

# ENVIRO MIS 22



## INTERNATIONAL CONFERENCE

and Early Career Scientists School  
on Environmental Observations,  
Modeling and Information Systems

September 12–17, 2022,  
Tomsk, Russia

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

и школа молодых ученых по измерениям,  
моделированию и информационным системам  
для изучения окружающей среды

12–17 сентября 2022 года,  
Томск, Россия

# SELECTED PAPERS

тировать метод ЕИЭМПЗ для геоэкологических изысканий. Комплексное исследование атмосферно-литосферных связей, широтных особенностей формирования электромагнитных полей Земли и региональных эффектов позволит открыть новые возможности метода ЕИЭМПЗ для решения широкого круга задач в области наук о Земле.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Воробьев А.А. Тектоноэлектрические явления и возникновение естественного импульсного электромагнитного поля Земли - ЕИЭМПЗ - Томск, 1979, - 585 с. - Рукопись представлена Томским политехническим институтом. Деп. в ВИНТИ: Часть 1 - № 4296-79 - 202 с.; Часть 2 - № 4297 - 79 - 149 с.; Часть 3 - № 380-80 - 243 с.
2. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. 1970. № 12. С. 3-13.
3. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли. // Геология и геофизика. 2009. № 2. С. 152-172.
4. Мастов Ш.Р., Саломатин В.Н., Яворович Л.В. Выявление степени деформации участков оползня методом регистрации импульсов электромагнитного поля // Инженерная геология. 1983. № 2. С. 98-101.
5. Шталин С.Г., Гордеев В.Ф., Малышков С.Ю., Поливач В.И., Малышков Ю.П. Регистратор импульсных электромагнитных полей для мониторинга геодинамических процессов и геофизической разведки // Датчики и системы. 2012. № 4. С. 32-37.
6. Способ геофизической разведки: пат. 2414726 Рос. Федерация: МПК G01V 3/08 (2006/01) Малышков Ю.П., Малышков С.Ю., Шталин С.Г., Гордеев В.Ф., Поливач В.И. -20.03.2011, Бюл №8.
7. Malyshkov Yu.P., Malyshkov S.Yu., Gordeev V.F., Shtalin S.G., Polivach V.I., Krutikov V.A., Zaderigolova M.M. Earth's Natural Electromagnetic Noises: Their Deep-Seated Origin, Effect on People, Recording and Application in Geophysics // Horizons in World Physics. 2015, v.283, pp. 43-127.
8. Gordeev V.F., Malyshkov S.Yu., Shtalin S.G., Polivach V.I. and Krutikov V.A. Detection of geodynamic activity areas based on the Earth's electromagnetic noise parameters // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. V. 48. 012026. doi:10.1088/1755-1315/48/1/012026.

## Monitoring of greenhouse gases fluxes at scientific-researcher field station Mukhrino, Khanty-Mansiysk

Dmitrichenko A.A.<sup>1</sup>, Dyukarev E.A.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological System SB RAS, Tomsk, Russia

<sup>3</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Moscow, Russia

E-mail: dekot@mail.ru

West Siberian peatlands contain large reserves of carbon and in their natural state are an effective sink for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and a significant source of methane (CH<sub>4</sub>) [Yu, 2011; Liss et al., 1981]. The response of peatlands to climate change lasts several decades. Continuous long-term monitoring helps to detect ongoing changes in peatland functioning (such as biodiversity, net primary production, greenhouse gas emissions, carbon and nitrogen uptake levels, hydrology) and determine the influence of external factors (climate, hydrology) affecting peatland ecosystems [Berglund, 2003; Joosten, 2015; Callaghan et al., 2020; Tsyganov et al., 2021]. In order to collect comprehensive observations of peat bogs, a research field station "Mukhrino" was opened in the middle taiga zone of Western Siberia in 2009 [Dyukarev et al., 2021a, 2021b]. The research focus is to study the impact of climate change on the carbon cycle, hydrology and biodiversity of bog ecosystems.

