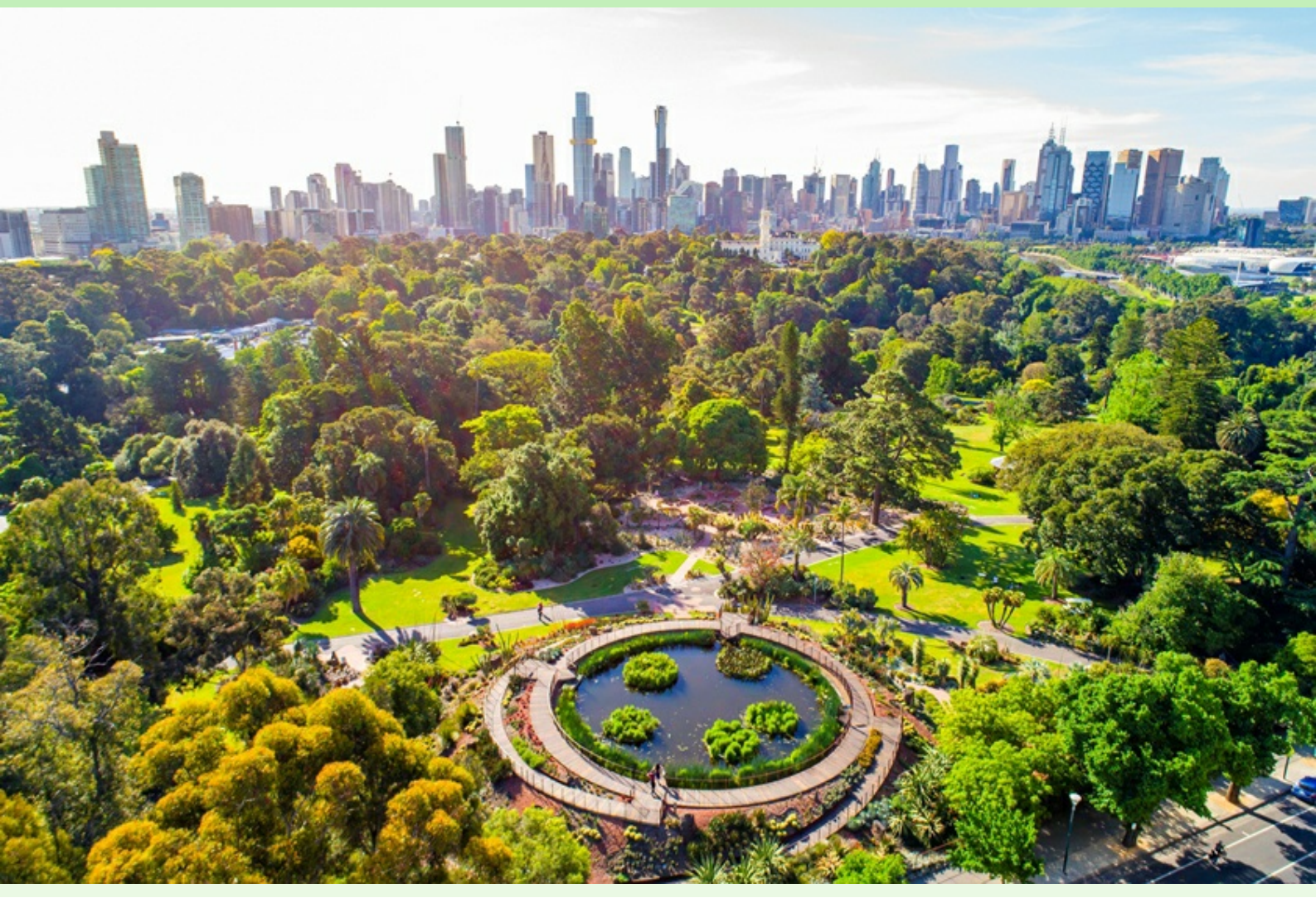




HORTUS BOTANICUS

Журнал Совета ботанических садов СНГ при МААН

16 / 2021



HORTUS BOTANICUS

Журнал Совета ботанических садов СНГ при МААН

16 / 2021

ISSN 1994-3849

Эл № ФС 77-33059 от 11.09.2008

Главный редактор

А. А. Прохоров

Редакционный совет

П. Вайс Джексон
Лей Ши
Йонг-Шик Ким
Т. С. Мамедов
В. Н. Решетников

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
Е. М. Арнаутова
А. В. Бобров
Ю. К. Виноградова
Е. В. Голосова
Е. Ф. Марковская
Ю. В. Наумцев
Е. В. Спиридович
К. Г. Ткаченко
А. И. Шмаков

Редакция

Е. А. Платонова
С. М. Кузьменкова
А. Г. Марахтанов

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20, каб. 408.

