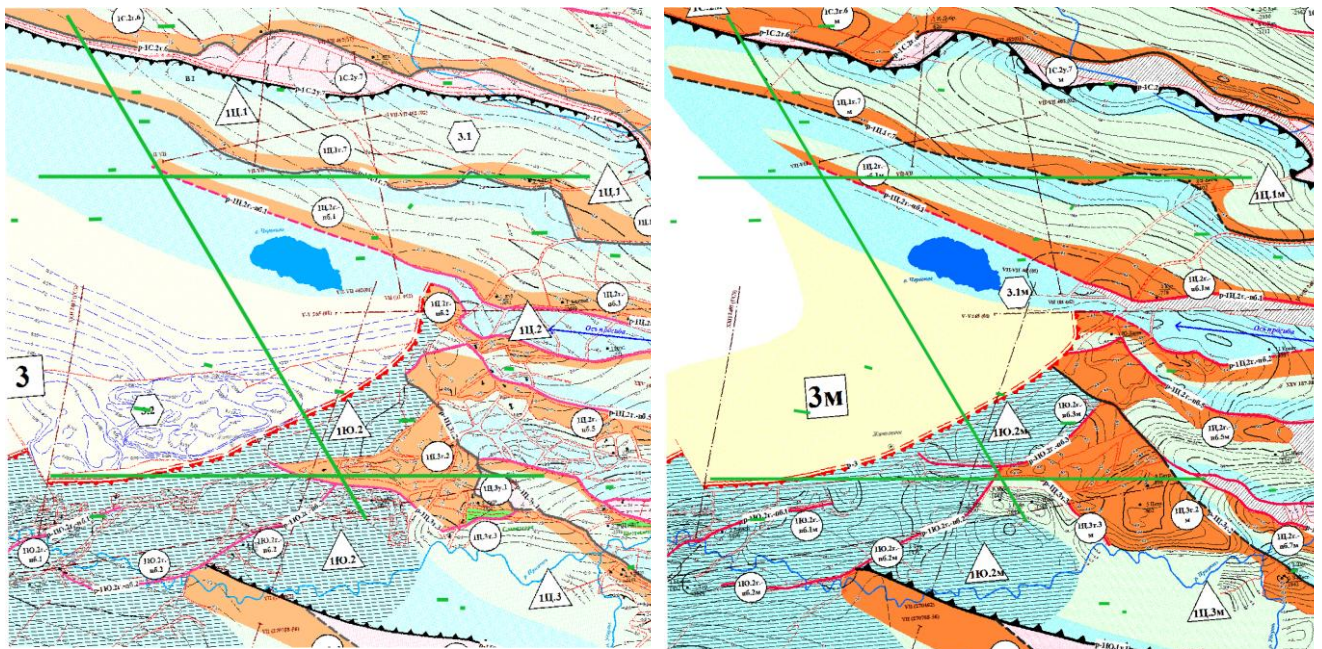


Рисунок 6 – Фрагмент структурной карты подсолевого (слева) и межсолевого (справа) комплекса Припятского НГБ с нанесёнными линеаментами (линии фиолетового цвета), выделенными на основе данных SRTM

### Библиографические ссылки

1. Шевырёв С. Л. Программа LEFA: автоматизированный структурный анализ космической основы в среде Matlab // Успехи современ. естествознания. 2018. № 10. С. 138–143.
2. Canny J. A Computational Approach To Edge Detection, IEEE Trans // Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8 (ISS 6). P. 679–698.
3. Duda R. O., Hart P. E. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures // Comm. ACM. 1972. Vol. 15. P. 11–15.
4. Карионов Ю. И. Оценка точности матрицы высот SRTM // Геопрофи. 2010. № 1. С. 48–51.

УДК: 552.08

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ШЛИФАХ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ ПЕТРОГРАФИИ

**Е. А. Василёнок**

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,  
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; manul1994@mail.ru

Рассматривается новый метод определения рудных минералов в образцах горных пород, основанный на анализе микроизображений шлифов.

**Ключевые слова:** цифровая петрография; определение рудных минералов; микроизображения; шлифы.

**Введение.** Классифицировать минералы можно как по макроизображениям штуфов горных пород [1, 2], так и по микроизображениям шлифов горных пород. Шлифы горных пород бывают 2 видов (табл. 1) – стандартные и нестандартные. Средне- и крупнозернистые фанеритовые структуры имеют размеры зёрен более 1 мм, а часто более 1 см. Использование стандартных шлифов для оценки текстурно-структурных характеристик таких пород невозможно. В этих случаях используются нестандартные шлифы, размеры которых зависят от цели исследования.

Таблица 1 – Виды шлифов

Вид шлифа	Организация	Размер предметного стекла, мм	Размер покровного стекла, мм
Стандартный	БГУ	20 × 40	18 × 18
	НПЦ по геологии	27 × 48	24 × 24
Нестандартный	БГУ	50 × 74	24 × 50 (55)
	НПЦ по геологии	59 × 89	

Достоинства микрофотографий над макрофотографиями образцов горных пород следующие: высокое разрешение и, следовательно, максимальная детализация и точность при анализе; возможность съёмки в различных режимах исследуемого участка (с анализатором, без анализатора и т. д.); определение второстепенных и даже акцессорных минералов в образце породы; определение трещиноватости и более точных качественных и количественных характеристик образцов пород [3].

**Методический подход.** Рассмотрим анализ микрофотографий на примере. Из метаморфических пород отобран из скв. № 515 с гл. 533 м образец плагиогнейса № 515-3. (рис. 1). Порода относится к амфиболит-плагиогнейсовой графитсодержащей формации Пуховщинского участка.