

**LARGE-SCALE RESEARCH FACILITIES «MID-LATITUDE GEOPHYSICAL OBSERVATION COMPLEX "MIKHNEVO"»****G.G. Kocharyan**  , **D.N. Loktev** , **I.A. Ryakhovsky** , **I.A. Sanina** 

Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, 38-1 Leninsky Ave, Moscow 119334, Russia

**ABSTRACT.** Presented here are the descriptions of the Large-Scale Research Facilities (LSRF) «Mid-latitude complex of geophysical observations "Mikhnevo"» at the Institute of Geospheres Dynamics of the Russian Academy of Sciences. The composition of the measuring complex, equipment and applied techniques are provided. The paper also presents some of the scientific results obtained at the LSRF «Mikhnevo» in recent years.

**KEYWORDS:** seismic antenna; geophysical field; monitoring; hydrogeological observations; infrasound; geomagnetic field; mid-latitude ionosphere

**SHORT COMMUNICATION**

Received: December 8, 2021

Revised: December 22, 2021

Accepted: December 30, 2021

**Correspondence:** Gevorg G. Kocharyan, [gevorgkidg@mail.ru](mailto:gevorgkidg@mail.ru)

**FOR CITATION:** Kocharyan G.G., Loktev D.N., Ryakhovsky I.A., Sanina I.A., 2022. Large-Scale Research Facilities «Mid-Latitude Geophysical Observation Complex "Mikhnevo"». Geodynamics & Tectonophysics 13 (2), 0590. doi:10.5800/GT-2022-13-2-0590

## УНИКАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ УСТАНОВКА «СРЕДНЕШИРОТНЫЙ КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ "МИХНЕВО"»

Г.Г. Кочарян, Д.Н. Локтев, И.А. Ряховский, И.А. Санина

Институт динамики геосфер РАН, 119334, Москва, Ленинский пр-т, 38/1, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Представлено описание уникальной научной установки ИДГ РАН «Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений "Михнево"». Описан состав измерительного комплекса, используемая аппаратура и применяемые методики. Кратко перечислены некоторые научные результаты, полученные на УНУ СКГН «Михнево» в последние годы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сейсмическая антенна; геофизическое поле; мониторинг; гидрогеологические наблюдения; инфразвук; геомагнитное поле; среднеширотная ионосфера

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Уникальная научная установка Института динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН «Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений "Михнево"» (УНУ СКГН «Михнево») расположена в 80 км от Москвы, в Ступинском районе Московской области (54°57'25.92 N, 37°45'22.68 E). Первоначально по инициативе академиков Г.А. Гамбурцева, И.К. Киккоина, М.А. Садовского, Н.Н. Семенова на этом месте была создана сейсмическая станция с целью обоснования и экспериментальной проверки различных методов дистанционного контроля испытаний ядерного оружия. Официальное открытие сейсмической станции «Михнево» (в настоящее время имеет международный код MNU) состоялось 7 ноября 1954 г., и на ней началась круглосуточная регистрация сейсмических и акустических волн от ядерных взрывов и землетрясений. Станция стала первой экспериментальной геофизической базой развития и совершенствования технических средств дальней регистрации сигналов от ядерных взрывов. Для установки сейсмографов на крепких коренных породах была сооружена шахта глубиной 16.5 м с постаментами для сейсмоприемников, расположенных в двух горизонтальных выработках. В 1955 г. было принято решение развернуть на этой территории радиотехнический комплекс. На станции проводились испытания первых отечественных образцов аппаратуры с цифровой регистрацией.

В 2004 г. на территории обсерватории была установлена малоапертурная сейсмическая антенна (МСА), которая в 2014 г. была зарегистрирована как уникальная научная установка МСА "Михнево". В 2008 г. были пробурены наблюдательные скважины и организованы прецизионные гидрогеологические измерения.

В 2021 г. по решению Ученого совета ИДГ РАН на базе ранее действующей УНУ была организована новая УНУ – СКГН «Михнево» (<https://ckp-rf.ru/usu/310424>).

### 2. СОСТАВ КОМПЛЕКСА

В настоящее время в состав УНУ, расположенной на территории площадью 1 км<sup>2</sup>, входят системы ин-

струментальной регистрации параметров различных геофизических полей. Выстроенная система инструментальных наблюдений направлена на исследование механизмов взаимодействия квазистатических и динамических процессов в разных геосферах и позволяет проводить синхронную регистрацию контролируемых параметров физических полей и энергообменных процессов.