Field station "Mukhrino" is located in the central part of Western Siberia in the Middle Taiga bioclimatic zone, 20 km southwest of Khanty-Mansiysk, on the second terrace of the left bank of the Irtysh River (near the confluence with the Ob River). The study area is located in the northeastern part of the complex of pristine Mukhrino bog, which has a total area of ~75 km<sup>2</sup>. The vast area to the southwest is represented by peat and lake landscapes of the Kondinsky Lowland, interspersed with forests along rivers. The territory of the Mukhrino field station occupies ~1 km<sup>2</sup>, is provided with a system of broad wooden trails 2 km long, a power supply

complex (solar panels and a wind generator) and permanent sites for hydrometeorological monitoring and biodiversity monitoring of various elements of peat ecosystems.

Automated monitoring of carbon dioxide fluxes at the oligotrophic ridge-hollow complex is carried out since 2017 to the present using a portable atmospheric-soil measuring complex with two transparent cameras. The automatic cameras were placed in the mochachin and on the ridge of the oligotrophic bog complex.

In 2015, a mast with equipment was installed in a representative part of the Mukhrino bog to obtain continuous ecosystem-scale data on greenhouse gas exchange and energy fluxes using the turbulent pulsation method (eddy-covariance - EC) [Alekseychik et al., 2017]. Measurements using the same facility were continued, and in 2019 the station was augmented with a Liñor LI-7700 methane analyzer. In 2021, the EC station was upgraded. A new mast 7 m high was installed, with CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O LI-7200 and CH<sub>4</sub> LI-7700 gas analyzers (Licor Biogeosciences, USA) and an ultrasonic uSonic-3 Cage MP anemometer (Metek, Germany) mounted on it. The station outprint increased to an area with a radius of 100-300 m. The average daily variations for the summer season 2021 are shown in Fig. 2. Net ecosystem exchange (FCO<sub>2</sub>) has a clear diurnal course with negative values of fluxes in the daytime. The specific methane flux (FCH<sub>4</sub>) shows two maxima in the diurnal course - at 7 h and 18 h local time (UTC +5).

Comparison of NEE estimations obtained at EC measurements in 2015 with NEE data from chamber observations shows that EC data are 1.8-3.5 times higher than NEE obtained at hollow site due to impact of pine trees photosynthesis which is not registered by the chamber method.

At present, the system of observations of greenhouse gas fluxes at the field station "Mukhrino" continues to expand. In 2022, a 10 m mast was installed in a pine-shrub sphagnum bog with a set of equipment to implement the turbulent pulsation method. It is planned to install the EC station in a mixed forest massif at a height of 40 m from the surface, as well as to place three chamber systems with 8 cameras each in different parts of the Mukhrino peatland.

## Организация мониторинга потоков парниковых газов на научно-исследовательской полевой станции «Мухрино», Ханты-Мансийск

Дмитриченко А.А.<sup>1</sup>, Дюкарев Е.А.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

<sup>3</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

E-mail: [dekot@mail.ru](mailto:dekot@mail.ru)

Болота Западной Сибири содержат огромные запасы углерода и в естественном состоянии являются эффективным стоком для углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и значительным источником метана (CH<sub>4</sub>) [Yu, 2011; Лисс и др., 1981]. Реакция торфяников на изменение климата растянута во времени на несколько десятилетий. Непрерывный долгосрочный мониторинг помогает обнаружить изменения в функционировании торфяных болот (такие как биоразнообразие, чистая первичная продукция, выбросы парниковых газов, уровень поглощения углерода и азота, гидрология) и определить влияние внешних факторов на экосистемы торфяных болот [Berglund, 2003; Joosten, 2015; Callaghan et al., 2020; Tsyganov et al., 2021]. С целью организации комплексных наблюдений за торфяными болотами в 2009 году в средней таежной зоне Западной Сибири была открыта научно-исследовательская полевая станция "Мухрино" [Dyukarev et al., 2021a, 2021b]. Фокус исследований направлен на изучение влияния изменения климата на углеродный цикл, гидрологию и биоразнообразие болотных экосистем.

