

УДК 551.64

КУТИНОВ Юрий Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук, директор Центра космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, главный научный сотрудник лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор 203 научных публикаций, в т. ч. 12 монографий

ЧИСТОВА Зинаида Борисовна, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией глубинного геологического строения и динамики литосферы Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор 91 научной публикации, в т. ч. 5 монографий

ГОФАРОВ Михаил Юрьевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор 32 научных работ, в т. ч. двух монографий

МИНЕЕВ Александр Леонидович, аспирант лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск). Автор одной научной публикации

СОВРЕМЕННАЯ ТЕКТНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КАНДАЛАКШСКОГО ГРАБЕНА ПО КОМПЛЕКСУ ДАННЫХ¹

По данным дистанционного зондирования Земли было проведено исследование облачного покрова над Кандалакшским грабеном и прилегающими территориями. В результате Кандалакшский грабен выделяется практически полным отсутствием облачного покрова в летний период, что говорит о повышенной глубинной дегазации по разломам, ограничивающим структуру. Подспутниковые наблюдения свидетельствуют о наличии глубинной дегазации, изменении структуры барического поля и наведенных магнитотеллурических токов вдоль Кандалакшского грабена.

Ключевые слова: север Русской плиты, Кандалакшский грабен, дистанционное зондирование Земли, глубинная дегазация, наведенные магнитотеллурические токи, облачность.

Введение. Тектоническая впадина современного Кандалакшского залива Белого моря наследует и возрождает рифейский грабен, о чем свидетельствуют активные опускания Онежско-

го-Кандалакшского палерифта в новейшее время. Неотектоническая активизация территории проявляется системой разломов, которые отчетливо выражены в рельефе дна Белого моря

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 11-04-98802_а_север, проекта фундаментальных исследований «Арктика» № 12-5-3-002-АРКТИКА, инициативного проекта УрО РАН № 12-У-5-1009.

и в ландшафтных элементах сухопутной территории, и подчеркивается направлением миграции очагов землетрясений. Эта активизация находит свое отражение в данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и подтверждается подспутниковыми наблюдениями. Так по данным ДЗЗ (рис. 1а) отчетливо видна обособленная группа центров озоновых аномалий (Беломорско-Балтийская), расположенная над северо-западом европейской части России [6]. Основная часть центров аномалий общего содержания озона (ОСО) расположена здесь над Белым морем и Кольским полуостровом. Изометричная форма, вероятно, обусловлена наличием здесь морфоструктурного узла сочленения Беломорского мегаблока и Балтийско-Мезенской трансблоковой зоны. Наблюдается также и временная корреляция между эндогенной активизацией Скандинавии и Беломорского региона и разрушением над ними озонового слоя [6]. В последние годы здесь увеличилась скорость воздымания территории (до 10 см в год) и частота сейсмических событий, усилилось и выделение радона.

Совместная обработка данных низкочастотных излучений, потоков электронов и температуры плазмы, измеренных на спутнике «Интеркосмос-19», позволила обнаружить низкочастотное излучение и вариации плотности электронов над глубинными разломами земной коры [5] (рис. 1б).

На спутнике «Интеркосмос-19» измерялись интенсивность магнитной и электрической компонент поля низкочастотного излучения на пяти частотах: 140, 450, 800, 4650 и 15000 Гц, потоки низкоэнергетичных электронов и температура ионосферной плазмы на высоте спутника (на витке 1537 – высота 970 км, на других витках – 670 км).

Методика исследований. Для выяснения вопроса о связи современной активизации Кандалакшского грабена с наблюдаемыми эффектами нами были проведены: обработка данных

с КА MODIS (исследование облачного покрова над Кандалакшским грабеном и прилегающими территориями) и наземные измерения флуктуаций атмосферного давления и плотности атмосферных электрических разрядов.