Измерительный комплекс, расположенный в районе со слабым влиянием антропогенных помех, состоит из ряда уникальных по своим характеристикам установок, позволяющих проводить наблюдения за процессами в литосфере, атмосфере и ионосфере.

На сегодняшний день исследования, проводимые на УНУ СКГН «Михнево», можно разделить на четыре научных направления, для которых созданы собственные системы наблюдений.

**1. Сейсмологические исследования.** Основные сейсмологические наблюдения проводятся на МСА. Антенна представляет собой сейсмическую группу из 12 пунктов наблюдений. Центральный пункт, трехкомпонентный сейсмоприемник STS-2, установлен в штольне. В периферийных точках, расположенных на двух окружностях радиусами R=130 м и R=600 м (рис. 1), установлены датчики СМЗ-КВ. Пять периферийных точек (3.1, 3.2, 3.3, 3CS и 3CN) являются трехкомпонентными, а остальные – однокомпонентными вертикальными (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2 и 2.3). Сейсмические сигналы от датчиков в цифровом виде поступают в центр сбора данных. Главным преимуществом МСА является возможность обнаруживать сейсмические источники значительно меньшей магнитуды, чем сеть трехкомпонентных станций, за счет применения алгоритмов групповой обработки сигналов. МСА является единственной подобной системой наблюдений на территории центральной части Восточно-Европейской платформы и одной из 15 работающих в настоящее время в мире. МСА также может быть использована как инструмент для высокоточных измерений скоростных, поглощающих и рассеивающих свойств земной коры. Результаты наблюдений и накопленные МСА «Михнево» в 2004–2021 гг. базы данных доказали высокую

эффективность технологий малоапертурных сейсмических антенн в условиях Восточно-Европейской платформы. МСА позволяет решать задачи мониторинга, локализации и верификации источников сейсмических сигналов природного и техногенного характера, проводить высокоточные измерения сейсмической добротности и ее вариаций во времени.

Для использования сейсмологических данных была разработана специальная программа автоматического поиска и сохранения записей сейсмособытий из общего банка записей МСА «Михнево».

**2. Гидрогеологические исследования.** Комплекс гидрогеологических измерений (рис. 1) состоит из трех скважин глубиной 30 м, 115 м и 60 м, которые оборудованы прецизионными датчиками уровня LMP308i с частотой дискретизации 1 Гц. Дополнительно регистрируются вариации атмосферного давления с использованием датчика Keller PAA-33X. Гидрогеологический аппаратно-измерительный комплекс является единственным установленным в платформенных условиях, который в автоматическом режиме позволяет отслеживать вариации уровня напорного и безнапорного водоносных горизонтов с точностью ежесекундной регистрации 1.7 мм вне зоны влияния активного техногенеза и изучать закономерности реакции водонасыщенного коллектора на динамические воздействия разной интенсивности, а также исследовать взаимодействия динамических и квазистатических процессов в подземных коллекторах.

