

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

на правах рукописи

УДК 551.243.5 (470.22)

Межеловский Алексей Дмитриевич

**БЛОКОВОЕ СТРОЕНИЕ ВЕТРЕННОГО ПОЯСА  
(ЮГО-ВОСТОК БАЛТИЙСКОГО ЩИТА)**

Специальность 25.00.01 – Общая и региональная геология

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2011 г.

Диссертационная работа выполнена на кафедре Общей геологии и геологического картирования Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ).

**Научный руководитель:**

Доктор геолого-минералогических наук, профессор А.К. Корсаков

**Официальные оппоненты:**

Доктор геолого-минералогических наук, профессор П.А. Игнатов

Кандидат геолого-минералогических наук А.Ф. Карпузов

**Ведущая организация:**

Институт геологии Карельского НЦ РАН

Защита диссертации состоится « 17 » февраля 2011 г. в 15 час. 00 мин на заседании диссертационного совета Д. 212.121.03 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, ауд. 5-81

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе.

Автореферат разослан 14 января 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета кандидат геолого-минералогических наук, доцент \_\_\_\_\_ Л.К. Филатова.

**Актуальность работы.** Ветренный Пояс относится к зеленокаменным поясам (ЗКП), которые являются наиболее изученными и вместе с тем дискуссионными структурами раннего докембрия. Они представляют собой естественные полигоны для изучения особенностей эволюции континентальной коры и рудогенеза в докембрии. Не является исключением в этом отношении и структура Ветренный Пояс, вопросы стратиграфии, тектоники и металлогении которой еще во многом не ясны и требуют детальных и тщательных исследований. Новые данные о составе и строении Ветреного Пояса позволят судить об особенностях развития Балтийского региона на рубеже архея и протерозоя. Во всем мире с зеленокаменными поясами связаны значительные запасы золота, меди, никеля, платины, железа и других полезных ископаемых. Представляется, что данный список со временем пополнится месторождениями Ветреного Пояса. Это особенно актуально для России, на территории которой не выявлено крупных и уникальных месторождений, связанных со структурами данного типа. По мнению автора для территории Ветреного Пояса главной тому причиной является его слабая изученность. Уточнение геолого-структурных особенностей, обобщение и интерпретация геофизических и геохимических данных, а также анализ развития структуры на всех этапах ее существования, составляют основу для дальнейшего изучения перспектив территории на полезные ископаемые.

**Цели и задачи работы.** Цель работы заключается в выявлении особенностей внутреннего строения пограничной структуры Карельской гранит-зеленокаменной области и Беломорского подвижного пояса – Ветреного Пояса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучалось глубинное строение Ветреного Пояса по геолого-геофизическим данным. Проводился комплексный анализ авторских, опубликованных и фондовых материалов: геологосъемочных, геолого-геофизических, геохимических, изотопно-геохронологических.

2. Проводилось неотектоническое районирование территории Ветреного Пояса с составлением схем и морфоструктурной карты, отражающих унаследованность ее блокового строения.

3. Изучалась выраженность блоковой делимости Ветреного Пояса в материалах аэрокосмических съемок.

4. Исследовалась латеральная петрографическая и петролого-геохимическая однородность коматиитов и коматиитовых базальтов свиты ветреного пояса на всем протяжении одноименной структуры.

5. На базе обобщения имеющихся картографических данных создавалась геолого-геофизическая модель Ветреного Пояса с применением ГИС-технологий.

**Фактический материал.** В основу диссертации положены материалы четырехлетних (2006–2009 гг.) полевых исследований автором Ветреного Пояса на территории Карелии и Архангельской области. Было изучено более 180 прозрачных шлифов, проанализировано 145 геохимических проб коматиитов и коматиитовых базальтов, составлены геологические схемы и разрезы участков г. Голец, г. Мяндуха, стенок отдельных карьеров стройматериалов на территории Плесецкого района Архангельской области. Были использованы доступные автору опубликованные и фондовые материалы отечественных и зарубежных исследователей по геологическому строению и истории развития территории, в том числе тематические материалы организаций: ПГО «Севзапгеология», Институт геологии Карельского НЦ РАН, ВСЕГЕИ, ПГО «Архангельскгеология» и других производственных и научно-производственных организаций, проводивших в разные годы разномасштабные работы на описываемой и смежных территориях. Также использовались карты гравиметрических и магнитных полей, космические снимки разных видов и уровней генерализации (Landsat 7, ASTER, MODIS terra и др.) с их последующим визуальным и компьютерным дешифрированием.

**Методика работ включала:**

1. Геолого-структурное картирование отдельных участков Ветреного Пояса с отбором геохимических проб и образцов.

2. Геологическую интерпретацию гравиметрических и магнитометрических данных по площади Ветреного Пояса и сопредельным территориям.

3. Дешифрирование космических снимков разного уровня генерализации.

4. Морфоструктурный анализ изучаемой территории с целью определения выраженности основных структурных элементов, обнаруженных в геофизических полях, на современном этапе развития.

5. Петрографическое изучение метавулканитов свиты ветреного пояса.

6. Геохимический анализ метавулканитов свиты ветреного пояса с построением дискриминантных диаграмм, спайдердиаграмм.

7. Комплексный анализ геологических, геофизических и неотектонических данных с целью расшифровки внутреннего строения Ветреного Пояса.

**Защищаемые положения:**

1. В строении Ветреного Пояса выделяются три блока (Нюхчереченский, Кожозерский и Ундозерский), отличающиеся размерами и конфигурацией в плане, мощностями разрезов зеленокаменного комплекса, объемами вулканитов мафит–ультрамафитового составов.

2. Выделенные по геофизическим данным блоки в строении Ветреного Пояса отличаются между собой ориентировкой и густотой линеаментов, наличием кольцевых структур, амплитудами рельефа.

3. Исследования метавулканитов свиты ветреного пояса показали их однородность на всей площади Ветреного Пояса. По содержанию кремнезема они принадлежат к группе преимущественно основных и реже – ультраосновных и средних, являются низкощелочными ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  0,15–3,65%), умеренножелезистыми ( $\text{FeO}^*$  8,54–12,19%), умереннотитанистыми ( $\text{TiO}_2$  0,40–0,93%), высокомагнезиальными ( $\text{MgO}$  6,83–25,92%), относятся к известково-щелочной серии, типичной для островодужных обстановок, в т.ч. задуговых бассейнов. Латеральная однородность метавулканитов зеленокаменного комплекса указывает на то, что блоковая делимость Ветреного Пояса возникла после образования его структурно-вещественных комплексов, в более поздние периоды геологической истории.

**Научная новизна работы.** Впервые по результатам геологической интерпретации гравиметрических данных было выявлено блоковое строение Ветреного пояса (Нюхчереченский, Кожозерский и Ундозерский блоки). По результатам дешифрирования космоснимков и морфоструктурного анализа площади Ветреного Пояса было установлено, что выделенные блоки отличаются между собой не только мощностью зеленокаменного комплекса и объемами слагающих метавулканитов мафит–ультрамафитового состава, но и наличием или отсутствием кольцевых структур, их размерами, а также плотностью и ориентировкой линеаментов.

Анализ структурно-геоморфологических данных показал, что выделенные блоки в составе Ветреного Пояса характеризуются различными высотными отметками современного рельефа одноименного кряжа, что может быть связано с различной амплитудой и скоростью неотектонических движений. Наиболее контрастные

неотектонические движения испытывает Нюхчереченский блок, а наименьшие – Ундозерский блок. Кожозерский блок по этому показателю занимает промежуточное положение.

Петрографические, петрологические и геохимические исследования метавулканитов свиты ветреного пояса показали их однородность на всей площади Ветреного Пояса, что может свидетельствовать о единых геодинамических условиях их формирования во всех трех выделенных блоках. Они относятся к известково-щелочной серии, по содержанию кремнезема принадлежат к группе основных и средних, отличаются высокими содержаниями MgO. Латеральная однородность метавулканитов свиты ветреного пояса указывает на то, что блоковая делимость зеленокаменной структуры возникла после ее образования, в более поздние периоды геологической истории.

**Практическая значимость.** Выделенные блоки в строении Ветреного Пояса отличаются уровнем эрозионного среза как зеленокаменного комплекса в целом, так и метавулканитов свиты ветреного пояса, потенциально рудоносных в отношении ряда полезных ископаемых, что необходимо учитывать при проведении прогнозных и поисковых работ. Различия блоков в материалах дистанционных съемок и результатах морфоструктурного анализа должны учитываться при проведении геологосъемочных работ, так как они имеют чаще всего геологическую природу, которая до настоящего времени достоверно не установлена.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» 2009 г, V международной научной конференции «Молодые – наукам о Земле» 2010 г и XXI Международной конференции «Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении», 2010 г. По теме диссертации опубликованы: одна статья в журнале «Разведка и охрана недр» в 2007 г. и две статьи в журнале «Известия вузов. Геология и разведка» в 2009 и 2010 гг. Также автор принимал участие в написании раздела, посвященного Ветреному Поясу в монографии «Минерагенический потенциал недр России (выпуск 1. Восточноевропейско-Баренцевская мегапровинция». Геокарт, Геос, 2008 г, 728 с.).