E-mail: hortbot@gmail.com

<http://hb.karelia.ru>

© 2001 - 2021 А. А. Прохоров

На обложке:

The heritage landscape of Melbourne Gardens against the skyline of Melbourne City. The stunning Guilfoyle's Volcano (Cacti and Succulent collection) is in the foreground.

Source: Royal Botanic Gardens Victoria

Разработка и техническая поддержка

Отдел объединенной редакции научных журналов ПетрГУ, РЦ НИТ ПетрГУ,
Ботанический сад ПетрГУ

Петрозаводск

2021

Спутниковый геодинимический мониторинг в Карелии и прилегающих областях

ГУСЕВА Тамара Вениаминовна	Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, Москва, 123242, Россия guseva@ifz.ru
КРУПЕННИКОВА Ирина Сергеевна	Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, Москва, 123242, Россия ik@ifz.ru
МЕЛЬНИК Геннадий Эдуардович	Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, Москва, 123242, Россия melnik@ifz.ru
МОКРОВА Анна Николаевна	Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, Москва, 123242, Россия annmok@ifz.ru
ПЕРЕДЕРИН Виктор Петрович	Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, Москва, 123242, Россия vpp@ifz.ru
ПЕРЕДЕРИН Федор Викторович	Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, Москва, 123242, Россия crash@ifz.ru
РОЗЕНБЕРГ Наталия Климентьевна	Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, Москва, 123242, Россия rosenna@ifz.ru

Ключевые слова:

обзор, технология, наука, глобальные навигационные спутниковые системы, gps, глонасс, балтийский щит, мониторинг, сейсмичность, деформации, постледниковое поднятие, геодинимика

Аннотация: Дан обзор спутниковых навигационных систем (ГНСС) и их применения в геодинимических исследованиях. Проанализированы результаты изучения геодинимических процессов с помощью ГНСС, выполненных сотрудниками ИФЗ РАН в северо-западном регионе России, включая Карелию, в частности на геодезическом пункте (BOTS), заложенном в Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета. Приведены результаты расчета скоростей горизонтальных и вертикальных движений, площадных деформаций, а также сопоставление их с сейсмичностью региона.

Получена: 26 ноября 2021 года

Подписана к печати: 18 декабря 2021 года

*

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) широко используются для наземных высокоточных координатных определений при исследованиях современных движений и деформаций земной коры как тектонических плит, так и отдельных геологических структур. Измерения проводятся регулярно на специально выбранных пунктах (GPS/ГЛОНАСС), образующих разномасштабные геодезические построения — геодинимические полигоны.

Современная спутниковая навигационная система основывается на использовании принципа дальномерных измерений между навигационными спутниками и наземными приемниками (рис. 1). В составе сигнала со спутников передается информация, на основании которой высчитываются координаты пунктов в общеземной координатной системе на каждый момент времени. Для геодезических измерений используется высокоточная аппаратура, специальные программы обработки полученных данных для определения положения пункта с максимально возможной точностью, что позволяет изучать медленные и быстрые деформационные процессы, происходящие на земной поверхности.