Облачный покров на данных ДЗЗ обычно характеризуется более высоким значением альбедо и более низкой температурой по сравнению с нижележащей поверхностью. Таким образом, использование данных ДЗЗ в видимом и инфракрасном диапазонах должно позволить достаточно легко определять облачный покров. Однако существуют условия, при которых выделение облачного покрова затруднительно. Особенно трудно точно выделять границы облаков в присутствии на земной поверхности снежного или ледового покрова. Также представляется сложным выделение краев некоторых типов облаков – тонких перистых облаков, тумана, малоразмерных кучевых облаков. Некоторые явления также могут ошибочно приниматься за облачный покров: дым от лесных пожаров, смог, выбросы крупных промышленных предприятий

Для сокращения влияния снежного и ледового покрова нами обрабатывались данные MODIS летнего периода (460 сцен с 2005 по 2009 год). Для выявления облачного покрова была использована методика, описанная Гансом Кореном [8], как более точная для высоких широт, чем стандартный продукт MOD035. В ней используется классификация методом k ближайших соседей. Были использованы 1-й канал (спектральный диапазон – 0,620–0,670 нм), 4-й (0,545–0,565 нм), 6-й (1,628–1,652 нм), 19-й (0,915–0,965 нм), 20-й (3,660–3,840 нм), 26-й (1,360–1,390 нм) и 31-й (10,780–11,280 нм). Выбранные каналы позволяют четко отличать облачный покров от снега и льда, водной и земной поверхности. Каналы 1 и 4 соответствуют красному и зеленому видимым цветам и позволяют четко отделять облачный покров от растительности, водной и земной поверхности.