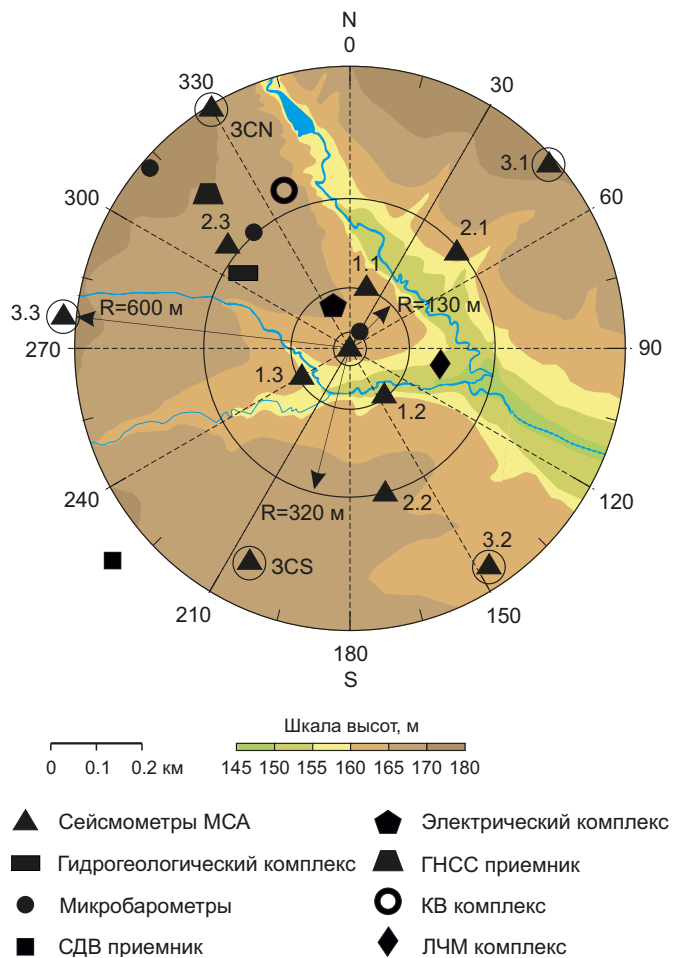
Для обработки первичных данных гидрогеологических измерений применяются разработанные оригинальные методики определения фазового сдвига между приливной деформацией и вариациями уровня воды в скважине для дистанционной оценки фильтрационных свойств водонасыщенного коллектора и методика типизации реакции водонасыщенного коллектора на удаленные землетрясения по результатам анализа амплитудно-частотных характеристик.

**3. Атмосферные исследования.** Инфразвуковые измерения ведутся станцией, состоящей из трех микробарометров МБ-03 ИДГ скважинного типа, размещенных в трех пунктах на расстояниях 300–600 м друг от друга (рис. 1). В каждом из пунктов микробарометры оснащены шумоподавляющими фильтрами в виде 6-лучевой «звезды». Полоса регистрации микробарометров (по уровню –3дБ) составляет 0.0001–10 Гц. Инфразвуковая станция является аналогом инфразвуковых станций Международной системы мониторинга Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT). Параллельно с исследованиями микропульсаций атмосферного давления, сопровождающих основные атмосферные явления и процессы, проводятся наблюдения за характеристиками атмосферного электрического поля и концентрацией аэрозолей.

Для инфразвуковых исследований используется методика оценки пеленга на источник на основе множественной кросскорреляции и методика обнаружения сигналов, регистрируемых в системе разнесенных

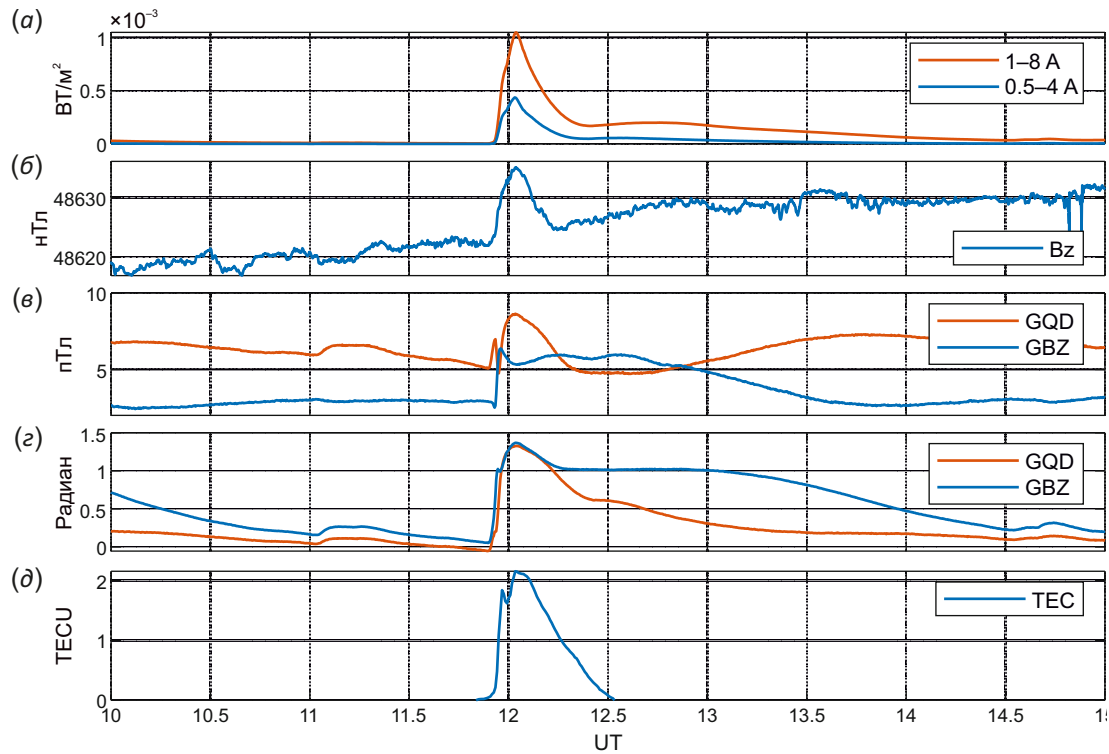
микробарометров на основе многомерного вейвлет-анализа.