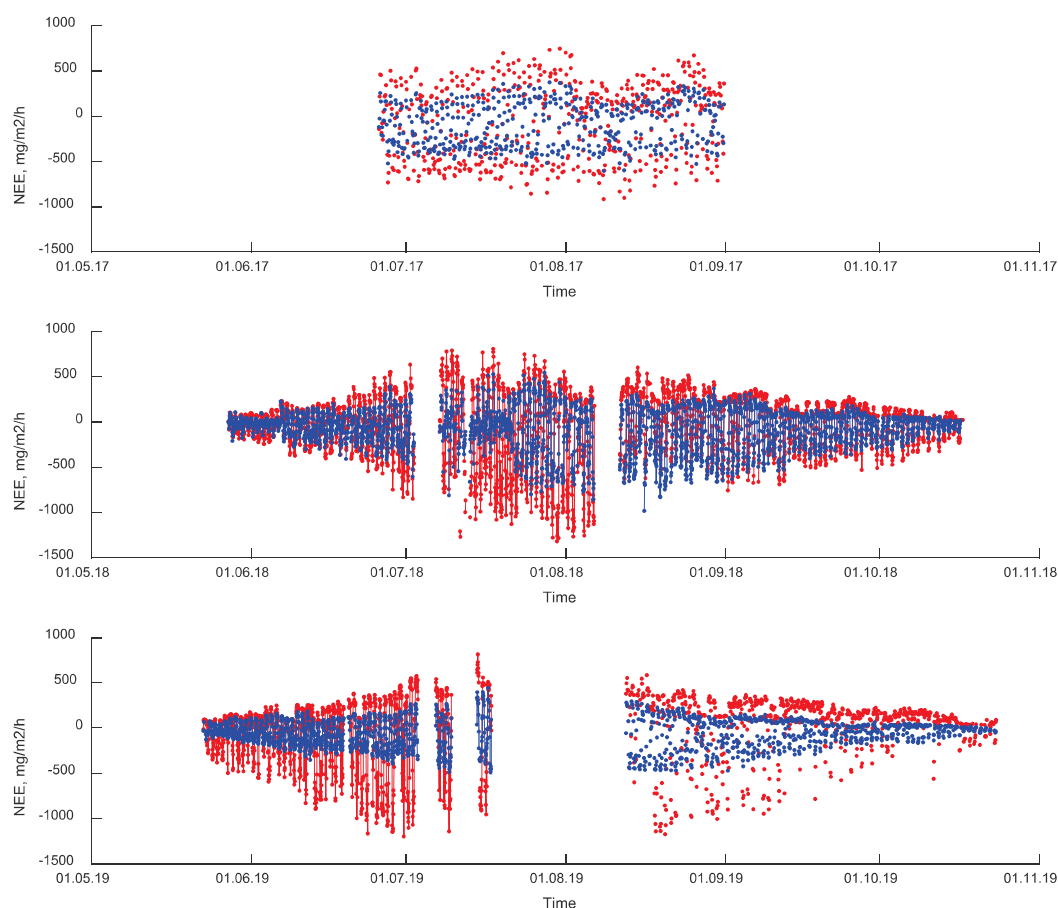
Полевая станция "Мухрино" расположена в центральной части Западной Сибири в биоклиматической зоне средней тайги, в 20 км к юго-западу от города Ханты-Мансийска, на второй террасе левого берега реки Иртыш (недалеко от слияния с рекой Обь). Район исследований расположен в северо-восточной части комплекса нетронутого болота Мухрино, общая площадь которого составляет ~75 км<sup>2</sup>. Обширная территория к юго-западу представлена торфяными и озерными ландшафтами Кондинской низменности, перемежающимися с лесами вдоль рек. Территория полевой станции "Мухрино" занимает ~1 км<sup>2</sup>, обеспечена системой широкополосных дорожек длиной 2 км, комплексом энергоснабжения (солнечные батареи и ветрогенератор) и постоянными участками гидрометеорологического мониторинга и мониторинга биоразнообразия различных элементов торфяных экосистем.

### Автоматические камерные измерения потоков углекислого газа

Автоматизированный мониторинг потоков углекислого газа на олиготрофном грядово-мочажинном комплексе проводится в 2017 г по настоящее время с помощью портативной атмосферно-почвен-