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Общий объем работы: 186 страниц машинописного текста, 99 рисунков и 6 таблиц. Библиография включает 107 наименований.

В первой главе «Краткий очерк геологического строения Карельской гранит-зеленокаменной области» изложены геологическая изученность, современные представления о тектоническом районировании, стратиграфии и магматизме территории.

Во второй главе «Основные черты геологического строения Ветреного Пояса» приведён обзор геолого-геофизической изученности территории, описана стратиграфия, дана характеристика магматических образований, охарактеризовано тектоническое строение и рассмотрены варианты геодинамического развития структуры.

В третьей главе «Блоковое строение Ветреного Пояса по геофизическим данным» подробно описана методика обработки геофизических данных, приведена качественная и количественная интерпретация гравитационных аномалий территории, по результатам которой установлена блоковая делимость Ветреного Пояса. Материалы, изложенные в главе 3 посвящены обоснованию первого защищаемого положения.

Четвертая глава «Выраженность блокового строения Ветреного Пояса в материалах дистанционного зондирования и морфоструктурного анализа» посвящена результатам дешифрирования космоснимков и анализу структур новейшего этапа. По этим данным выделены линеаменты и кольцевые структуры, предложены оригинальные морфоструктурные схемы, подробно описаны новейшие структуры. Проведено сопоставление полученных результатов с имеющимися геолого-геофизическими данными. Глава посвящена доказательству второго защищаемого положения.

В пятой главе «Петрографо-геохимические особенности метавулканитов свиты ветреного пояса» изложены результаты петрографического, петрологического и геохимического анализов метавулканитов свиты ветреного пояса, представлены авторские разрезы свиты в пределах различных блоков. Проведено сопоставление блоков и выявлена степень их однородности по геохимическим данным (включая редкоземельные элементы). В главе обосновывается третье защищаемое положение.

Диссертационная работа выполнена на кафедре Общей геологии и геологического картирования Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе под руководством д.г.-м.н., проф. А.К. Корсакова, которому автор выражает искреннюю благодарность за внимание, поддержку и всестороннюю помощь при написании настоящей работы.

Особую благодарность автор выражает д.г.-м.н. Н.В. Межеловскому и к.г.-м.н. И.Н. Межеловскому за постоянную поддержку при написании диссертации и формирование профессионального мировоззрения.

Автор выражает признательность сотрудникам кафедры Общей геологии и геологического картирования и, особенно, д.г.-м.н., проф. Н.И. Корчугановой и к.г.-м.н., проф. В.Я. Федчуку за неоценимую помощь при написании данной работы.

На всех этапах исследования автор неоднократно пользовался консультациями д.г.-м.н. Г.С. Гусева, к.г.-м.н. А.В. Гущина, д.г.-м.н., проф. В.С. Куликова и д.г.-м.н., проф. В.В. Куликовой, которым автор выражает особую благодарность и признательность.

Хотелось бы сказать большое спасибо д.г.-м.н., проф. В.М. Цейслеру, д.г.-м.н. М.В. Минцу и к.т.н., проф. А.М. Лобанову за советы, конструктивные замечания и рекомендации.

### **Обоснование защищаемых положений**

***Первое защищаемое положение: в строении Ветреного Пояса выделяются три блока (Нюхчеченский, Кожозерский и Ундозерский), отличающиеся размерами и конфигурацией в плане, мощностями разрезов зеленокаменного комплекса, объемами вулканитов мафит–ультрамафитового состава.***

Палеопротерозойская зеленокаменная структура Ветреный Пояс расположена на юго-восточной окраине Фенноскандинавского (Балтийского) щита. Ее протяженность в пределах щита более 250 км, ширина выходов пород Ветреного Пояса варьируется от 15 до 85 км. Интерпретация региональных геофизических полей позволяет трассировать Ветреный Пояс в юго-восточном направлении под осадочным чехлом Русской плиты еще приблизительно на расстояние до 250 км.

Пояс сложен последовательностью осадочных, вулканогено-осадочных и вулканогенных толщ (рис. 1), залегающих на саамском основании и лопийских зеленокаменных поясах Карельской гранит-зеленокаменной области, ограниченных в плане разрывными нарушениями взбросо-надвигового типа, которые погружаются в север – северо-восточном направлении. На северо-востоке структура граничит по региональному глубинному разлому надвигового типа с Беломорским геоблоком, который сложен преимущественно неоднократно метаморфизованными в условиях фаций высокого давления, гранитоидами тоналито-трондьемито-гранодиоритовой ассоциации архея. Региональный разлом, являющийся границей Беломорского геоблока и Ветреного Пояса, представляет собой надвиг и отчетливо фиксируется по зоне максимального горизонтального градиента силы тяжести. На юго-западе породы Ветреного Пояса надвинуты на саамское серогнейсовое основание и лопийские зеленокаменные пояса Карельского геоблока.

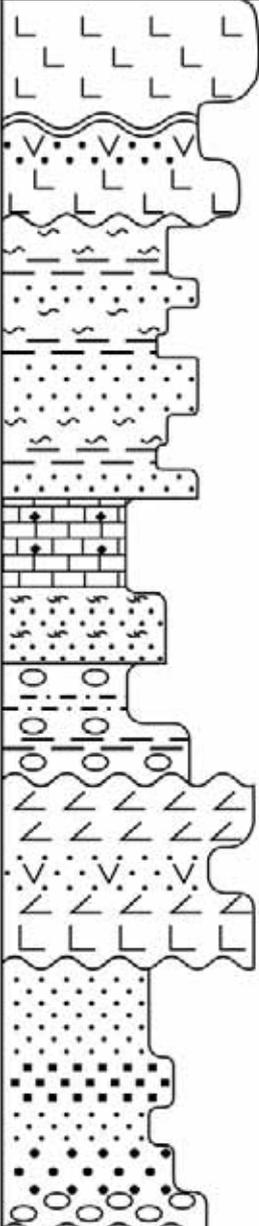
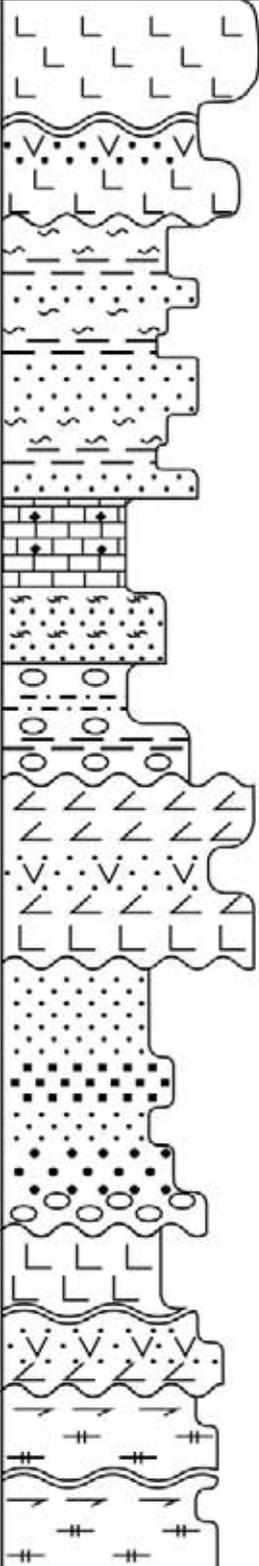
Акротема	Эонотема	Комплекс	Надгоризонт	Колонка	Мощность, м	Характеристика пород
Архей	Верхний	Лопийский			более 2000	Осадочно-вулканогенная толща (вожминская серия): коматииты, коматиитовые базальты, базальты, андезидациты с прослоями туфового материала. Sm-Nd возраст около 3000 млн. лет (Лобач-Жученко и др., 2000)
	Нижний				более 3500	Орто- и парагнейсы, плагногнейсы, амфиболиты, кристаллические сланцы. В разрезе БПП – гнейсы тоналит-трондьемит-гранодиоритового состава.
Протерозой	Нижний (Карелий)	Карельский	Сумийский		до 4000	Свита ветреного пояса. Коматииты, коматиитовые базальты, туффиты среднего и основного состава. Sm-Nd возраст 2410 млн. лет (Пухтель и др., 1997).
					1200–1500	Виленгская свита. Переслаивание песчаников, алевролитов, глинистых и кремнистых сланцев.
					400–600	Кожозерская свита. Строматолитовые доломиты, мергели, мраморизованные известняки, туффиты. В основании слюдисто-кварцевые сланцы и аркозовые песчаники.
					250	Калгачинская свита. Конгломераты с аргиллитовым или алевролитовым цементом.
					700–1000	Киричская свита. Андезиты и Андезибазальты с прослоями туфов. В основании коматиитовые базальты. Sm-Nd возраст 2437 млн. лет (Пухтель и др., 1997).
					300–1500	Токшинская свита. Кварциты, аркозовые песчаники, кварцевые гравелиты, полимиктовые песчаники. В основании полимиктовые конгломераты.