**4. Среднеширотные ионосферные исследования.** Радиофизический комплекс (рис. 1) позволяет получать данные об особенностях структуры и динамики ионосферной плазмы в среднеширотной зоне европейской части страны. В обсерватории проводятся непрерывные измерения вариаций электромагнитных полей в широком спектральном диапазоне, что позволяет решать многие научно-прикладные задачи в режиме квазиреального времени. Для исследования состояния геомагнитного поля Земли используются магнитовариационные данные, полученные трехкомпонентным феррозондовым магнитометром LEMI-018 и высокочастотными индукционными магнитометрами MFS-06 и MFS-07. Исследования динамики нижней ионосферы проводятся по данным измерения вариаций электромагнитного поля в КНЧ/ОНЧ диапазоне. Низкий уровень промышленных шумов в ГФО «Михнево», высокая чувствительность и широкий динамический диапазон аппаратуры позволяют принимать сверхслабые сигналы амплитудой в единицы фТл.



**Рис. 1.** Схема расположения измерительных комплексов в составе УНУ СКГН «Михнево».

**Fig. 1.** Scheme of location of the measuring complexes as a part of the Large-Scale Research Facilities «Mikhnevo».



**Рис. 2.** Взаимосвязанные процессы в верхней и нижней ионосфере во время солнечной вспышки X класса 6 сентября 2017 г. (а) – поток рентгеновского излучения (0.1–0.8 нм) зарегистрированного на спутнике GOES 15; (б) – вариации вертикальной компоненты геомагнитного поля; (в) – амплитуда электромагнитного сигнала от СДВ-передатчика GBZ; (г) – фаза электромагнитного сигнала от СДВ-передатчика GBZ; (д) – приращение полного электронного содержания, вызванное солнечной вспышкой.

**Fig. 2.** Interconnected processes in the upper and lower ionosphere during an X-class solar flare on September 6, 2017. (a) – X-ray radiation flux (0.1–0.8 nm) recorded by GOES 15 satellite; (б) – variations of the vertical geomagnetic field component; (в) – amplitude of the VLF signal from GBZ transmitter; (г) – phase of the VLF signal from GBZ transmitter; (д) – increment in the total electron content caused by the solar flare.

В состав комплекса также входят электростатические флюксометры, регистрирующие вертикальную компоненту напряженности электрического поля, и компенсационный измеритель приземного атмосферного тока (КИПАТ). Регистрация сигналов проводится в диапазоне частот 0–10 Гц.

Для наблюдения за процессами, происходящими в E и F областях ионосферы, в обсерватории непрерывно проводятся измерения в КВ диапазоне, ЛЧМ зондирование ионосферы, регистрация сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Регистрация параметров электромагнитных волн КВ диапазона ведется с использованием приемника Rohde&Schwarz ESCI (Германия) и ромбической антенны с размерами диагоналей 140×80 м и высотой подвеса около 30 м. Максимум диаграммы направленности антенны ориентирован в северном направлении, что позволило, в частности, принимать сигналы нагревных стендов EISCAT в Норвегии и HAARP на Аляске.