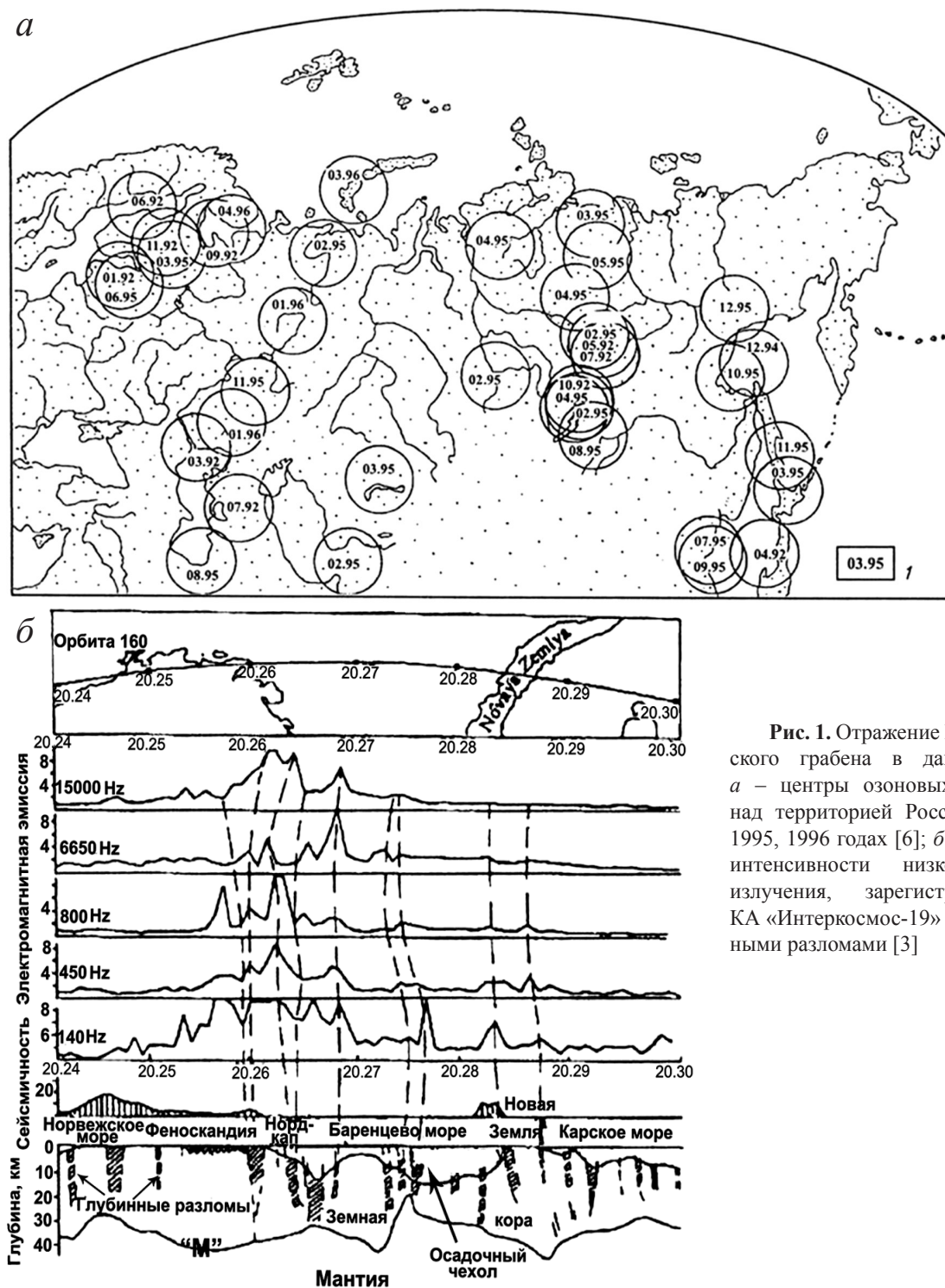


Рис. 1. Отражение Кандалакшского грабена в данных ДЗЗ: *а* – центры озоновых аномалий над территорией России в 1992, 1995, 1996 годах [6]; *б* – вариации интенсивности низкочастотного излучения, зарегистрированные КА «Интеркосмос-19» над глубинными разломами [3]

Канал 6 использовался для выделения облачного покрова на фоне снега и льда. В этом спектральном диапазоне облака имеют высокое значение отражательной способности, снежный или ледяной покров – низкое. Каналы 19 и 26 используется для дешифрирования воздушных аэрозолей. Каналы 20 и особенно 31 используются как источник информации о температуре для различения облачного покрова и земной поверхности. Все данные приводились к пространственному разрешению первого канала MODIS – 250 м. Полученный массив данных, содержащих пиксельные маски облаков, импортировался в базу геоданных ESRI ArcGIS 10, и с помощью инструмента Map Algebra из модуля Spatial Analyst находилось среднее значение в интервале от 0 (за весь период наблюдений облачный покров отсутствовал) до 1 (облачный покров присутствовал во время всего периода наблюдений).

Были проведены наземные исследования флуктуаций атмосферного давления по региональным профилям в движении по аналогии с классическими геофизическими измерениями по прямому и обратному ходу: Архангельск – Москва (вдоль ж. д. и трассы М8); Архангельск – Оленегорск и др. Масштаб исследований – 1:200000.