Рис. 1. Сводный разрез Ветреного Пояса и его обрамления.

С целью детального изучения геологического строения Ветреного Пояса были привлечены данные, которые позволяют судить о глубинном строении структуры – результаты гравиметрической съемки. Автором были проанализированы площадные геофизические материалы, в частности карты гравиметрического поля масштаба 1:1000000, так как в гравиметрических полях находят отражения особенности глубинного строения и характер контактов геологических структур.

Анализ гравиметрической карты показывает, что Ветреный Пояс отличается неоднородным, знакопеременным гравитационным полем (рис. 2). В целом рисунок аномалий близок к линейному и соответствует северо-западному простиранию Ветреного Пояса. Большую часть территории характеризуют отрицательные значения, которые соответствуют областям распространения осадочных образований. Положительные значения, занимающие меньшие площади, приурочены к северо-восточной границе пояса и совпадают с областями развития пород, отличающихся повышенной плотностью, что соответствует коматиитам и коматиитовым базальтам, а также интрузивным массивам габбро-перидотитов, не выходящим на поверхность. Заключение о том, что положительные аномалии соответствуют областям распространения мафит–ультрамафитов подтверждается выходами на поверхность коматиитов и коматиитовых базальтов в пределах гор Голец, Шапочка, Большая Левгора, Мяндуха. Плотность этих вулканитов, измеренная автором в ходе полевых работ на г. Голец, колеблется в интервале от 2,78 до 3,18 г/см<sup>3</sup> и, в среднем, составляет 2,98 г/см<sup>3</sup>. Плотность осадочных и вулканогенно-осадочных пород Ветреного Пояса по литературным данным не превышает 2,6 г/см<sup>3</sup>.

Качественный анализ карты гравиметрического поля на территорию Ветреного Пояса показал, что в его пределах выделяются три блока, отличающиеся как по интенсивности аномалий, так и по соотношению площадей положительных и отрицательных значений поля.

Юго-восточный (Ундозерский) блок соответствует расширенной части структуры. Судя по соотношению отрицательных и положительных аномалий силы тяжести в его пределах широко развиты терригенно-осадочные образования (в центральной и юго-западной частях) и значительно меньше – породы коматиитовой серии (в северо-восточной части). В пределах центрального (Кожозерского) блока отмечается небольшая положительная аномалия; остальная часть характеризуется отрицательными значениями силы тяжести. По площади этот блок в 7–8 раз меньше юго-восточного блока. Северо-западный (Нюхчереченский) блок представляет собой конус, сужающийся к северо-западу. Его главная особенность в контрастной положительной аномалии, которая занимает всю площадь блока.

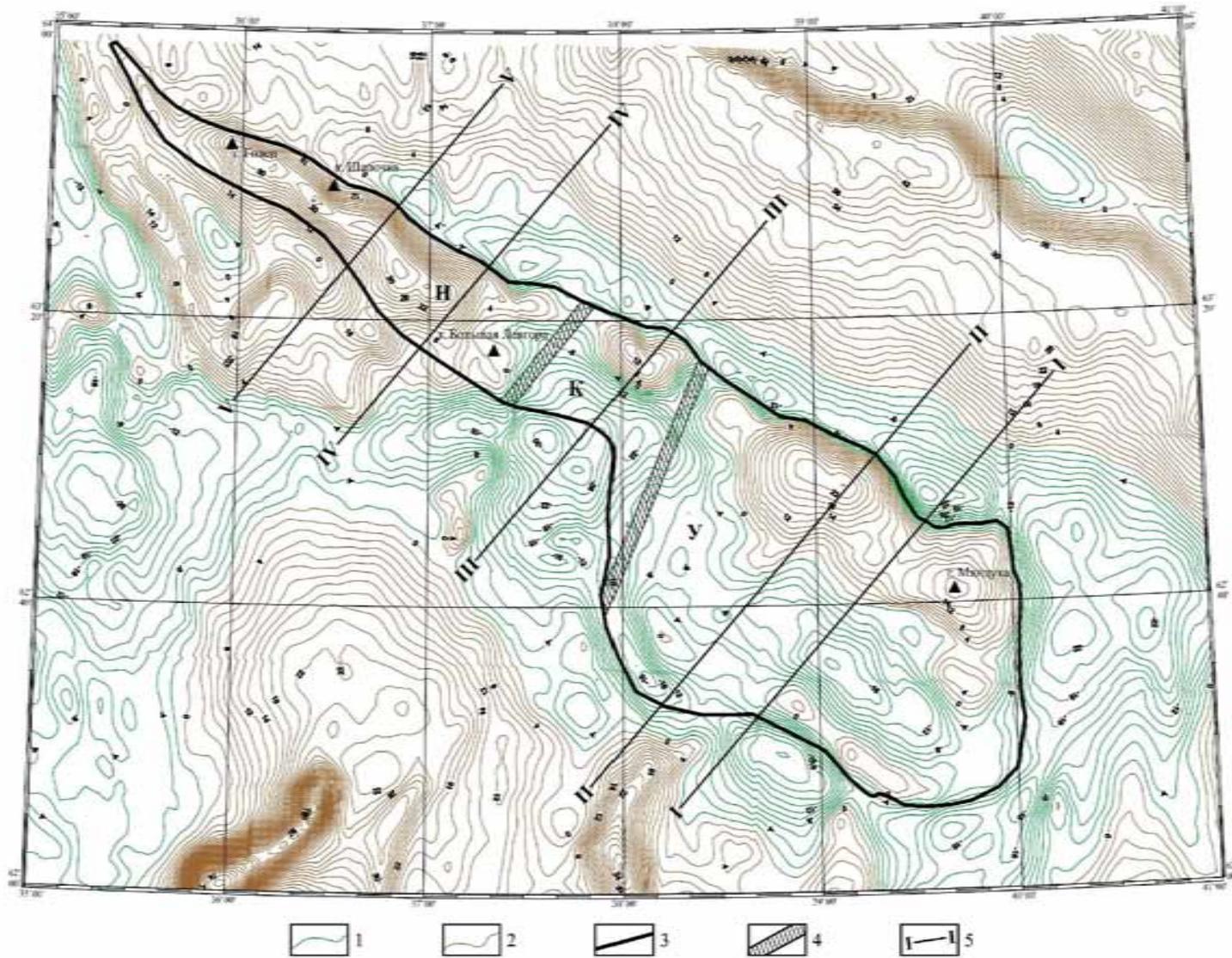


Рис. 2. Фрагмент карты гравитационного поля масштаба 1:1000000 (Р-36-37).

1 – отрицательные аномалии, 2 – положительные аномалии, 3 – геологические границы Ветреного Пояса, 4 – границы блоков, 5 – гравиметрические профили.  
 Буквы на карте: Н – Нюхчеренский блок, К – Кожозерский блок, У – Ундозерский блок.

В пределах этого блока широко развиты мафит–ультрамафиты, а также в большом объеме присутствуют интрузивные массивы габбро-перидотитов.

Границы между блоками проходят по зонам сближенных разрывных нарушений северо-восточного простирания, которые, кроме вертикальной, имеют и сдвиговую составляющую, выражающуюся в горизонтальном смещении геологических границ на карте. Не исключено, что сдвиговая составляющая связана с надвиганием Беломорского пояса на Ветреный Пояс и последнего на Карельский геоблок.

С целью изучения особенностей глубинного строения выделенных блоков автором был применен метод нахождения особых точек и метод подбора гравитационных аномалий, алгоритм которых был реализован в геоинформационной системе «Singular», разработанной Ю.И. Блохом. Интерпретация гравиметрических данных проводилась по запрограммированным профилям, пересекающим все выделенные блоки (рис. 2).