Контроль состояния верхней ионосферы проводится с использованием ЛЧМ ионозонда на базе аппаратуры фирмы Icom (Япония): передатчика R-718 и приемников R-75. Сигналы спутников ГНСС регистрируются мультисистемным трехчастотным приемником

JavadSigma (США). Комплекс в целом позволяет принимать и анализировать параметры электромагнитных сигналов в диапазоне частот от 0.0001 Гц до 17 МГц. Вся аппаратура работает в составе единого программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего синхронизацию данных измерений с точностью не ниже 30 нс, хранение и обработку измерительной информации.

Радиофизический комплекс позволяет получать обширную информацию о состоянии среднеширотной ионосферы как в спокойных условиях, так и при возмущениях, вызванных такими явлениями, как солнечные затмения, магнитные бури, солнечные вспышки (рис. 2).

При обработке результатов используется методика восстановления амплитуды и фазы несущей частоты СДВ передатчиков с GMSK модуляцией и методика восстановления абсолютного значения полного электронного содержания ионосферы.

### 3. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В период после 2004 г., за счет использования преимуществ малоапертурной сейсмической антенны по сравнению с одиночной станцией [Sanina et al., 2009], был получен ряд оригинальных научных результатов,

из которых среди основных следует отметить следующие.

Создана уникальная база данных параметров взрывов, проводимых на горнодобывающих предприятиях европейской части России, и их волновых форм. База данных позволяет с высокой степенью достоверности идентифицировать тип и локализацию источников сейсмических событий.

По данным наблюдений за природной сейсмичностью, на территории Восточно-Европейской платформы были выделены зоны возможной сейсмической активизации – авлакогены [Adushkin et al., 2019].

Разработаны способы обнаружения сверхслабых сигналов на основе метода кросскорреляции волновых форм [Adushkin et al., 2015], и предложены новые подходы к распознаванию природы сейсмических сигналов [Sanina et al., 2021].

Впервые показана принципиальная возможность изучения диссипативных свойств среды по результатам регистрации параметров сейсмических колебаний от карьерных взрывов на ВЕП.

По результатам гидрогеологических наблюдений разработана методика дистанционной оценки фильтрационных свойств водонасыщенного коллектора по параметрам фазового сдвига между полусуточной волной лунного прилива  $M_2$ , выделенной в смещении грунта и в уровне воды в скважине [Vinogradov et al., 2017].

Применение оригинального подхода к обработке исходных данных позволило в относительно нестабильных условиях режима фильтрации обосновать выделение представительного и достоверного диапазона значений фазового сдвига для расчета водопроводимости напорного водоносного горизонта.

Впервые в условиях ВЕП прослежен постсейсмический подъем уровня подземных вод при удаленных землетрясениях при значениях максимальной скорости смещения грунта более 1.7 мм/с [Gorbunova et al., 2017].

Исследования параметров верхней ионосферы с использованием комплекса прецизионных приемников ГНСС позволили получить данные по вариациям абсолютного значения полного электронного содержания и выявить периодические изменения этой величины, связанные с различными циклами солнечно-земного взаимодействия [Ryakhovskii et al., 2021].

Возможность непрерывного контроля над состоянием и динамикой нижней ионосферы была реализована за счет мониторинга амплитудно-фазовых характеристик радиосигналов СДВ диапазона. В результате анализа экспериментальных данных была получена зависимость профиля электронной концентрации нижней ионосферы от потока рентгеновского излучения во время солнечных вспышек М и Х класса [Gavrilov et al., 2019a].

Согласованный анализ сигналов глобальных навигационных систем и амплитудно-фазовых характеристик СДВ радиосигналов позволил выявить временную и пространственную связь возмущений в верхней

и нижней ионосфере и оценить вклад различных высот в величину полного электронного содержания [Gavrilov et al., 2019b].

Данные радиофизического комплекса УНУ используются для верификации существующих и разработки новых теоретических моделей ионосферы Земли [Bekker et al., 2021] и развития методов совершенствования и адаптации функционирования радиофизических систем различного назначения.

В результате исследований, проводимых на аппаратуре УНУ, была обнаружена взаимосвязь сейсмических событий с геомагнитными возмущениями, возникающими в результате акустического воздействия на нижнюю ионосферу, вызванного колебаниями земной поверхности. На примере ряда сейсмических событий показаны закономерности формирования атмосферных и геомагнитных эффектов удаленных землетрясений и зависимость времени их появления от расстояния до сейсмического источника [Gavrilov et al., 2021].