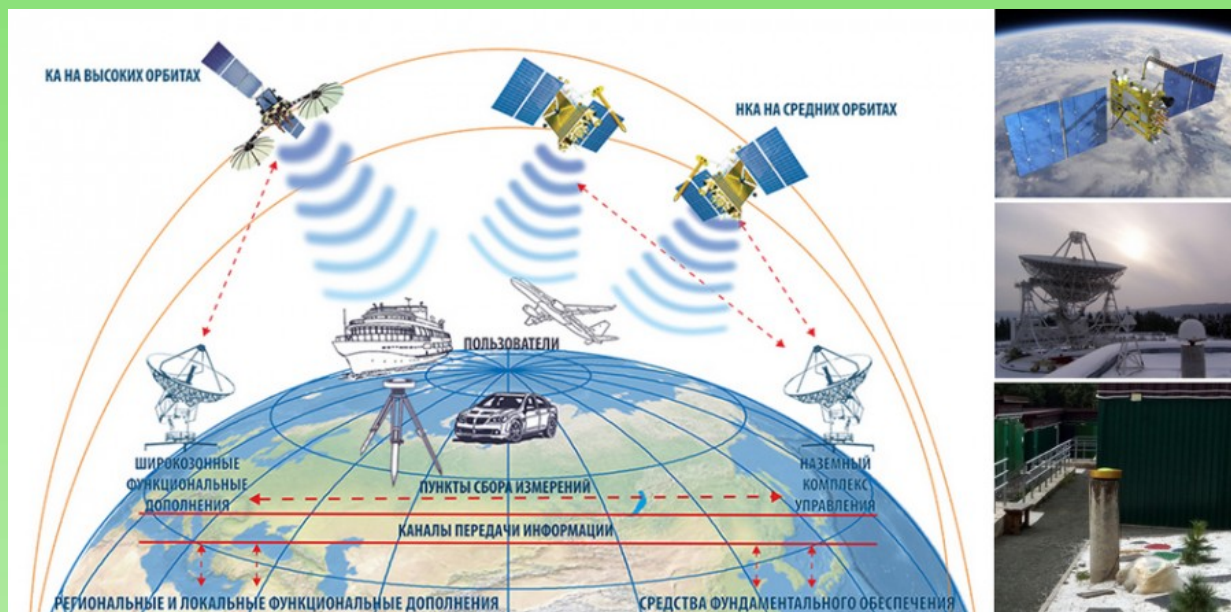


Рис. 1. Инфраструктура навигации и позиционирования на базе системы повышения точности навигации Роскосмоса. Станции сбора измерений — представляют собой комплекс высокоточной навигационной аппаратуры, установленной в точках с известными координатами; информация о целостности системы — информация о сбоях в работе ГНСС; эфемеридно-временная информация — данные для расчёта орбиты космического аппарата и данные бортовых часов; наземные линии передачи данных — УКВ-радиостанции, системы подвижной беспроводной связи или сеть Интернет. <https://www.roscosmos.ru/22054/>.

Fig. 1. Navigation and positioning infrastructure based on the Roscosmos Navigation Accuracy Improvement system. Measurement collection stations are a complex of high-precision navigation equipment installed at points with known coordinates; system integrity information is about failures in GNSS operation; ephemeris-time information is data for calculating the spacecraft orbit and onboard clock data; ground data transmission lines are VHF broadcast stations, mobile wireless communication systems or the Internet. <https://www.roscosmos.ru/22054/>

Одним из интересных объектов геодинимических исследований с применением новейших спутниковых геодезических технологий стала территория северо-запада России. Внедрение современных спутниковых технологий в практику исследований геодинимических процессов в этом регионе началось на стыке прошлого и текущего столетий при содействии специалистов научных и учебных учреждений региона. Это позволило по-новому посмотреть на некоторые тектонические и внутриплитовые процессы при решении геодинимических задач. Активное участие в организации спутникового мониторинга принимают специалисты Института физики Земли имени О. Ю. Шмидта Российской Академии Наук (ИФЗ РАН), продолжая исследования, начатые традиционными геодезическими методами в рамках международного проекта (Прилепин и др., 2002; Galaganov et al., 2001; Галаганов и др., 2005).

Согласно общепринятым представлениям, для современной геодинимики региона определяющим процессом является постледниковое поднятие как следствие оледенения, охватившего около 10-11 тысяч лет назад северо-западную часть Евразии, включающую географические территории Норвегии, Швеции, Дании, Финляндии, а также северо-запада России.

Сотрудники ИФЗ РАН продолжают проводить измерения и исследовать современное развитие деформационных процессов на основе мониторинга GPS+ГЛОНАСС на геодинимических полигонах в Ленинградской области и в Республике Карелия. В 2015 году был создан геодинимический полигон в Мурманской области на побережье Кандалакшского залива, где были заложены новые пункты для изучения локальных движений региона (рис. 2). Карельский полигон расположен в области с наиболее стабильной геодинимической обстановкой и на данный момент является географическим центром исследуемого региона. В настоящее время в него входят четыре пункта: MELO — расположенный на прибрежном возвышенном массиве вблизи г. Сортавала, GIRS — в районе расположения древнейших палеовулканов на территории пос. Гирвас, KRMS — в поселке Карельская Масельга, BOTS — на территории Ботанического сада Петрозаводского государственного университета.