ной измерительного комплекса (АПИК) с двумя прозрачными камерами. Автоматические камеры были размещены в мочажине и на гряде олиготрофного болотного комплекса. АПИК способна измерять и регистрировать следующие характеристики окружающей среды: температуру воздуха ( $T_a$ ) и влажность (RH) (на высоте 2 м над землей и у поверхности земли), ФАР (фотосинтетическая активная радиация; входящая солнечная радиация в спектральном диапазоне 400-700 нм), содержание углекислого газа и давление водяного пара в пробах воздуха. Система включает двухканальный газоанализатор Li-7000 (Li-COR Biogeosciences, США) и две измерительные камеры объемом 120 л. Камеры закрываются на 5 минут каждый час (или 3 часа в 2017 году) для обеспечения измерения потока. В остальное время они остаются открытыми. Воздух для пробы непрерывно прокачивается через камеру и газоанализатор в течение периода наблюдений с помощью мембранного насоса 7006ZVR (Gardner Denver Thomas GmbH, Германия) со скоростью потока  $\sim 2$  л/мин. Результаты измерений непрерывно сохраняются в АПИК и передаются на веб-сервер.

Автоматизированная система работала в режиме измерения с июля по август в 2017 году и с мая по октябрь в 2018 и 2019 годах. Поток  $CO_2$  рассчитывался с помощью специализированного программного модуля, разработанного в Matlab (MathWorks, США) с использованием линейной модели изменения концентрации в камерах в течение первых двух минут отбора данных. Временные ряды рассчитанных значений потоков  $CO_2$ , которые в прозрачной камере представляют собой величину чистого экосистемного обмена приведены на рис. 1. Для получения непрерывных записей данных, экстраполяции их на другие периоды, когда экспериментальные данные отсутствуют, и расчета годового углеродного бюджета экосистемы использовалась модель общего углеродного обмена экосистемы [Dyukarev, 2017]. Измеренная общая NEE была разделена на компоненты валовой первичной продукции (GPP) и общего дыхания экосистемы (ER). Модель была откалибрована с использованием всех доступных наборов данных о потоках углекислого газа в 2017-2019 годах [Dyukarev et al., 2019].



**Рис. 1.** Временной ход чистого экосистемного обмена (NEE) в 2017, 2018 и 2019 гг. по данным камерных измерений на гряде (красный) и мочажине (синий) ГМК болота Мухрино.

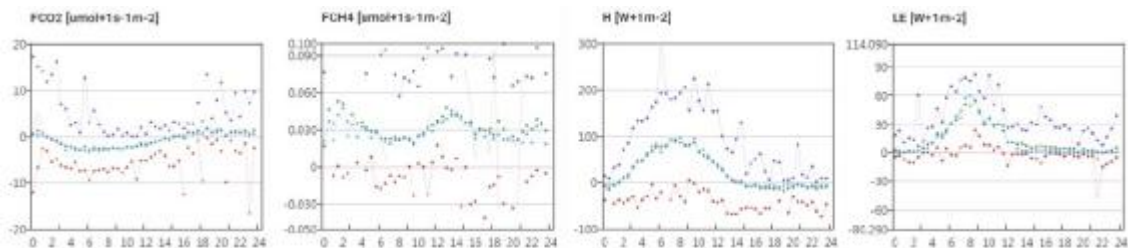
Результаты полевых измерений потоков  $CO_2$  на грядово-мочажинном комплексе в сочетании с предложенной математической моделью позволили адекватно оценить показатели NEE, ER и GPP для грядово-мочажинных участков на олиготрофном болоте в зоне средней тайги Западной Сибири. Кумулятивные показатели поглощения  $CO_2$  превышают кумулятивные показатели дыхания на обоих экспе-



риментальных участках. Средняя за три года вегетационного периода NEE на пологом участке была значительно выше ( $-91,9 \text{ гС м}^{-2}$ ), чем на грядовом участке ( $-13,6 \text{ гС м}^{-2}$ ). Показатели GPP и ER на участке гряды были выше, чем на участке мочажины [Dyukarev, 2021b].