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленное описание УНУ СКГН «Михнево», а также полученные на установке результаты являются свидетельством уникальности и работоспособности измерительного комплекса. В ходе эксплуатации установки происходит регулярная модернизация оборудования и совершенствование применяемых методик измерения. На сегодняшний день подписаны несколько договоров о сотрудничестве с научными организациями (ИЗМИРАН, ГС РАН, ИО РАН, ЦГЭМИ РАН) в области использования возможностей УНУ.

#### 5. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

#### 6. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

#### 7. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Adushkin V.V., Kitov I.O., Konstantinovskaya N.L., Nepeina K.S., Nesterkina M.A., Sanina I.A., 2015. Detection of Ultraweak Signals on the Mikhnevo Small-Aperture Seismic Array by Using Cross-Correlation of Waveforms. *Doklady Earth Sciences* 460, 189–191. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15020142>.

Adushkin V.V., Sanina I.A., Ivanchenko G.N., Gorbunova E.M., Gabsatarova I.P., Konstantinovskaya N.L., Nesterkina M.A., 2019. Seismogenic Ancient Structures of the Center and North of the East European Platform. *Doklady Earth*

Sciences 489 1432–1435. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19120018>.

Bekker S.Z., Ryakhovskiy I.A., Korsunskaya J.A., 2021. Modeling of the Lower Ionosphere during Solar X-Ray Flares of Different Classes. *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 126 (2), e2020JA028767. <https://doi.org/10.1029/2020JA028767>.

Gavrilov B.G., Ermak V.M., Poklad Y.V., Ryakhovskii I.A., 2019a. Estimate of Variations in the Parameters of the Mid-latitude Lower Ionosphere Caused by the Solar Flare of September 10, 2017. *Geomagnetism and Aeronomy* 59, 587–592. <https://doi.org/10.1134/S0016793219050049>.

Gavrilov B.G., Poklad Y.V., Rybnov Y.S., Ryakhovskiy I.A., Sanina I.A., 2021. Geomagnetic Effects of Remote Earthquakes. *Geomagnetism and Aeronomy* 61, 108–116. <https://doi.org/10.1134/S0016793221010047>.

Gavrilov B.G., Zetser Y.I., Lyakhov A.N., Poklad Y.V., Ryakhovskii I.A., 2019b. Correlated Disturbances of the Upper and Lower Ionosphere from Synchronous Measurements of Parameters of GNSS Signals and VLF Radio Signals. *Cosmic Research* 57, 36–43. <https://doi.org/10.1134/S0010952519010039>.

Gorbunova Je.M., Vinogradov E.A., Besedina A.N., Gashv D., 2017. Underground Water Response to Earthquakes and Large-Scale Explosions. *Mining Informational and Analytical Bulletin* 1, 273–290 (in Russian) [Горбунова Э.М.,

Виноградов Е.А., Беседина А.Н. Реакция подземных вод на землетрясения и крупномасштабные взрывы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 1. С. 273–290].

Ryakhovskii I.A., Gavrilov B.G., Poklad Yu.V., Bekker S.Z., Ermak V.M., 2021. Research of the State and Dynamics of the Ionosphere According to the Data of Synchronous Radio Signals Recording of the ELF/VLF and HF-UHF Range in the Geophysical Observatory «Mikhnevo». *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 57, 718–730 <https://doi.org/10.1134/S1069351321050177>.

Sanina I.A., Chernykh O.A., Riznichenko O.Y., Volosov S.G., 2009. The Mikhnevo Small Aperture Antenna: New Capabilities of Seismicity Investigation in the East European Platform. *Doklady Earth Sciences* 428, 1232. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09070423>.

Sanina I.A., Nesterkina M.A., Konstantinovskaya N.L., Gabsatarova I.P., 2021. Identification of the Nature of Seismic Events that Occurred in the East European Platform as Recorded by the Mikhnevo Small-Aperture Seismic Array at Regional Distances. *Seismic Instruments* 57, 38–54. <https://doi.org/10.3103/S0747923921010084>.

Vinogradov E., Gorbunova E., Besedina A., Kabychenko N., 2017. Earth Tide Analysis Specifics in Case of Unstable Aquifer Regime. *Pure and Applied Geophysics* 175, 1783–1792. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1585-z>.