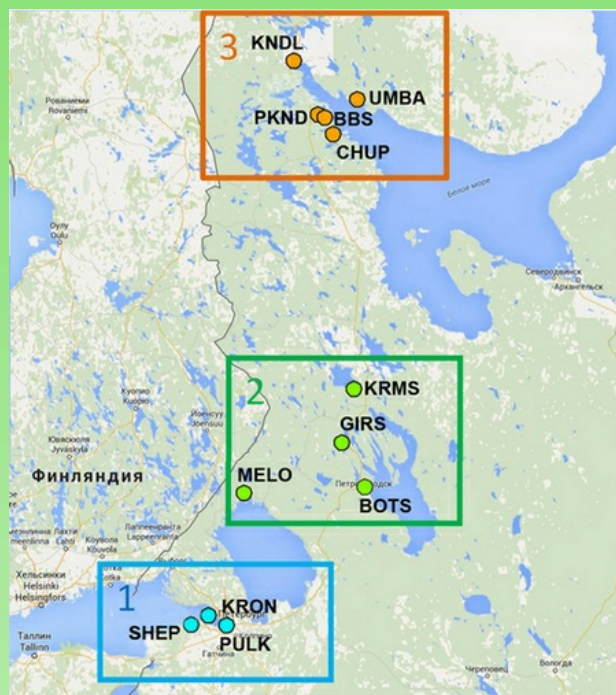


Рис. 2. Местоположение основных пунктов GPS+ГЛОНАСС: 1 — Ленинградская область (наблюдения 1999–2021 гг.); 2 — Карелия (наблюдения 1999–2021 гг.); 3 — Кольский полуостров (наблюдения 2015–2021 гг.).

Fig. 2. Location of the main GPS+GLONASS points: 1 – Leningrad Region (observations 1999–2021); 2 – Karelia (observations 1999–2021); 3 – Kola Peninsula (observations 2015–2021).



Рис. 3. Установка оборудования на пункте BOTS: а) в 2006 г.; б) в 2018 г.

Fig. 3. Equipment installation of at the BOTS point: а) in 2006; б) in 2018.

Пункт BOTS был заложен в 1999 году. Место для него было выбрано на большой поляне, с максимально открытым небесным сводом, что является необходимым условием получения качественных спутниковых данных. Он расположен на скальном выходе коренных пород, что исключает его оползневое смещение с верхними слоями почвы и представляет собой бетонный монумент с системой принудительного центрирования (рис. 3а). На таких пунктах антенна крепится к жестко закрепленной площадке на вершине монумента. Такая конструкция предложена финскими специалистами для выполнения высокоточных деформационных измерений. За годы наблюдений вокруг пункта вырос целый студенческий городок (рис. 3б), новые постройки частично закрыли обзор, но, несмотря на это, получаемые данные не стали хуже. Продолжительность повторных непрерывных спутниковых измерений на пункте составляет 5–7 суток, что

служит гарантией высокого качества полученных измерений.