#### Измерения потоков методом турбулентных пульсаций

В 2015 году в репрезентативной части болота Мухрино была установлена мачта с оборудованием для получения непрерывных данных экосистемного масштаба по обмену парниковыми газами и потоками энергии [Alekseychik et al., 2017] с помощью метода турбулентных пульсаций (eddy-covariance - EC). На момент установки это была первая постоянно действующая EC станция в радиусе около 1000 км. Аппаратура состояла из анализатора  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  LI-7500 (Licor Biogeosciences, США) и трехмерного ультразвукового анемометра Gill R3 (Gill Instruments Ltd, Великобритания). В течение первого сезона измерения проводились с мая по август 2015 года и обеспечили соответствующее покрытие данных о потоке за весь вегетационный период. Данные EC обрабатывались с помощью программного обеспечения EddyUN [Mammarella et al, 2016]. Была отмечена сходимость энергетического баланса на уровне 99%, что указывает на хорошее качество данных. Высота установки датчика 4 м над уровнем поверхности болота позволила получить зону 70-процентного футпринта с радиусом около 89–202 м в зависимости от типа стратификации атмосферы. В 2015 году кумулятивный NEE за май-август составил  $-202 \text{ гС м}^{-2}$ .



**Рис. 2.**

Осредненный суточный ход потоков углекислого газа (FCO2), метана (FCH4), явного (H) и скрытого тепла (LE) за июль-сентябрь 2021 г. по данным EC станции на ГМК болота Мухрино. Приведены среднее, медианное, минимальное, максимальное значения. Время по UTC.

Измерения с использованием той же установки были продолжены, а в 2019 году станция была дополнена анализатором метана Licor LI-7700. В 2021 г. станция EC была модернизирована. Была установлена новая мачта высотой 7 м, на ней монтированы газоанализаторы  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  LI-7200 и  $\text{CH}_4$  LI-7700 (Licor Biogeosciences, США) и ультразвуковой анемометр uSonic-3 Cage MP (Metek, Германия). Футпринт станции увеличился до области радиусом 100–300 м. Средние за летний сезон 2021 г. графики суточного хода приведены на рисунке 2. Чистый экосистемный обмен (FCO2) имеет явный суточный ход с отрицательными значениями потоков в дневное время. Удельный поток метана показывает два максимума в суточном ходе – в 7 ч и 18 ч местного времени (UTC +5).

Сравнение оценок NEE, полученных при EC измерениях в 2015 году, с данными NEE по результатам камерных наблюдений показывает, что данные EC в 1,8–3,5 раза превышают NEE, полученные камерным методом. Вероятно, разница вызвана не учетом фотосинтеза и дыхания сосен, которые не регистрируются камерным методом.

В настоящий момент систем наблюдений за потоками парниковых газов на полевой станции "Мухрино" продолжает расширяться. В 2022 г. установлена 10 м мачта на участке сосново-кустарничкового сфагнового болота с комплексом оборудования для реализации метода турбулентных пульсаций. Планируется установка EC станции в массиве смешанного леса на высоте 40 м от поверхности, а также размещение трех камерных систем с 8 камерами каждая на различных участках болотного массива.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лусс О.Л., Березина Н.А. Болота Западно-Сибирской равнины. М.: Наука, 1981. 208 с.
2. Alekseychik, P.; Mammarella, I.; Karpov, D.; Dengel, S.; Terentjeva, I.; Sabrekov, A.; Glagolev, M.; Lapshina, E. Net ecosystem exchange and energy fluxes measured with eddy covariance technique in a West Siberian bog. *Atmos. Chem. Phys.* 2017, 17, 9333–9345. doi: 10.5194/acp-2017-43.
3. Berglund, B.E. Human impact and climate changes - synchronous events and a causal link? *Quarter. Internat.* 2003, 105(1), 7–12.
4. Callaghan, T.V.; Kulikova, O.; Rakhmanova, L.; Topp-Jorgensen, E.; Labba, N.; Kuhmanenm L.-A.; Kirpotin, S.; Shadyko, O.; Burgess, H.; Rautio, A.; Hindshaw, R.S.; Golubyatnikov, L.L.; Marshall, G.J.; Lobanov, A.; Soromotin, A.; Sokolov, A.; Soklova, N.; Filant, P.; Johansson, M. Improving dialogue among researchers, local and indigenous peoples and decision-makers to address issues of climate change in the North. *Ambio*, 2020, 49, 1161–1178. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01277-9>.