Исследования по региональному профилю «Архангельск – Москва» проводились для изучения отражения границы между Мезенской и Московской синеклизами в метеопараметрах, по профилю «Архангельск – Оленегорск» – для изучения отражения Кандалакшского грабена в метеопараметрах.

Замеры проводились в автомобильном и железнодорожном вариантах. Измерения атмосферного давления осуществлялись профессиональной метеостанцией WRM 918H (HUGER GmbH, Germany) с использованием модернизированного баротермогигрометра (model No BTHR918N) из комплекта метеостанции (дискретность замеров до 1 мин в ручном режиме). Привязка точек измерений осуществлялась GPS Garmin MAP 276C (Garmin Corporation Ltd, USA). Замеры производились в режиме 3D в системе координат WGS 84. Данные ко-

ординатной привязки обрабатывались в ПО MapSource и выносились на электронную карту, созданную в ГИС-среде MapInfo. Туда же выносились и данные атмосферного давления в режиме связанных таблиц. Графики и карты строились в MapInfo и Excel. Фоновые и аномальные значения атмосферного давления в эти дни измерялись в городах Архангельске, Череповце и п. Пинеги, синхронно с выполняемыми маршрутами и однотипной аппаратурой. В г. Архангельске и п. Пинеги были размещены метеостанции WMR-918 H (Huger Ltd., Germany), в г. Череповце – метеостанция Digital Remote Pro Weatherstation (ART 02935, Termometerbriken Viking AB, Sweden). Обе станции снабжены почасовым сумматором атмосферного давления.