На первом этапе обработки было определено положение особых точек. Используя общепринятые алгоритмы решения задачи определения положения особых точек, было выявлено, что они расположены на глубине до 100 м и интерпретируются как верхние точки боковой кромки геологического тела, определенного как поле распределения мафит–ультрамафитов (коматиитов и коматиитовых базальтов).

На втором этапе использовались программные продукты для подбора наблюдаемого поля полученной модели путем подбора избыточной плотности и глубины распространения нижней границы геологического тела. Для решения поставленной задачи определения глубины распространения нижней границы геологического тела в процессе подбора изменялись параметры нижней кромки и полученная аномалия силы тяжести модели сопоставлялась с наблюдаемой аномалией.

Полученные результаты по заданным профилям свидетельствуют о том, что подошва аномалиеобразующего тела, которым являются коматииты и коматиитовые базальты, располагается в разных блоках на разных глубинах. В Ундозерском (юго-восточном) блоке граница находится на глубине около 2,5–3 км, в Кожозерском (центральном) – на глубине до 2 км. Судя по профилям, проходящим в пределах Нюхчереченского (северо-западного) блока нижняя граница коматиитов проходит на уровне около 5 км. Таким образом, выделенные блоки внутри Ветреного Пояса (северо-западный, центральный и юго-восточный), отличаются остаточными мощностями разрезов коматиитов. Максимальная мощность (до 5 км) характерна для Нюхчереченского блока, минимальная (2 км) – для Кожозерского.

Таким образом, проведенный анализ гравиметрического поля над зеленокаменной структурой Ветреного Пояса свидетельствует о том, что последняя имеет блоковое

строение. Выделенные блоки (северо-западный Нюхчереченский, центральный Кожозерский и юго-восточный Ундозерский) отличаются между собой значениями и рисунком гравиметрического поля, размерами и конфигурацией в плане, мощностями разрезов коматиитовых базальтов в зеленокаменном комплексе, изменением объемов вулканитов с глубиной.

**Второе защищаемое положение: выделенные по геофизическим данным блоки в строении Ветреного Пояса отличаются между собой ориентировкой и густотой линеаментов, наличием кольцевых структур, амплитудами рельефа.**

Для изучения влияния более поздних тектонических движений (в том числе и неотектонических) на формирование блоковой структуры Ветреного Пояса автором проводился морфоструктурный анализ территории. Он включал дешифрирование линейных и кольцевых объектов по плановому рисунку эрозионного расчленения рельефа, по моделям цифрового рельефа и топографическим картам масштаба 1:500000 и 1:200000. При общем изучении рельефа были охарактеризованы: густота речной сети, крутизна продольных профилей рек, коэффициент извилистости русел и т.д. Дополнительно привлекались космические снимки спутников ASTER, MODIS terra, Landsat 7 ETM+, которые подвергались предварительной тематической обработке.

*Анализ эрозионной сети* проводился по топографическим картам и космоснимкам. Конфигурация речной сети порой позволяет не только выявить структуры различных рангов, но и достаточно точно определить их контуры.

Анализ планового рисунка эрозионной сети площади Ветреного Пояса и его обрамления показал, что линейные и концентрические объекты распределены по площади неравномерно. Выделенные ранее по геофизическим данным три блока отличаются доминирующим простиранием линейных объектов, а также размерами кольцевых объектов, и их сочетаний:

Ундозерский блок практически полностью занимает Онегареченская кольцевая макроструктура, осложненная как незамкнутыми концентрическими сателлитами, так и линеаментами различного простирания.

Кожозерский блок отличается наличием непротяженных линейных объектов северо-восточного и северо-западного простираний и мелких полукольцевых объектов, диаметр которых колеблется от 4 до 25 км.

Нюхчереченский блок характеризуется доминированием протяженных линейных объектов северо-западных румбов.

*Анализ рельефа.* При дешифрировании топографических карт и цифрового рельефа еще более четко обособляются три названных блока. Главные структуры также отчетливо проявлены, но информативность рельефа существенно выше.

Выявлено телескопированное (многокольцевое с разными диаметрами) строение Онегареченской кольцевой структуры Ундозерского блока (внутренний диаметр 24 км, внешний диаметр 77 км) и осложняющие ее линеаменты северо-восточного простирания.

Кожозерский блок отличается значительно меньшей плотностью линейных и кольцевых объектов, выделенных в рельефе. Границы его с Нюхчереченским блоком четко маркируются резким увеличением плотности линейных объектов.

*Анализ материалов дистанционного зондирования.* В работе использовались мультиспектральные космоснимки ETM+ спутника Landsat 7, ASTER и MODIS terra. При дешифрировании применялись автоматические и интерактивные методики выделения линейных и кольцевых структур. Для обнаружения линейных и кольцевых структур на изображении синтезированного космоснимка Ветреного Пояса в программном пакете ERDAS Imagine 9.2 в автоматическом режиме были выявлены участки границ областей разной яркости. В бинарном изображении выделялись оси линий и для каждой точки линеаментов определялось направление.

На полученной схеме дешифрирования насыщенность кольцевыми объектами значительно выше, чем на полученных схемах рельефа и эрозионной сети. В Нюхчереченском блоке к линеаментам, уже проявленным на предыдущих материалах добавились небольшие оперяющие линеаменты в тех же румбах. В Кожозерском блоке по материалам дистанционного зондирования выделяются, главным образом, кольцевые объекты, самый крупный из которых имеет диаметр около 40 км. Онегареченская кольцевая структура четко проявлена на космоснимке и является доминирующей в Ундозерском блоке.

При детальном анализе всех полученных данных была составлена результирующая схема дешифрирования Ветреного Пояса, где оставлены только те объекты, которые нашли отражение на всех использованных материалах (рис. 3). Среди кольцевых это Онегареченская макроструктура. Среди линейных структур наиболее достоверными являются линеаменты преимущественно северо-западного простирания, которые расположены в Нюхчереченском блоке.

Несмотря на то, что только часть из линейных и кольцевых структур проявилась в геолого-геофизических полях, тем не менее, они так же в своем пространственном распределении подтверждают наличие выделенных трех блоков:

- северо-восточного Нюхчереченского (с преобладанием линейных структур),
- центрального Кожозерского (кольцевые структуры)
- юго-восточного Ундозерского с макрокольцевой Онегареченской структурой.

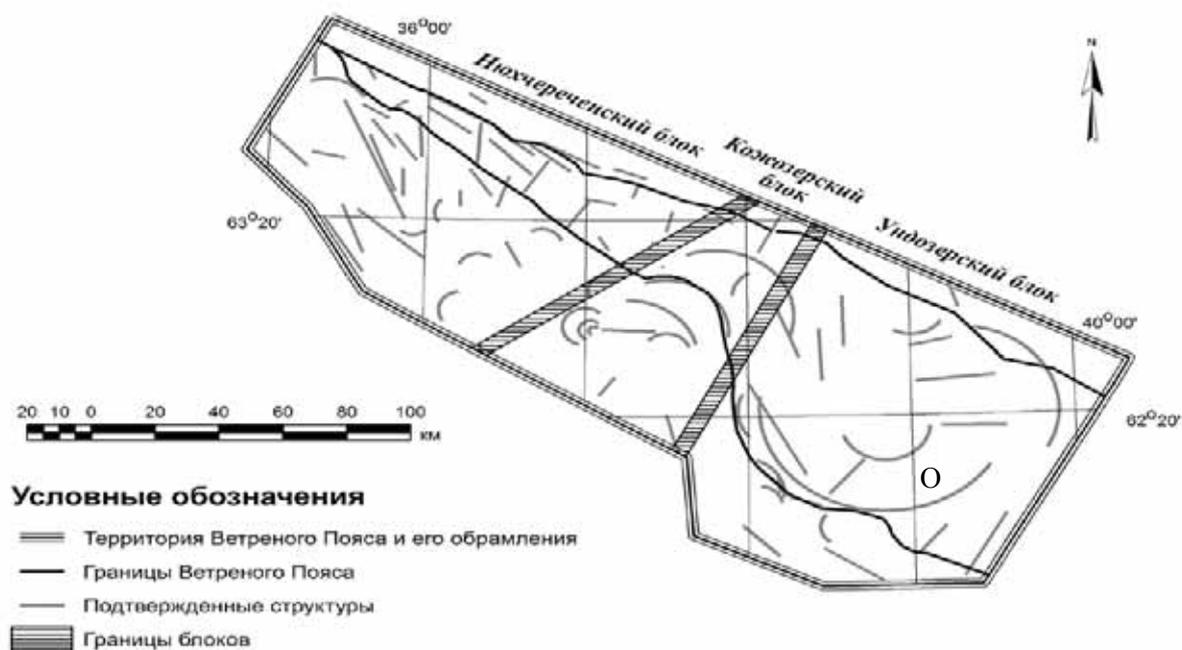


Рис. 3. Интегральная схема линейных и кольцевых объектов Ветреного Пояса.  
О – Онегареченская кольцевая структура.