5. Dyukarev E., Filippova N., Karpov D., Shnyrev N., Zarov E., Filippov I., Voropay N., Avilov V., Artamonov A., Lapshina E. Hydrometeorological dataset of West Siberian boreal peatland: a 10-year record from the Mukhrino field station // *Earth Syst. Sci. Data*, 2021a, 13, 2595–2605, <https://doi.org/10.5194/essd-13-2595-2021>.
6. Dyukarev E., Zarov E., Alekseychik P., Nijp J., Filippova N., Mammarella I., Filippov I., Bleuten W., Khoroshavin V., Ganasevich G., Meshcheryakova A., Vesala T., Lapshina E. The multiscale monitoring of peatland ecosystem carbon cycling in the middle taiga zone of Western Siberia: the Mukhrino bog case study // *Land* 2021b, 10(8), 824; <https://doi.org/10.3390/land10080824>.
7. Dyukarev, E.; Godovnikov, E.; Karpov, D.; Kurakov, S.; Lapshina, E.; Filippov, I.; Filippova, N.; Zarov, E. Net ecosystem exchange, gross primary production and ecosystem respiration in ridge-hollow complex at Mukhrino bog. *Geogr., Env., Sust.*, 2019, 12(2), 227–244. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-77>.
8. Dyukarev, E.A. Partitioning of net ecosystem exchange using chamber measurements data from bare soil and vegetated sites. *Agricult. and Forest Meteorol.* 2017, 239, 236–248. doi:10.1016/j.agrformet.2017.03.011.
9. Joosten, H. Peatlands, climate change mitigation and biodiversity conservation: An issue brief on the importance of peatlands for carbon and biodiversity conservation and the role of drained peatlands as greenhouse gas emission hotspots. *Nordic Council of Ministers*, 2015, 2015727.
10. Mammarella, I.; Peltola, O.; Nordbo, A.; Järvi, L.; Rannik, Ü. Quantifying the uncertainty of eddy covariance fluxes due to the use of different software packages and combinations of processing steps in two contrasting ecosystems. *Atmos. Meas. Tech.*, 2016, 9, 4915–4933. doi:10.5194/amt-9-4915-2016
11. Tsyganov, A.N.; Zarov, E.A.; Mazei, Y.A.; Kulkov, M.G.; Babeshko, K.V.; Yushkovets, S.Y.; Payne, R.J.; Ratcliffe, J.L.; Fatyunina, Y.A.; Zazovskaya, E.P.; Lapshina, E.D. Key periods of peatland development and environmental changes in the middle taiga zone of Western Siberia during the Holocene. *Ambio*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01545-7>
12. Yu Z. Holocene carbon flux histories of the world's peatlands: Global carbon-cycle implications // *The Holocene*. 2011. Vol. 21(5), P. 761–774. doi:10.1177/09596 83610 386982

## Microclimate monitoring network based on Soil-Atmosphere Measurement Complexes

Dyukarev E.A.<sup>1,2</sup>, Kurakov S.A.<sup>1,2</sup>, Voropay N.N.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological System SB RAS, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

<sup>3</sup>V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

E-mail: [dekot@mail.ru](mailto:dekot@mail.ru)

Microclimate is a complex of climatic conditions organized by local landscape. Air and soil temperature, solar radiation, wind speed, and moisture conditions are significant factors that form ecological patterns in plant and animal communities. The importance of the influence of microclimate on growth and die-off, soil respiration, and nutrient cycling is one of the components of modern ecological research.

Russia has a network of weather stations of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Rosgydromet), organized to conduct global, comprehensive, systematic, continuous observations of the natural environment. Weather stations must be located in an area that is open and typical of the surrounding terrain. However, on the territory of Siberia their network is extremely sparse and not regular. Weather stations are located in open areas mainly in river valleys, and the information obtained at them does not fully reflect the situation in the forest, mires and mountain landscapes represented on the territory.

In order to provide ecological and landscape studies with meteorological information, a network of automated observation points has been forming at the Institute of Monitoring of Climate and Ecological Systems (IMCES SB RAS) since 2005, where basic meteorological characteristics are registered. The network of microclimatic monitoring that we are developing is focused on continuous observations in typical landscapes in key areas located in different natural-climatic zones. Historically, various projects have formed clusters of observation sites, usually located close to each other, but characterized by different local landscape conditions. Microclimatic monitoring is organized in the areas of forest-marsh complexes in Western Siberia, mountain-bottom landscapes of the Baikal region.

Atmospheric-soil measuring complexes (ASMC) are used for monitoring. ASMC is intended for mobile and stationary long-term automatic measurements and registration of the main parameters of the atmosphere,