Было проведено тестовое опробование грозопеленгатора NexStorm (Boltek, USA). Прибор был установлен в д. Беляевская Устьянского района Архангельской области (центр Вельско-Устьянского тектонического узла). Радиус регистрации сигнала – 600 км. Прибор состоит из антенны, соединительного кабеля, датчика молний, размещенного на плате PCI II. Используемое программное обеспечение – NexStorm™ совместимо с Windows 95/98/ME/2000/XP/2003 Сервер. Прибор позволяет определять местоположение гроз, знак заряда и интенсивность, тип разряда (земля-воздух, воздух-земля).

Результаты. В результате обработки данных с КА MODIS было зафиксировано практически полное отсутствие облачности в летние периоды над Белым морем, что указывает на существование восходящих потоков, обусловленных, возможно, глубинной дегазацией Кандалакшского грабена (рис. 2). Такое строение облачного покрова в течение 5 сезонов не может быть случайным или объясняться климатическими особенностями.

В результате измерений атмосферного давления над периферией Кандалакшского грабена был установлен факт постоянного «дефицита» атмосферного давления и большей изрезанности графиков. Минимумы имеют сложное строение с повышением значений

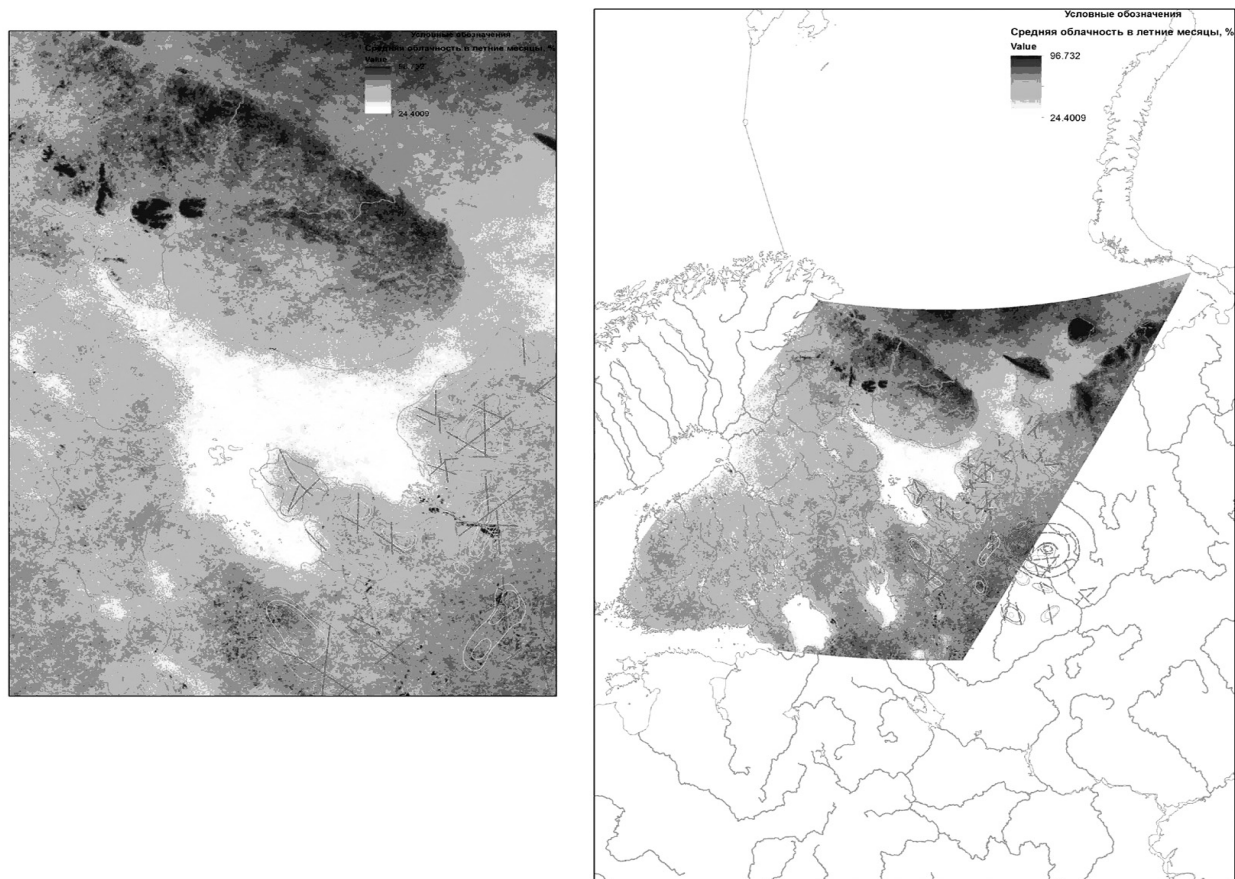


Рис. 2. Средняя облачность в летние месяцы над Белым морем и прилегающими территориями

в центре и понижением по периферии (рис. 3). Измерения, проведенные в разные годы над тектоническими структурами и узлами их пересечений, показывают, что выделяются такие же минимумы, но меньшей амплитуды и размеров. Минимумы являются статичными и не претерпевают сезонных изменений.

В 2008–2012 годах были проведены измерения атмосферного давления по профилю «Архангельск – Пинега» для уточнения динамики изменения содержания кислорода в приземном слое атмосферы на площади тектонического узла. Несмотря на практически полную сходимость графиков атмосферного давления, картина содержания кислорода в разные годы различна. Тем не менее во всех случаях было

зафиксировано снижение содержания кислорода по периферии узла, что связано, по мнению авторов, с подтоком глубинных газов, в первую очередь СО, что подтверждается характером распределения «озоновых дыр» над территорией Севера Русской плиты [6] (рис. 1а).

Сходство графиков атмосферного давления над Кандалакшским грабеном и границей между Московской и Мезенской синеклизами (Сухонская седловина) говорит о тектонической природе явления. Природа изменения барического поля над тектоническими нарушениями нуждается в дальнейшем исследовании, т. к. оно обусловлено целым набором факторов, проявленных с разной интенсивностью в зависимости от конкретных геологических условий,