*Новейшая морфоструктура.* Структура Ветреный Пояс отчетливо проявлена в рельефе. Морфоструктура Ветреного Пояса узкая (до 15 км), прямолинейная в северо-западной части, значительно расширяется к юго-востоку, отличаясь, к тому же, существенно меньшими амплитудами конэрозионных поднятий. Ее строение осложнено продольными и поперечными разрывными нарушениями и линеаментами, а также проявленными в рельефе концентрическими структурами (рис. 4).

В морфоструктуре Ветреного Пояса выделяются три блока:

- Нюхчереченский блок, представленный системой валообразных поднятий разных амплитуд. Юго-восточная граница Нюхчереченского блока маркируется периклинальным замыканием брахискладок и в целом совпадает с границей блоков, выявленных при интерпретации геофизических данных.
- Кожозерский блок, отличающийся меньшими фоновыми отметками – до 180 м.
- Ундозерский блок, резко отличающийся большими размерами, простиранием и внутренним строением. На фоне общего снижения амплитудных отметок до 150 и менее метров выделяются отдельные поднятия с амплитудами от 180 до 220 м. В расположении локальных морфоструктур этой площади и амплитудах поднятий проявлена в рельефе Онегареченская концентрическая структура.

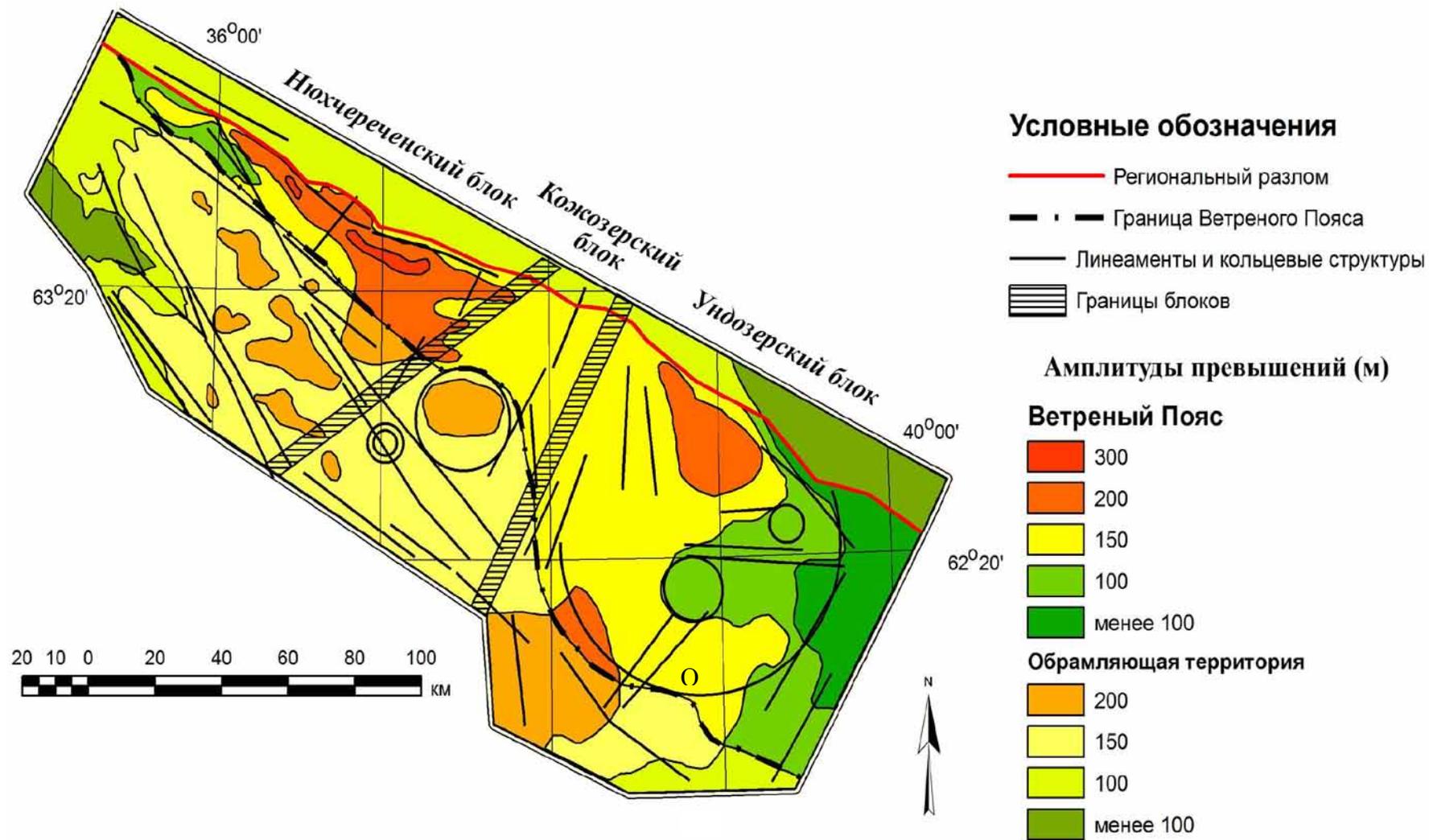


Рис. 4. Морфоструктурная карта Ветреного Пояса.  
 О – Онегареченская кольцевая структура.

Границы между Ундозерским–Кожозерским и Кожозерским–Нюхчереченским блоками проходит по линеаментной зоне, которая совпадает с сериями сближенных разломов северо-восточного простирания, известными по геолого-геофизическим данным.

Морфология новейших структур Ветреного Пояса позволяет предполагать, что новейший структурный план региона формировался в условиях латерального сжатия (транспрессии), а граничный разлом с БПП имеет, вероятно, взбросо-сдвиговую природу. Новейшая структура, в целом, наследует раннепротерозойский структурный план и является инверсионной.

Таким образом, морфоструктурный анализ показал, что выделенные блоки (Нюхчереченский, Кожозерский и Ундозерский) отличаются не только морфологией и размерами, но и преобладающими простираниями линеаментов, наличием концентрических структур и различным уровнем превышений рельефа.

**Третье защищаемое положение:** *Исследования метавулканитов свиты ветреного пояса показали их однородность на всей площади Ветреного Пояса. По содержанию кремнезема они принадлежат к группе преимущественно основных и реже – ультраосновных и средних, являются низкощелочными ( $Na_2O+K_2O$  0,15–3,65%), умеренножелезистыми ( $FeO^*$  8,54–12,19%), умереннотитанистыми ( $TiO_2$  0,40–0,93%), высокомагнезиальными ( $MgO$  6,83–25,92%), относятся к известково-щелочной серии, типичной для островодужных обстановок, в т.ч. задуговых бассейнов. Латеральная однородность метавулканитов зеленокаменного комплекса указывает на то, что блоковая делимость Ветреного Пояса возникла после образования его структурно-вещественных комплексов, в более поздние периоды геологической истории.*

При изучении геологического строения Ветреного Пояса автор особое внимание уделил верхней части разреза зеленокаменного комплекса – свите ветреного пояса. Это объясняется тем, что свита представлена метавулканитами преимущественно основного состава, которые являются информативными в геодинамическом отношении. В основе исследований свиты ветреного пояса лежат как результаты выполненной автором документации свиты в обнажениях г. Голец (Нюхчереченский блок), района г. Мяндуха (Ундозерский блок), так и опубликованные данные В.С. Куликова, В.В. Куликовой (1988), И.С. Пухтеля (1996, 1997) и др. по другим участкам. Документация сопровождалась структурными исследованиями, отбором геохимических проб, образцов для изготовления прозрачных шлифов.

Детальное изучение свиты ветреного пояса на участке г. Голец позволило выделить пять крутопадающих покровов (рис. 5), которые отличаются содержанием  $MgO$ :

1. метатифы, находящиеся в низах разреза. Эта разновидность пород не была геохимически опробована из-за высокой степени гипергенных изменений.
2. магнезиальные базальты (MgO 6–9%);
3. коматиитовые базальты со структурой спинифекс пироксенового типа (MgO 9–14%);
4. коматиитовые базальты со структурой спинифекс оливинового типа (MgO 14–18%);
5. ультрамафитовая зона покровов (оливиновый кумулянт) (MgO > 18%).