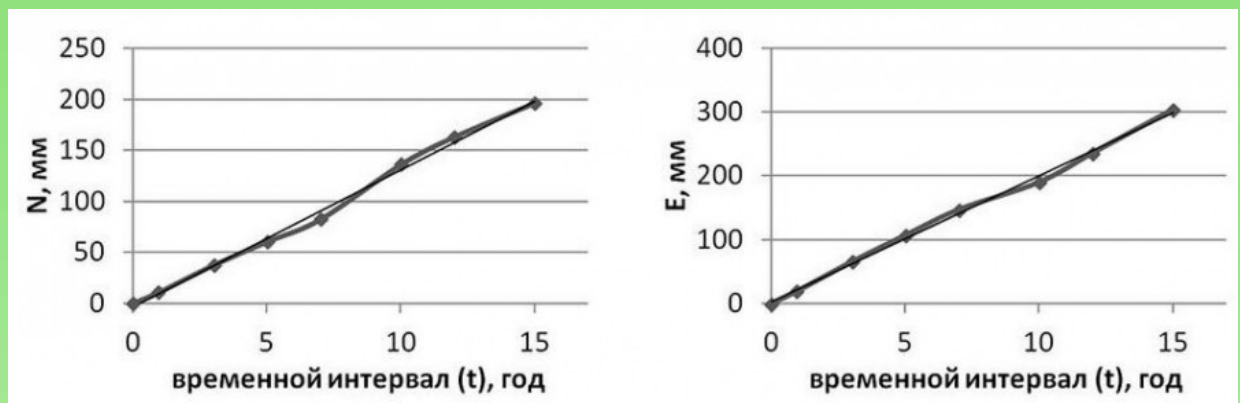


Рис. 4. Графики временного хода северной (N) и восточной (E) компонент координат для пункта BOTS за 2006-2021 гг.

Fig. 4. Time series of the northern (N) and eastern (E) coordinate components for the BOTS point for 2006-2021.

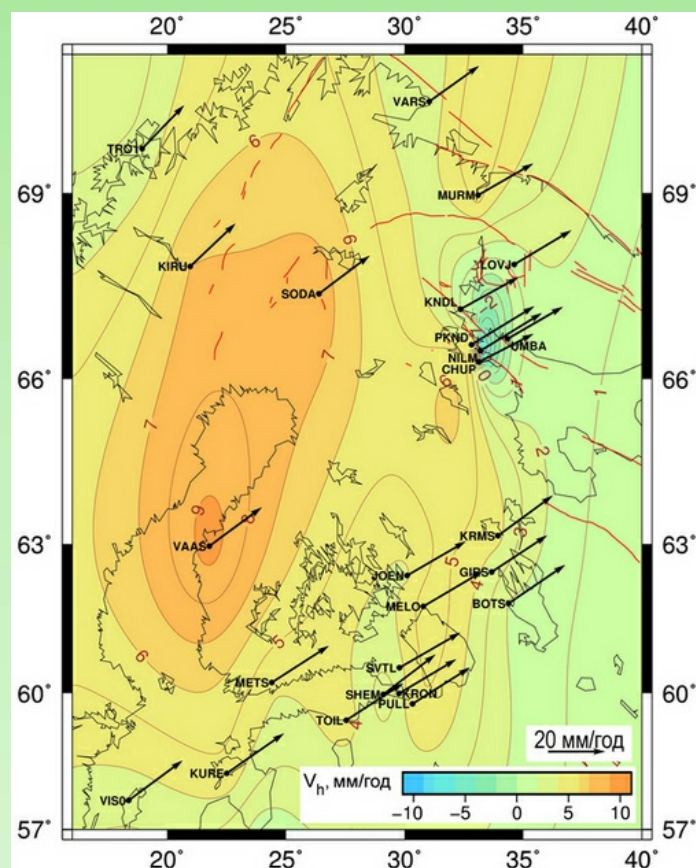


Рис. 5. Карта скоростей современных вертикальных движений (изолинии) и векторов горизонтальных движений (стрелки) северо-востока Восточно-Европейской платформы за период 2006–2021 г.

Fig. 5. Map of modern vertical movements velocities (isolines) and vectors of horizontal movements (arrows) of the northeast of the East European Platform for the period 2006–2021.