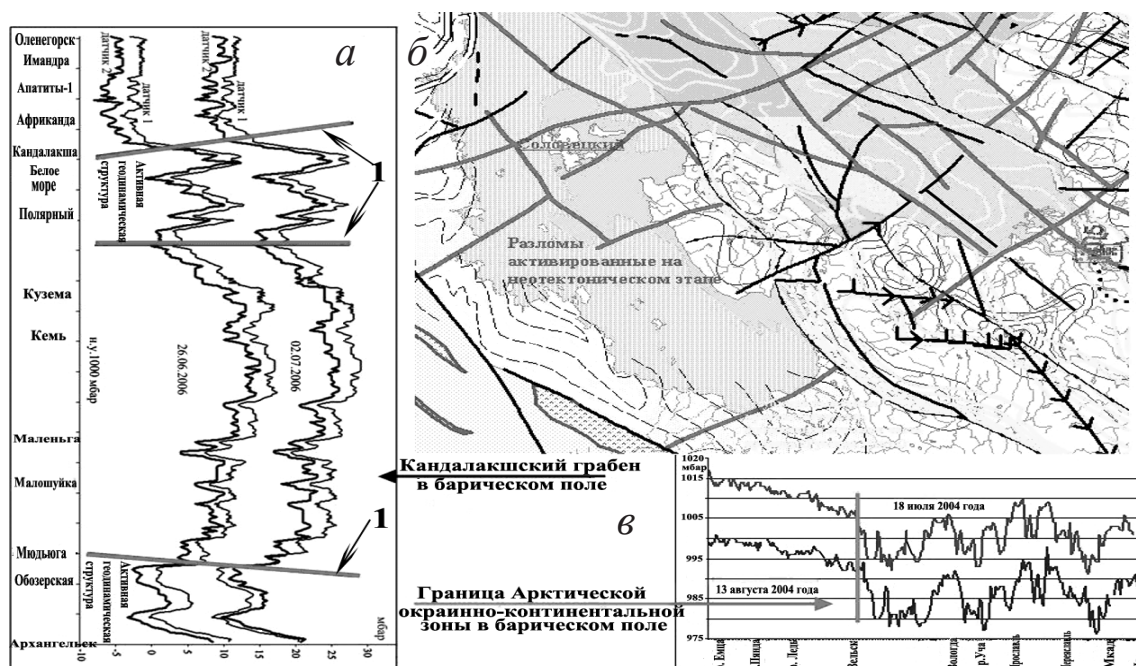


Рис. 3. Отражение тектонических структур в характере атмосферного давления [12]: а – графики атмосферного давления по профилю «Архангельск – Оленегорск»; б – тектоническая карта; в – графики атмосферного давления по профилю Архангельск – Москва; 1 – границы Кандалакшского грабена

изменяющимися во времени и пространстве. В первом приближении – это глубинная дегазация по разломам в земной коре и возникновение наведенных теллурических токов. Учитывая выявленные различия в структуре барического поля над современными геодинамически активными и более древними тектоническими структурами [2], можно предположить, что в первом случае, возможно, доминирует глубинная дегазация, а во втором добавляется и воздействие теллурических токов, связанных с подвижками вдоль разломов и миграцией очагов землетрясений, т. е. постоянной сменой напряженно-деформируемого состояния.

Таким образом, дегазация как один из основных механизмов зафиксированного минимума атмосферного давления подтверждается и спутниковыми данными. Еще одним из факторов может выступать ионизация атмосферного воздуха, т. к. магнитное поле Земли является мощным фактором, контролирующим концентрацию стратосферного озона [6]. Обычно рас-

считывается воздействие внешних геосфер и статичных аномалий магнитного поля Земли.

Нами изучался отклик литосферы на геомагнитные возмущения, а также была показана связь между деформационными полями в тектонических структурах разного ранга и компонентами геомагнитных вариаций [2]. Кроме того источником озона может являться всплеск геомагнитной активности в тектонических структурах. Следует отметить, что в высокоширотных районах отмечается большое количество молниевых разрядов, направленных вверх в ионосферу. Мощные импульсы радиочастотного, оптического и гамма-излучения, генерируемые этими разрядами, могут приводить к росту концентрации стратосферного озона за счет ионизации и диссоциации молекул кислорода в озон [4].

Таким образом, в районах крупных тектонических нарушений возможна как глубинная дегазация, так и ионизация воздуха при доминиру-