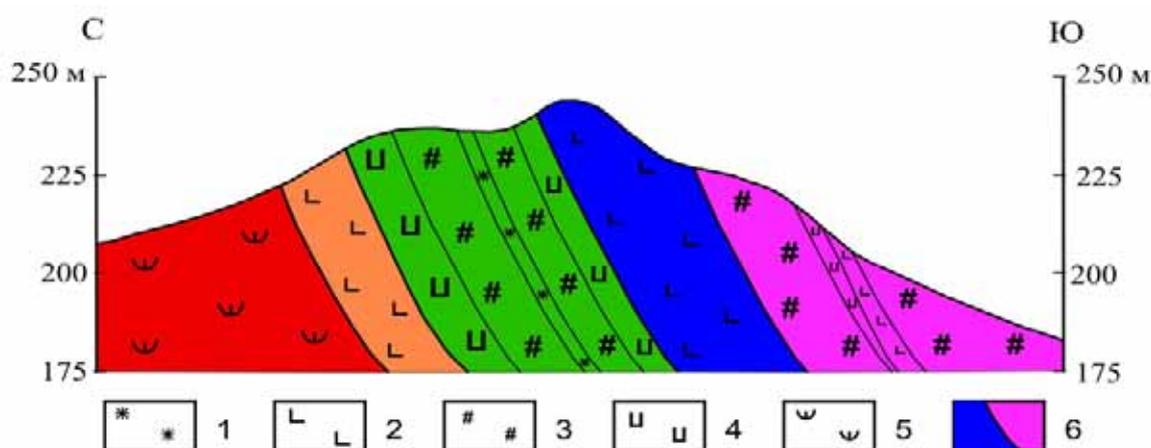


Рис. 5. Геологическое строение участка г. Голец.

1 – магнезиальные базальты; 2 – низкомагнезиальные коматиитовые базальты со структурой спинифекс пироксенового типа; 3 – высокомагнезиальные коматиитовые базальты со структурой спинифекс оливинового типа; 4 – кумулятивная зона; 5 – метатифы; 6 – границы покровов.

Все выделенные разновидности по содержанию оксида кремния и сумме щелочей отвечают базальтам и андезибазальтам – 46,52–54,42% SiO<sub>2</sub>, причем содержания SiO<sub>2</sub> обратно пропорционально магнезиальности. Высокомагнезиальные разновидности тяготеют к базальтам, а покровы с меньшим содержанием MgO – к андезибазальтам. Породы свиты низкощелочные, низко- и умереннотитанистые (TiO<sub>2</sub> 0,4–0,93%), низко- и умереннокалиевые (K<sub>2</sub>O 0,07–1,01%), умеренножелезистые (FeO\* 8,63–12,4%), высоко- и ультрамагнезиальные (MgO 6,81–25,6%), что обуславливает их положение на диаграмме Miyashiro (1974) в поле известково-щелочной серии.

При изучении автором содержаний микроэлементов статистическими методами было выявлено их неравномерное распределение.

Спектр распределения редких элементов, нормированных по примитивной мантии, имеет слабонаклонный характер (рис. 6). Среди КИЛЭ (крупноионные литофильные элементы) наблюдаются повышенные значения Rb и Ba с большим разбросом

превышений концентраций в 6-70 раз. Устойчивая отрицательная аномалия, характерная для всех выделенных петрографических типов метавулканитов, отмечается в зоне распределения Nb ( $Nb_N=1,40-6,73$ ).

Содержания высокозарядных элементов (ВЗЭ) – Hf, Zr, PЗЭ – превышают содержания примитивной мантии в 2–8 раз.

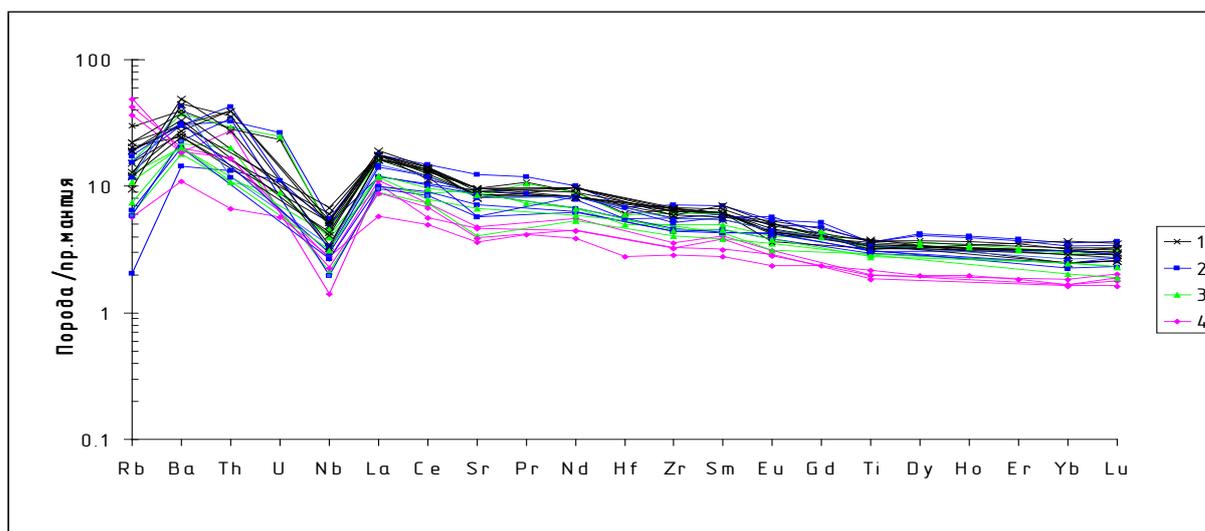


Рис. 6. Spider-диаграмма распределения редких элементов в метавулканитах г. Голец. 1 –магнезиальные базальты; 2 – коматиитовые базальты пироксенового типа; 3 – коматиитовые базальты оливинового типа; 4 – кумулятивная зона.

Спектр распределения редкоземельных элементов (REE), нормированных по хондриту, также имеет наклонный характер (рис. 7).

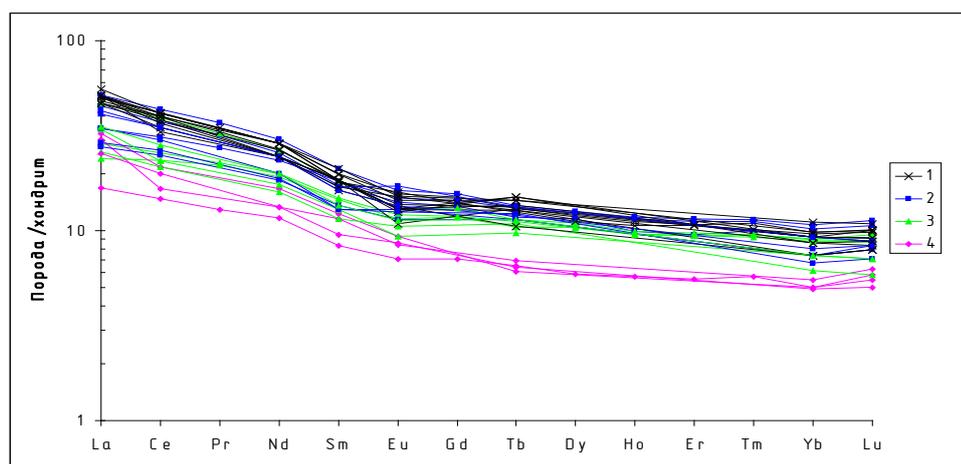


Рис. 7. Распределение редкоземельных элементов в метавулканитах г. Голец. 1 –магнезиальные базальты; 2 – коматиитовые базальты пироксенового типа; 3 – коматиитовые базальты оливинового типа; 4 – кумулятивная зона.

Породы имеют относительно высокие содержания LREE (легкие PЗЭ). Отношение  $La_N/Yb_N = 2,73-5,47$ . Распределение HREE (тяжелые PЗЭ) характеризуется более пологой кривой на графике нормированных по хондриту содержаний.

Слабонаклонный характер распределения микроэлементов и, в особенности, отрицательная аномалия Nb могут свидетельствовать о надсубдукционных обстановках формирования пород, в т.ч. условиях задугового бассейна.

При построении дискриминационных диаграмм Pearce (1977), Pearce (1979), Pearce, Gale, (1977), Pearce, Cann (1973), Mullen (1983), Wood, (1980), Cabanis, Lecolle, (1989), Shervais (1982) для решения вопроса о геодинамической принадлежности базальтов было выявлено, что вулканиты свиты ветреного пояса участка г. Голец преимущественно попадают в поле островных дуг, а также известково-щелочной серии, характерной для островодужных обстановок, в т.ч. задугового бассейна. Однако существуют и другие представления о сериальной и геодинамической принадлежности этих вулканитов. Е.В. Шарков относит породы г. Голец к бонинитоподобным, как часть известково-щелочной серии (Типы магм и их источников в истории Земли, 2006), а В.С. Куликов и др. – к коматиитовой серии палеорифта (Precambrian research, №3, December 2010).