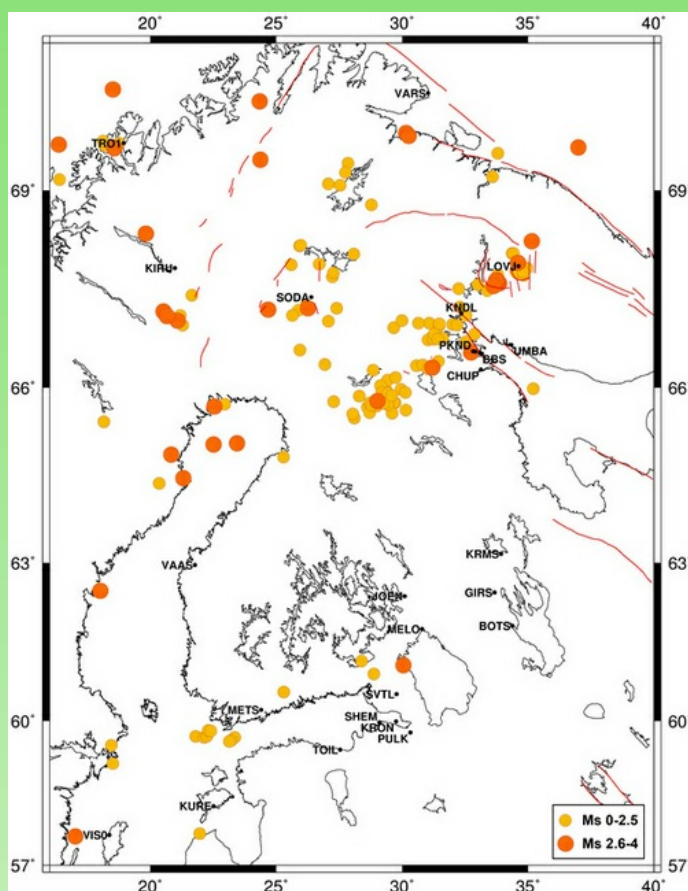


Рис. 6. Эпицентры землетрясений, произошедших за 2000–2019 гг.

Fig. 6. Epicenters of earthquakes occurred in 2000–2019.

Синхронные измерения GPS+ГЛОНАСС проводятся в июле-августе с двухгодичным интервалом между эпохами измерений способом дифференциального позиционирования в статическом режиме, с интервалом регистрации 30 с. Для выбранного временного интервала производится определение среднесуточных геоцентрических и геодезических координат пунктов и их осреднение в отсчетной координатной системе ITRF. Также привлекаются данные постоянно действующих станций Международной геодинимической сети (IGS) в России, Финляндии, Швеции и Норвегии. Ближайшие из них используются в вычислениях в качестве опорных (перемещаемых во времени с постоянной скоростью). Среднеквадратическая ошибка определения плановых координат составила в среднем 0.2 мм для пунктов IGS и 0.3–0.5 мм – для определяемых пунктов. Точность определения вертикальной составляющей координат в 2–2.5 раза ниже.

На графиках, приведенных на рис. 4, отражено изменение во времени компонент координат пункта BOTS за период с 2006 по 2021 гг., которое демонстрирует равномерное горизонтальное смещение пункта во времени, что свидетельствует о высоком качестве проводимых измерений.

Полученные в результате расчета вертикальные и горизонтальные скорости земной поверхности региона приведены на рис. 5. Результаты вычислений подтверждают современное поднятие Балтийского щита со скоростью до 10.4 мм/год, на российской территории не превышая 5–6 мм/год. Вычислены также горизонтальные движения Восточно-Европейской платформы. Они имеют северо-восточное направление и составляют в среднем 23 мм в год в международной координатной системе отсчета ITRF. Внутрорегиональные горизонтальные скорости смещения пунктов Карелии и Ленинградской области были получены путем перерасчета скоростей относительно находящегося на северо-западе пункта KIRU, который был принят за неподвижный. Полученные скорости в локальной системе отчета имеют преимущественно юго-восточное направление и составляют порядка 3–4 мм в год. Для пункта BOTS — 3.8 мм в год.

Помимо анализа скоростей пунктов, большое внимание уделяется изучению площадных деформаций и современного сейсмического режима. Используемая методика анализа деформирования земной коры выявила наличие чередующихся зон растяжения и сжатия со значениями деформаций от $(-0.8) \cdot 10^{-8}$ до $1.6 \cdot 10^{-8}$ в год. Для оценки сейсмической активности данного региона использовался каталог землетрясений, предоставленный КоФ ФИЦ ЕГС РАН, и данные Геологической службы США (USGS). Территория обладает

слабой сейсмической активностью. С 2000 г. здесь произошло около 200 сейсмических событий с магнитудами (M_s) 0.7–4.1. В основном это слабые события с магнитудами до 3.3, кроме девяти – с M_s от 3.5 до 4.1. Повышенная интенсивность сейсмических проявлений характерна для сводового поднятия Фенноскандии (рис. 6).