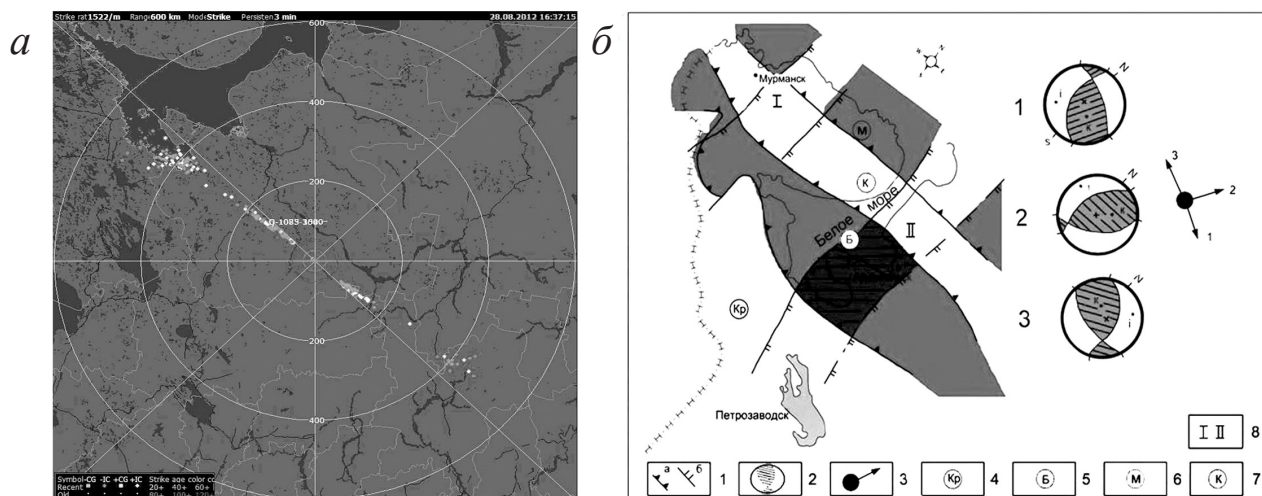


Рис. 4. Отражение Кандалакшского грабена в данных наземных наблюдений: *а* – карта пространственного размещения грозовых и электрических разрядов на территории Архангельской области (23.08. 2012); *б* – схема разломно-блоковой тектоники северо-запада Восточно-Европейской платформы [1]: 1 – разломы, ограничивающие: мегаблоки (*а*), трансблоковые зоны (*б*); 2 – групповые механизмы очагов землетрясений в морфо-структурном узле сочленения Беломорского мегаблока и Балтийско-Мезенской трансблоковой зоны (заштрихованы области волн сжатия); 3 – направления векторов скольжения, согласно определению фокальных механизмов; 4–7 – мегаблоки: Карельский (4), Беломорский (5), Мурманский (6), Кольский (7); 8 – трансблоковые зоны: Хибинская (I), Балтийско-Мезенская (II)

ющей роли первой. В результате многолетнего изучения зон глубинных разломов установлено, что некоторые из них являются генераторами потоков ионизированных частиц и низкочастотного электромагнитного излучения. Над разломами фиксируются проникающие высоко в атмосферу потоки ионизированных частиц, которые могут регистрироваться со спутников, электромагнитные низкочастотные излучения, газовые эманации и инфраволны [7].

Вдоль крупных тектонических структур наблюдается повышенная плотность грозовых и атмосферных разрядов, в первую очередь вдоль активизированного на современном этапе Кан-

далакшского грабена (*рис. 4а*), что говорит о преобладании режима сжатия и подтверждается результатами расчета векторов скольжения горных масс в очагах землетрясений (*рис. 4б*).

Выводы. В результате проведенных исследований и анализа имеющихся данных был получен вывод, что вдоль Кандалакшского грабена наблюдается глубинная дегазация и возникновение наведенных магнитотеллурических токов, обусловленных современными геодинамическими процессами. Эти явления фиксируются по данным ДЗЗ и подтверждаются наземными наблюдениями.

Список литературы

1. Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я. Современная геодинамическая модель Севера Евразии // Геофизика XXI столетия: 2006 год: сб. тр. геофиз. чт. им. В.В. Федынского. М., 2007. С. 119–124.
2. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Комплексная модель процессов межгеосферного взаимодействия в тектонических узлах Севера Русской плиты // Пространство и Время. Т. 1. Вып. 1. 2012.

3. Ларкина В.И., Мигулин В.В., Сергеева Н.Г., Сенин Б.В. Электромагнитное излучение над глубинными разломами литосферы по измерениям на спутнике // Докл. АН. 1998. Т. 360. № 6. С. 814–818.
4. Перов С.П., Приставко В.Н. Влияние направленных в ионосферу молниевых разрядов на среднюю атмосферу и ионосферу // Физические проблемы экологии: тез. докл. всерос. науч. конф. М., 1997. Т. 1. С. 56–57.
5. Сергеева Н.Г., Ларкина В.И., Сенин Б.В. Выявление техногенных зон загрязнения в морях Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана с помощью спутниковых данных // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Архангельск, 2004. Т. 2. С. 242–246.
6. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М., 2002. 250 с.
7. Экология человека в изменяющемся мире. Екатеринбург, 2006. 570 с.
8. Koren H. Cloud Detection in MODIS Images. NR note SAMBA/28/09, 2009. 33 p.