Основные исследования района г. Мяндуха проводились автором в пределах карьера строительных материалов, разрабатываемого с начала 90-х годов прошлого века, и близлежащей территории.

Карьером вскрыт разрез свиты ветреного пояса мощностью около 80 м. Разрез представлен, в основном, коматиитовыми базальтами с различными текстурными особенностями. Верхняя часть разреза сложена лавами темно-зеленого цвета с подушечной отдельностью. Подушки имеют размеры от сантиметров до 2–3 м. Пространство между подушками чаще всего заполнено раскристаллизованным вулканическим стеклом, либо кварцевым цементом. Мощность подушечных лав, наблюдаемая в настоящее время, составляет 25–30 м.

Под подушечными лавами залегают лавы с призматической отдельностью. Контакт между ними тектонический. В связи с этим не представляется возможным установить соотношения между подушечными и призматическими вулканитами: относятся ли они к разным потокам или представляют собой различные зоны одного и того же потока, как это часто бывает у современных вулканитов. Вулканиты с призматической отдельностью темно-серого, со слабым сиреневым оттенком, цвета. Призмы чаще всего пятигранные, их размер в поперечнике составляет в среднем 10–30 см. Не исключено, что призматические вулканиты являются низами единого потока коматиитовых базальтов. В бортах карьера эти разновидности не приурочены строго к одному гипсометрическому уровню в силу того, что вся толща разбивается крутопадающими разрывами на отдельные блоки (рис. 8).

Также отмечено секущее дайкообразное тело мощностью около 30 м, обнажающееся в западном борту карьера и имеющее северо-западное простирание. Минеральный состав: плагиоклаз и пироксен примерно в равных частях.



Рис. 8. Схематический геологический разрез г. Мяндуха.

1 – подушечные коматиитовые базальты, 2 – призматические коматиитовые базальты, 3 – дайкообразное тело основного состава.

Для геохимической характеристики пород свиты ветреного пояса г. Мяндуха использовались результаты анализов, полученные автором в 2008-2009 гг.

По содержаниям  $\text{SiO}_2$  и сумме щелочей вулканиты г. Мяндуха свиты ветреного пояса занимают пограничное положение между базальтами и андезибазальтами (51,56–53,51%  $\text{SiO}_2$ ). На г. Мяндуха не обнаружены более основные разновидности пород, отмеченные на г. Голец.

По содержанию  $\text{MgO}$  практически все отобранные геохимические пробы попадают в интервал 9–14%, что соответствует низкомагнезиальным коматиитовым базальтам.

По основным петрохимическим показателям породы относятся к низкощелочным, низко- и умереннотитанистым ( $\text{TiO}_2$  0,56–0,72%), низко- и умереннокалиевым, умеренножелезистым ( $\text{FeO}^*$  8,54–11,7%), высоко- и ультрамагнезиальным ( $\text{MgO}$  8,21–14,11%). Такое содержание железа и магния обуславливает расположение точек на диаграмме Miyashiro (1974) в поле известково-щелочных базальтов.

При построении spider диаграмм и изучении распределения микроэлементов было выявлено равномерное, практически идентичное для разных типов пород г. Мяндуха, распределение редких элементов. Среди КИЛЭ (крупноионные литофильные элементы) наблюдаются несколько повышенные значения Rb и Ba с небольшим разбросом превышений концентраций в 11–13 раз, что расходится с породами г. Голец, где содержания Rb и Ba имеют значительно больший разброс. Дефицит Nb аналогичен

породам на г. Голец ( $Nb_N=2,50-2,90$ ). Далее распределение микроэлементов равномерное, с характерным плавным понижением содержаний микроэлементов (рис. 9).

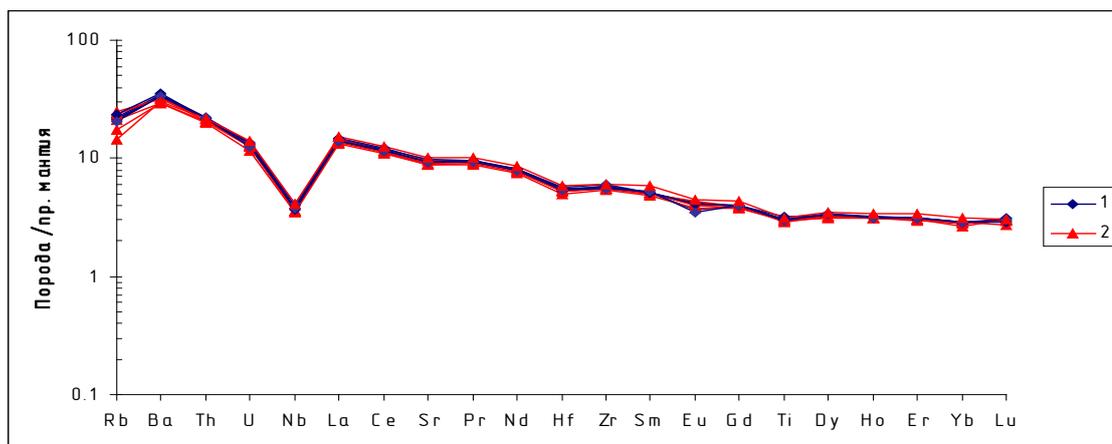


Рис. 9. Spider-диаграмма распределения редких элементов в метавулканитах г. Мяндуха.  
1 – призматические базальты, 2 – подушечные базальты.

Спектр распределения редкоземельных элементов имеет слабонаклонный характер (рис. 10). Отношение  $La_N/Yb_N$  в разных пробах имеет незначительный разброс – 4,43–5,02.

Распределение редких и редкоземельных элементов в метавулканитах г. Мяндуха практически аналогично распределению в породах г. Голец с содержаниями  $MgO$  6–14%.

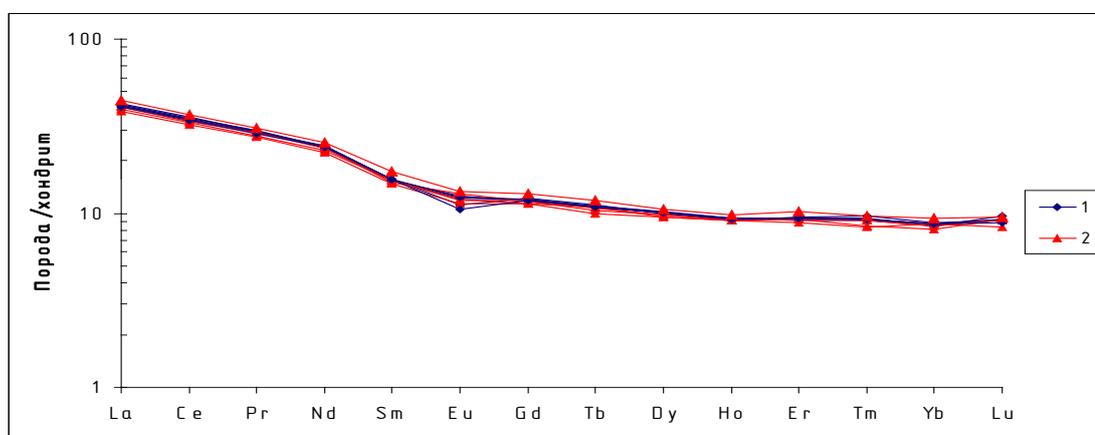


Рис. 10. Распределения редкоземельных элементов в метавулканитах г. Мяндуха.  
1 – призматические базальты, 2 – подушечные базальты.

На дискриминационных диаграммах участка г. Мяндуха, при сопоставлении с г. Голец, наблюдается схожая картина: отчетливо проявлена приуроченность точек к границам полей COX и океанических островов (Pearce, 1977), COX и островных дуг (Pearce, 1979), известково-щелочных базальтов и толеитов островных дуг (Mullen, 1983; Pearce, Cann, 1973). На диаграммах (Wood, 1980; Cabaris, Lecolle, 1989; Shervais, 1982) фигуративные точки попадают в поле известково-щелочных базальтов, характерных для островных дуг.

Петрографические, петрологические и геохимические исследования метавулканитов свиты ветреного пояса на участках гг. Голец и Мяндуха, удаленных друг от друга ~ на 200 км и находящихся соответственно в северо-западном и юго-восточном окончании структуры, показывают их однородность на всей площади Ветреного Пояса. Это может свидетельствовать о единых геодинамических условиях их формирования во всех трех выделенных блоках. Помимо этого латеральная однородность метавулканитов свиты ветреного пояса указывает на то, что блоковая делимость зеленокаменной структуры возникла после ее образования, в более поздние периоды геологической истории.

Метавулканиты по содержанию кремнезема принадлежат к группе основных и средних, являются низкощелочными, умеренножелезистыми, умереннотитанистыми. Отличительным признаком вулканитов является высокие содержания MgO (до 25%), что является характерным для коматиитов и коматиитовых базальтов. Породы относятся к известково-щелочной серии, характерной для островодужных обстановок, в т.ч. задугового бассейна. Слабонаклонный характер распределения редких и редкоземельных элементов, и, особенно, фиксированная отрицательная аномалия Nb, подтверждают это предположение. Эти выводы сделаны на основе как собственных материалов автора, так и по опубликованным данным геохимических анализов.

К числу различий между метавулканитами гг. Голец и Мяндуха следует отнести нахождение на г. Голец более основных и более магнезиальных разновидностей, нежели вулканиты г. Мяндуха.

Из петрографических характеристик следует отметить большее разнообразие структурно-текстурных особенностей метавулканитов г. Голец по сравнению с г. Мяндуха.

Все эти отличительные особенности можно объяснить различным уровнем эрозионного среза метавулканитов свиты ветреного пояса. Анализ структурно-геоморфологических данных показал различные амплитуды и скорости неотектонических движений блоков. Нюхчереченский блок, в пределах которого расположена г. Голец, испытывал наиболее контрастные неотектонические движения по сравнению с Ундозерским блоком и, следовательно, имеет более глубокий уровень эрозионного среза. Исходя из этих данных можно предположить, что на г. Мяндуха обнажаются верхи разреза свиты ветреного пояса, а на г. Голец – нижняя или средняя часть разреза.

## **Заключение**

Проведенные комплексные исследования палеопротерозойской зеленокаменной структуры Ветреный Пояс, включающие геолого-структурное картирование, геологическую интерпретацию геофизических данных (гравиметрические и магнитометрические), морфоструктурный анализ, дешифрирование материалов космических съемок, изучение петрографического состава и петролого-геохимических особенностей слагающих структуру метавулканитов, позволили автору существенно уточнить представления о современном геологическом строении Ветреного Пояса.

Результаты интерпретации гравиметрических данных показали, что в составе Ветреного Пояса выделяются три блока: Нюхчереченский, Кожозерский и Ундозерский, отличающиеся мощностями и глубиной залегания как всего зеленокаменного комплекса, так и его верхней свиты (свита ветреного пояса), в состав которой входят метавулканиты мафит–ультрамафитового состава.

Юго-восточный (Ундозерский) блок соответствует более широкой части структуры. Судя по соотношению отрицательных и положительных аномалий силы тяжести, в его пределах широко развиты терригенно-осадочные образования (в центральной и юго-западной частях) и меньше – мафит–ультрамафиты (в северо-восточной части). Мощность метавулканитов достигает 3 км. В пределах центрального (Кожозерского) блока отмечается небольшая положительная аномалия; остальная часть характеризуется отрицательными значениями силы тяжести. По площади этот блок в 7–8 раз меньше Ундозерского. Мощность мафит–ультрамафитов здесь не превышает 2 км. Северо-западный (Нюхчереченский) блок представляет собой конус, сужающийся к северо-западу. Его главная особенность в контрастной положительной аномалии, которая занимает всю его площадь. В пределах этого блока широко развиты мафит–ультрамафиты, имеющие мощность до 5 км, а также присутствующие в большом объеме интрузивные массивы габбро-перидотитового состава. Границы между блоками проходят по зонам сближенных разрывных нарушений северо-восточного простирания, которые, кроме вертикальной, имеют и сдвиговую составляющую.

Обработка материалов дистанционного зондирования и результаты морфоструктурного анализа показали, что выделенные блоки в строении Ветреного Пояса отличаются между собой ориентировкой и густотой линеаментов, наличием кольцевых структур, амплитудами рельефа.

В пределах Нюхчереченского блока распространены преимущественно линейные объекты главным образом западного и северо-западного простирания. Подчиненное распространение имеют относительно мелкие полукольцевые (диаметром до 12 км)

объекты, частично расположенные на окончании протяженных линеаментов. В морфоструктурном плане Нюхчереченский блок представлен системой валообразных поднятий с амплитудами превышений 300 м и более. В пределах Кожозерского блока линейные объекты имеют преимущественно север – северо-восточную ориентировку. По сравнению с Нюхчереченским блоком отмечается снижение амплитуд конэрозионных поднятий (150–180 м). Ундозерский блок практически полностью занимает Онегареченская кольцевая макроструктура, осложненная, как правило, незамкнутыми концентрическими сателлитами, линеаменты имеют различное простирание. Территория Ундозерского блока отличается наименьшими значениями новейших поднятий.

Таким образом, выделенные блоки: Ундозерский, Кожозерский, Нюхчереченский отличаются морфологией и размерами в плане, преобладающими простираниями линеаментов и наличием или отсутствием кольцевых структур, различным уровнем превышений современного рельефа и, что особенно важно, различными мощностями и глубиной залегания зеленокаменного комплекса, в том числе и свиты ветреного пояса, в составе которой доминируют коматиитовые базальты.

Петрографические, петрологические и геохимические исследования коматиитовых базальтов показали их однородность на всей площади Ветреного Пояса. Они по содержанию кремнезема принадлежат к группе преимущественно основных и реже – ультраосновных и средних, являются низкощелочными ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  0,15–3,65%), умеренножелезистыми ( $\text{FeO}^*$  8,54–12,19%), умереннотитанистыми ( $\text{TiO}_2$  0,40–0,93%). Отличительным признаком метавулканитов являются высокие содержания  $\text{MgO}$  (до 25%), что характерно для коматиитов и коматиитовых базальтов. Породы относятся к известково-щелочной серии, типичной для островодужных обстановок, в т.ч. задуговых бассейнов. Характер распределения редких и редкоземельных элементов, в том числе отрицательная аномалия Nb, подтверждают это вывод.

Латеральная однородность чувствительных к изменению геодинамических обстановок вулканитов преимущественно основного состава свиты ветреного пояса скорее всего свидетельствует о единых геодинамических условиях, существовавших в момент формирования данной свиты. Следовательно, выделяемые в современной структуре Ветреного Пояса блоки (Ундозерский, Кожозерский и Нюхчереченский) образовались в более поздние периоды его геологической истории.

### Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Головин А.А., Гушин А.В., Загубный Д.Г., Межеловский А.Д. Выделение новых перспективных площадей с использованием коэффициентов геохимической зональности. // Разведка и охрана недр, 2007, № 2–3, с. 63–68.
2. Корсаков А.К., Межеловский А.Д., Лобанов А.М. Блоковое строение Ветреного Пояса. // Изв. вузов. Геология и разведка, 2010, № 2, с. 17–23.
3. Корсаков А.К., Федчук В.Я., Межеловский А.Д. Металлогения зеленокаменных поясов разных генетических типов // Материалы всероссийской конференции «Минерагения докембрия», Петрозаводск, 2009 г, с. 121–123.
4. Корсаков А.К., Федчук В.Я., Межеловский А.Д., Наравас А.К. Полезные ископаемые зеленокаменных поясов раннего докембрия // Труды XXI Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика В.И. Смирнова «Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении», 2010 г. Том 2. Москва, МГУ, 2010, с. 439–441.
5. Корсаков А.К., Федчук В.Я., Наравас А.К., Межеловский А.Д. Рудоносность зеленокаменных поясов плейт-тектонического типа. // Изв. вузов. Геология и разведка, 2009, № 3, с. 8–14.
6. Межеловский А.Д. Изучение глубинного строения зеленокаменных поясов геофизическими методами исследований (на примере структуры Ветреный Пояс). // Тезисы IX Международной конференции «новые идеи в науках о земле» том 2, секция S-VI. Москва, 2009.
7. Межеловский А.Д., Лукашенко С.В. Геологическое строение, петрографическая и геохимическая характеристика коматиитовых базальтов Ветреного Пояса (Балтийский щит). // Тезисы V международной конференции научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «молодые – наукам о Земле». Секция S-III. Москва, 2010.
8. Минерагенический потенциал недр России. Вып. 1 Восточноевропейско Баренцевская мегапровинция. – М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2008. – 728 с. + 2 вклейки (РОСНЕДРА, ГЕОКАРТ, ИМГРЭ). Под ред. А.Ф. Морозова. Глава 3. Прогностно-минерагеническая оценка Восточно-Европейской, Свальбардской, Карской и Печора-Баренцевской провинции.