Одной из важнейших задач исследований является сопоставление полученных смещений земной коры с выделившейся сейсмической энергией. Проявление сейсмичности в пределах рассматриваемой территории достаточно неоднородно, выделяются области, приуроченные к зонам, переходным от растяжения к сжатию, или к зонам растяжения. Выделена Балтийско-Ладожская область сейсмической активности, маркирующая зону перехода от свода к платформе (Гусева и др., 2016, 2020).

Результаты выполненных исследований с использованием ГНСС технологий и анализа сейсмичности позволяют оценить современную тектоническую активность Фенноскандии и особенности ее проявления в первое двадцатилетие текущего века. Сопоставление скоростей перемещений, деформаций и сейсмичности определяет количественные характеристики современной геодинамики исследуемого региона для конкретного временного интервала. Дальнейшее развитие сети геодезических наблюдений в северо-западной части Восточно-Европейской платформы позволит расширить и уточнить имеющиеся данные о геодинамическом режиме этого региона.

Выражаем благодарность директору Алексею Анатольевичу Прохорову и сотрудникам Петрозаводского ботанического сада за теплый прием и помощь в организации работ!



Литература

- Галаганов О. Н., Гусева Т. В., Передерин В. П. Результаты изучения современных движений земной коры на территории Балтийско-Ладожского региона России // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Львів: «Львівська політехніка», 2005. № 66. С. 121—125.
- Гусева Т. В., Крупеникова И. С., Мокрова А. Н., Передерин В. П. Геодезический спутниковый мониторинг и сейсмическая активность северо-запада России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Том 13. № 5. С. 133—141.
- Гусева Т. В., Крупеникова И. С., Мокрова А. Н., Передерин В. П., Розенберг Н. К. Спутниковый мониторинг и сейсмическая активность северо-запада России // Геофизические исследования. 2020. Т. 21. № 1. С. 24—32. DOI: 10.21455/gr2020.1-2 .
- Galaganov O. N., Guseva T. V., Mishin A. V., Bogdanov V. I. Some results of geodynamic researches on eastern frame of the Baltic shield // IAG International Symposium on Recent Crustal Movements. Helsinki, Finland, August 27–31, 2001. Abstracts. Edited by Markku Poutanen. Kirkkonummi. P. 95—96.
- Prilepin M. T., Mishin A. V., Kaban M. K., Baranova S. M. Study of the Baltic Shield geodynamics from GPS data // Izvestiya. Physics of the Solid Earth, Pleiades Publishing, Inc. (New York, USA), 2002. Vol. 38. No 9. P. 756—764.

Satellite geodynamic monitoring in Karelia and adjacent regions

GUSEVA Tamara	Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, B. Gruzinskaya Str., 10, build 1, Moscow, 123242, Russia guseva@ifz.ru
KRUPENNIKOVA Irina	Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, B. Gruzinskaya Str., 10, build 1, Moscow, 123242, Russia ik@ifz.ru
MELNIK Gennadiy	Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, B. Gruzinskaya Str., 10, build 1, Moscow, 123242, Russia melnik@ifz.ru
MOKROVA Anna	Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, B. Gruzinskaya Str., 10, build 1, Moscow, 123242, Russia annmok@ifz.ru
PEREDERIN Victor	Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, B. Gruzinskaya Str., 10, build 1, Moscow, 123242, Russia vpp@ifz.ru
PEREDERIN Fedor	Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, B. Gruzinskaya Str., 10, build 1, Moscow, 123242, Russia crash@ifz.ru
ROZENBERG Nataliya	Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, B. Gruzinskaya Str., 10, build 1, Moscow, 123242, Russia rosenna@ifz.ru

Key words:

review, technology, science, global navigation satellite systems, gps, glonass, seismic activity, baltic shield, monitoring, deformations, postglacial uplifting, geodynamics

Summary:

A review of satellite navigation systems (GNSS) and their application in geodynamic studies is made. The results of studying geodynamic processes using GNSS performed by the staff of the IFZ RAS in the north-western region of Russia, including Karelia, in particular at the geodetic point BOTS in the Botanical Garden of Petrozavodsk State University, are analyzed. The results of calculating the velocities of horizontal and vertical movements, areal deformations, as well as their comparison with the seismicity of the region, are presented. Satellite geodetic points for observations of deformation processes in the region began in the 90s of the 20th century. The BOTS point was founded in 1999 as part of Karelian test-site. It is located on a rocky outcrop of bedrock, which excludes its landslide displacement with the upper layers of the soil. It is a concrete monument with a forced centering system. The duration of repeated continuous satellite measurements at the point is 5–7 days, which is a guarantee of the high quality of the measurements. The vertical and horizontal velocities of the earth's surface of the region reveal the postglacial uplift of the Baltic Shield at a rate up to 10.4 mm/year, not exceeding 5–6 mm/year for the Russian territory. Horizontal movements of the East-European tectonic plate have a NE direction and average 23 mm/year. Intraregional horizontal displacement velocities in Karelia and Leningrad region in the local reference system are mainly in SE direction and are about 3–4 mm/year, for the BOTS — 3.8 mm/year. In addition the velocities of points, much attention is paid to the study of areal deformations and the modern seismic regime. The method of analyzing the deformation of the Earth's crust revealed the presence of alternating zones of stretching and compression with deformations $(-0.8) \times 10^{-8} - 1.6 \times 10^{-8}$ /year. The territory has weak seismic activity. Since 2000, about 200 seismic events with magnitudes (Ms) 0.7–4.1 have occurred within the territory under consideration. A large intensity of seismic events is inherent to the dome uplift of the Fennoscandia. Seismicity within the territory under consideration is rather heterogeneous, with areas timed to zones of transitioning from stretching to compression, or to zones of stretching; the Baltic-Ladoga region of seismic activity is identified, marking the transition zone from the dome to the platform. The results of the studies using GNSS technologies and seismicity analysis allow us to assess the current tectonic activity of Fennoscandia and the features of its manifestation in the first twenty years of the current century. The comparison of the velocities of displacements, deformations and seismicity determines the quantitative characteristics of the modern geodynamics of the studied region for a specific time interval. Further development of the geodetic observation network in the north-western part of the East European Platform will allow expanding and clarifying the available data on the geodynamic regime of this region.

Is received: 26 november 2021 year

Is passed for the press: 18 december 2021 year

References

Galaganov O. N., Guseva T. V., Mishin A. V., Bogdanov V. I. Some results of geodynamic researches on eastern frame of the Baltic shield // IAG International Symposium on Recent Crustal Movements. Helsinki, Finland, August 27–31, 2001. Abstracts. Edited by Markku Poutanen. Kirkkonummi. P. 95—96.

Galaganov O. N., Guseva T. V., Perederin V. P. Results of the study of modern movements of the earth's crust in the Baltic-Ladoga region of Russia // Geodeziya, kartografiya i aerofotozнимannya. Lviv: «Lvivska politekhnika», 2005. No. 66. P. 121—125.

Guseva T. V., Krupennikova I. S., Mokrova A. N., Perederin V. P. Geodetic satellite monitoring and seismic activity of the north-west of Russia // Sovr. Probl. DZZ Kosm. 2016. Tom 13. No. 5. P. 133—141.

Guseva T. V., Krupennikova I. S., Mokrova A. N., Perederin V. P., Rozenberg N. K. Satellite monitoring and seismic activity of the north-west of Russia // Geophysical Research. 2020. V. 21. No. 1. P. 24—32. DOI: 10.21455/gr2020.1-2 .

Prilepin M. T., Mishin A. V., Kaban M. K., Baranova S. M. Study of the Baltic Shield geodynamics from GPS data // Izvestiya. Physics of the Solid Earth, Pleiades Publishing, Inc. (New York, USA), 2002. Vol. 38. No 9. P. 756—764.

Цитирование: Гусева Т. В., Крупенникова И. С., Мельник Г. Э., Мокрова А. Н., Передерин В. П., Передерин Ф. В., Розенберг Н. К. Спутниковый геодинимический мониторинг в Карелии и прилегающих областях // Hortus bot. 2021. Т. 16, 2021, стр. 252 - 260, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8125>.

DOI: [10.15393/j4.art.2021.8125](https://doi.org/10.15393/j4.art.2021.8125)

Cited as: Guseva T., Krupennikova I., Melnik G., Mokrova A., Perederin V., Perederin F., Rozenberg N. (2021). Satellite geodynamic monitoring in Karelia and adjacent regions // Hortus bot. 16, 252 - 260. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8125>