References

1. Kutinov Yu.G., Belenovich T.Ya. Sovremennaya geodinamicheskaya model' Severa Evrazii [Modern Geodynamic Model of the North of Eurasia]. *Geofizika XXI stoletiya: 2006 god: sb. tr. geofiz. cht. im. V.V. Fedynskogo* [Geophysics of the 21st Century: 2006: Proc. Fedynsky Geophysical Readings]. Moscow, 2007, pp. 119–124.
2. Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. Kompleksnaya model' protsessov mezhgeosfernogo vzaimodeystviya v tektonicheskikh uzлах Severa Russkoy plity [Complex Model of Geospheres Interaction Processes in the Tectonic Nodes at the North of Russian Plate]. *Prostranstvo i Vremya*, 2012, vol. 1, iss. 1.
3. Larkina V.I., Migulin V.V., Sergeeva N.G., Senin B.V. Elektromagnitnoe izluchenie nad glubinnymi razlomami litosfery po izmereniyam na sputnike [Electromagnetic Emission over Deep Faults of the Lithosphere by Measurements on Board a Satellite]. *Doklady Akademii nauk*, 1998, vol. 360, no. 6, pp. 814–818.
4. Perov S.P., Pristavko V.N. Vliyaniye napravlennykh v ionosferu molnievykh razryadov na srednyuyu atmosferu i ionosferu [Effect of Lightning Discharges Directed to the Ionosphere on the Middle Atmosphere and Ionosphere]. *Fizicheskie problemy ekologii: tez. dokl. vseros. nauch. konf.* [Physical Problems of Ecology: Outline Reports of the All-Russian Sci. Conf.]. Moscow, 1997, vol. 1, pp. 56–57.
5. Sergeeva N.G., Larkina V.I., Senin B.V. Vyyavleniye tekhnogennykh zon zagryazneniya v moryakh Severnoy Atlantiki i Severnogo Ledovitogo okeana s pomoshch'yu sputnikovykh dannykh [Identification of Anthropogenic Contamination Zones in the Seas of the North Atlantic and the Arctic Ocean Using Satellite Data]. *Geodinamika i geologicheskie izmeneniya v okruzhayushchey srede severnykh regionov: materialy Vseros. konf. s mezhduunar. uchastiem* [Geodynamics and Geological Changes in the Environment of the Northern Regions: Proc. All-Russian Conf. with International Participation]. Arkhangelsk, 2004, vol. 2, pp. 242–246.
6. Syvorotkin V.L. *Glubinnaya degazatsiya Zemli i global'nye katastrofy* [Deep Degassing of the Earth and Global Disasters]. Moscow, 2002. 250 p.
7. *Ekologiya cheloveka v izmenyayushchetsya mire* [Human Ecology in the Changing World]. Yekaterinburg, 2006. 570 p.
8. Koren H. *Cloud Detection in MODIS Images*. NR note SAMBA/28/09, 2009. 33 p.

Kutinov Yuri Grigoryevich

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; Institute of Ecological Problems of the North,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

Chistova Zinaida Borisovna

Institute of Ecological Problems of the North,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

Gofarov Mikhail Yuryevich

Institute of Ecological Problems of the North,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

Mineev Aleksandr Leonidovich

Postgraduate Student, Institute of Ecological Problems of the North,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia)

CURRENT TECTONIC ACTIVITY OF THE KANDALAKSHA GRABEN ACCORDING TO A SET OF DATA

Using remote sensing data, we studied the cloud cover above the Kandalaksha graben and the adjacent territories. The Kandalaksha graben turned out to have practically no cloud cover on the faults limiting the structure during summer, which indicates increased deep degassing. Ground-truth observations indicate deep degassing, changes in the structure of pressure field and induced magnetotelluric currents along the Kandalaksha graben.

Keywords: *north of the East European Craton, Kandalaksha graben, remote sensing of the Earth, deep degassing, induced magnetotelluric currents, cloudiness.*

Контактная информация:

Кутинов Юрий Григорьевич

адрес: 163002, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17;

e-mail: kutinov@iepn.ru

Чистова Зинаида Борисовна

адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

e-mail: zchistova@yandex.ru

Гофаров Михаил Юрьевич

адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

e-mail: zubr3@yandex.ru

Минеев Александр Леонидович

адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;

e-mail: mineew.al@gmail.com

Рецензент – *Шварцман Ю.Г.*, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры географии и геоэкологии института естественных наук и биомедицины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заведующий лабораторией комплексного анализа наземных и космических данных для экологических целей Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск)