



Межсезонные колебания температуры и влажности почвы в 2024 году на мини-полигоне Кентор (Северный Тянь-Шань) по данным дистанционного зондирования Земли

К.С. Непейна¹✉

АФФИЛИАЦИИ

¹ Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Кыргызстан
✉ nepeina.k@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Непейна К.С. Межсезонные колебания температуры и влажности почвы в 2024 году на мини-полигоне Кентор (Северный Тянь-Шань) по данным дистанционного зондирования Земли // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 1. С. 77–92. DOI:10.30533/scidata-2025-16-03.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

температура, почвы, сезонные вариации, электросопротивление, влажность, TIRS, Sentinel, Landsat

АННОТАЦИЯ

В работе исследуются возможности дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для восстановления почвенных метеорологических условий при проведении магнитотеллурического мониторинга мини-полигона Кентор (Иссык-Атинский район, Чуйская область, Кыргызстан), где регулярные измерения проводятся с 2014 г., и связь с межсессионными вариациями влажности и температуры. С помощью спектрального анализа данных ДЗЗ

определены характеристики поверхностного слоя Земли в одном из центральных пунктов магнитотеллурического зондирования. Для изучения параметров земной поверхности выбран период наблюдений с марта до октября 2024 г. На примере календарного интервала (март–октябрь 2024 г.) выявлены различия метеорологических условий весной и осенью: в мае наблюдалась более влажная погода, тогда как к сентябрю повышалась температура поверхности и уменьшалась влажность почвы. Построены графики изменения параметра влажности (англ. Normalized Difference Moisture Index, NDMI) по данным спутника Sentinel-2 и температурных колебаний по данным спутника Landsat-9 (Thermal InfraRed Sensor) за полугодовой период при условии 50 %-ной облачности. Сделан вывод о разных состояниях почвенного слоя в межсезонье. Сопоставление данных NDMI и тепловых измерений подтвердило сезонные вариации, влияющие на достоверность интерпретации электромагнитных параметров. Показано, что использование ДЗЗ является перспективным инструментом для восстановления метеоусловий и учета сезонных факторов при расчетах электрического сопротивления почв, что повышает точность геофизического мониторинга и проектирования заземляющих устройств.

1 Введение

Актуальным направлением в настоящее время является изучение параметров почв и грунтов, влияющих как на условия проведения научных исследований, так и на эколого-аграрные показатели. Полученные данные позволяют выявить физические свойства почвы с целью ее дальнейшего окультуривания и предупреждения эрозии [1–4].

Для выполнения магнитотеллурических зондирований (МТЗ) с аппаратурой Phoenix MTU-5 необходимо следовать определенному алгоритму установки датчиков и электродов. Для установки приемных неполяризуемых электродов требуется заземлить их на небольшую глубину в соответствии с выбранной схемой измерений. Расстояние между электродами должно соответствовать требованиям используемой методики измерений.

На электросопротивление почв влияют различные факторы, включая влажность и структуру почвы, температуру, содержание солей и минералов и др.¹. Исследователи отмечают: «Сопротивление заземляющего устройства зависит от удельного сопротивления грунта, поэтому при расчетах проектирования и реконструкции по усилению заземляющих устройств необходимо учитывать структуру и слоистости грунтов, климатические условия региона» [5, с. 70]. Чаще всего используются экспериментально-расчетные результаты влияния свойств грунтов на величину их удельных сопротивлений [6]. Метеорологические условия, такие как количество осадков, температура и влажность воздуха, могут значительно влиять на электросопротивление почв. Изменения температуры

¹ IEEE Std 80-2013. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding / IEEE Standards Association, 2015.

и содержание солей в почве также могут оказывать влияние на электросопротивление [7–11]. Вода является отличным проводником электричества. Эти колебания могут быть значительными в течение дня, сезона и года, что необходимо учитывать при интерпретации результатов измерений электросопротивления. Удельное сопротивление грунта также сильно варьируется в течение года из-за изменения количества влаги в почве и промерзания в зимний период. Наличие влаги в грунте существенно снижает удельное сопротивление грунта. **На основе вышеперечисленных факторов, от которых зависит электрическое сопротивление почв, были поставлены следующие задачи:**

- выбрать пример рабочего участка мониторинговых наблюдений;
- определить временной отрезок наблюдений;
- узнать тип поверхности, где ведутся наблюдения;
- изучить поведение параметров влажности и температуры по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Целями данного исследования являются восстановление метеорологических условий для приповерхностного (почвенного) слоя участка рассмотрения и установление закономерностей и обобщенных факторов при измерениях электрического сопротивления за полугодовой период 2024 года.

Для проверки возможности использования методов ДЗЗ для оценки метеорологических параметров предлагается выбрать тестовый пример в Чуйской области Кыргызской Республики (**рис. 1**). Чуйская область Кыргызстана характеризуется аридным типом ландшафтов. В основном на рассматриваемом участке преобладают сероземы — почвы, характерные для Чуйской долины Кыргызстана и формирующиеся в условиях засушливого климата с жарким летом². Преимущество использования температурных показателей по ДЗЗ — это значение температуры не воздуха, а именно поверхности Земли [12]. Недостатки использования метода — определенные даты фиксирования, ограничение по степени облачности и пространственное разрешение.

Рис. 1 Карта-схема расположения области исследований (Чуйская область, Кыргызстан)

Fig. 1 Schematic map of the research area (Chu region, Kyrgyzstan)



² Ильясов Ш., Забенко О., Гайдамак Н. и др. Климатический профиль Кыргызской Республики. Бишкек, 2013. 99 с.

2 Материалы и методы

Изучаемая в данном исследовании область — мини-полигон Кентор — это относительно ровная площадка, расположенная в предгорьях Киргизского хребта вблизи с. Норус (Иссык-Атинский район, Чуйская область, Кыргызстан) на высоте ~1800 м ниже уровня моря. С 2014 года полевой отряд глубинных магнитотеллурических зондирований Научной станции РАН в г. Бишкеке ежегодно проводит весеннюю и осеннюю сессии магнитотеллурического мониторинга на мини-полигоне Кентор по профилям «Центральный» (С1-С11) и «Восточный» (Е1-Е11, Е13-Е22, Е24, Е26) (**рис. 2**): «...локальные профили МТЗ пересекают предгорную Байтикскую впадину в субмеридиональном направлении, их протяженность составляет от 1,1 км (“Кентор-Центральный”) до 4,7 км (“Кентор-Восточный”), шаг зондирований от 100 до 200 м» [13, с. 135]. Примерная длительность измерений составляет около 10–20 ч. в каждом пункте наблюдения.

Данные геоэлектрические модели пересекают зоны активных разломов — Шамси-Тундукского и Байтикского. Началу работ всегда предшествует проведение калибровок регистраторов и датчиков с последующей тестовой записью. Мониторинг проводится по стандартной методике МТЗ с использованием аппаратуры Phoenix MTU-5 в наборе с электрическими диполями длиной 50 м и индукционными датчиками МТС-50 и неполяризуемыми электродами. Ориентации измерительных установок и их расположение полностью повторяли предшествующие полевые работы [14] (**рис. 3**). Обработку записей проводили в программе SSMT-2000 и в программе EPI-KIT геофизической компании ООО «Северо-Запад»³. В предыдущих работах были построены геоэлектрические разрезы для этой зоны до глубин ~3–4 км [15–16].

Обычно весенняя сессия приходится на май, а осенняя — на октябрь. Поэтому для демонстрации разницы метеорологических условий при проведении зондирований выберем отрезок наблюдений между мартом и октябрём 2024 года. Иногда работы осложняются неблагоприятными погодными условиями: ливнями, порывистым ветром.

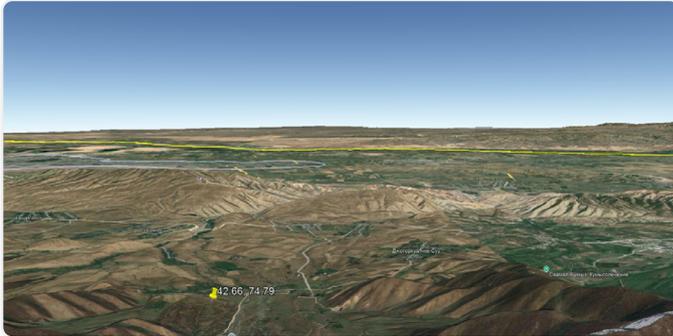
В результате режимных наблюдений был накоплен ряд геоэлектрических разрезов с характерными сезонными вариациями электромагнитных параметров по исследуемым профилям, что дало веские основания для обнаружения эффекта «размытия» границ геоэлектрических тел.

Вариации параметров геологической среды приводят к численным изменениям при расчете электрического сопротивления. Как следствие, наблюдаются незначительные трансформации основных геоэлектрических объектов, полученных при инверсии электромагнитных данных.

³ Северо-Запад: сервисная геофизическая компания: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nw-geo.ru> (дата обращения: 05.06.2025).

Рис. 2 Цифровые изображения из сервиса Google Earth⁴ для мини-полигона Кентор

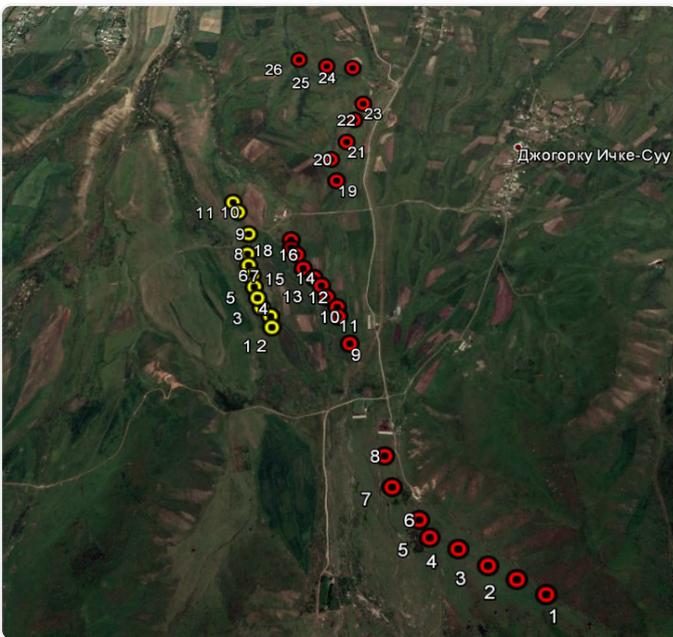
Fig. 2 Digital images from the service Google Earth⁴ for the Kentor mini test polygon



Общий вид с основными объектами инфраструктуры
(желтым маркером отмечен центр мини-полигона с координатами 42,66° с. ш., 74,49° в. д.)



Карта с основными объектами инфраструктуры жизнедеятельности



Расположение пунктов на профилях «Восточный» и «Центральный»
«Восточный» — желтые точки
«Центральный» — красные точки
(источник снимка — сайт НС РАН⁵)

⁴ Google Earth. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earth.google.com> (дата обращения: 05.06.2025).

⁵ Научная станция РАН в г. Бишкеке: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gdir.ru> (дата обращения: 05.06.2025).

Рис. 3 Типичный вид пункта наблюдений (источник фотографии — сайт НС РАН⁶)

Fig. 3 Typical view of an observation point (photo from the website RS RAS⁶)



3 Результаты и обсуждение

Для того чтобы понять, какой тип (состав) грунтов находится на поверхности земли, где ведется мониторинг, в первую очередь изучаются полевые условия, материалы и цифровые фотографии, в том числе и спутниковые (например, Google Earth). Затем для уточнения обращаются к данным ДЗЗ и выбирают доступные инструменты. В данном случае, оценивая спектральные характеристики по данным Sentinel-2⁷ (рис. 4), можно судить о том, что получаемая кривая для центра мини-полигона (англ. point of interest) (светло-коричневая линия) ближе всего к голубой и коричневой кривым, отвечающим классам «трава» (англ. grass) и «почвы, коричневые пески» (англ. soil, brown sand) соответственно, по данным USGS Spectral Library, ECOSTRESS Spectral Library (NASA) [17]. Это на самом деле соотносится с почвами вперемешку с валунно-галечным материалом, покрытым

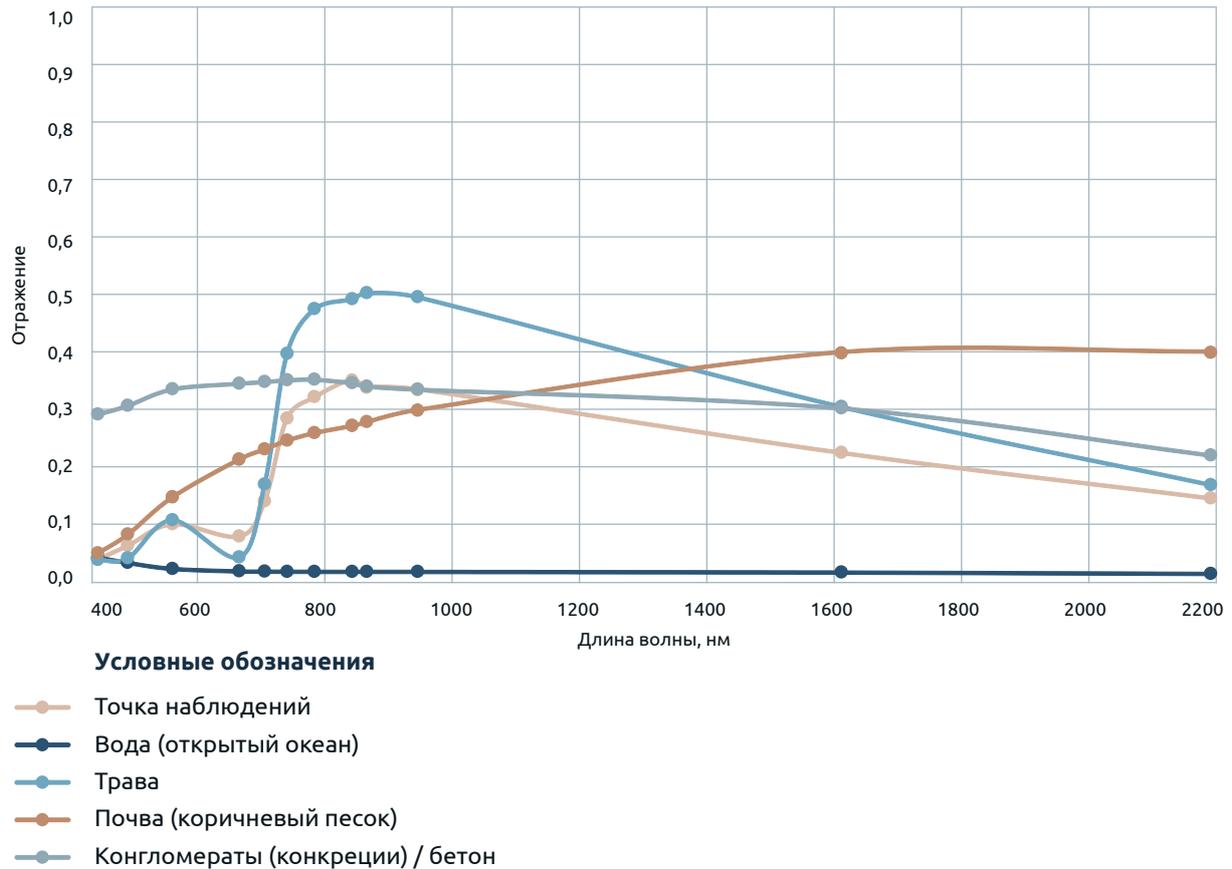
⁶ Научная станция РАН в г. Бишкеке: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gdir.ru> (дата обращения: 05.06.2025).

⁷ Sentinel-2 Portal. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://apps.sentinel-hub.com> (дата обращения: 05.06.2025).

травой, судя по **рис. 3**, тем более что при проведении МТЗ необходим рыхлый грунт для заземления неполяризуемых электродов и прикапывания индукционных датчиков.

Рис. 4 Спектральные характеристики отражательной способности по спутниковым данным Sentinel-2, USGS Spectral Library, ECOSTRESS Spectral Library (NASA) для центра мини-полигона Кентор

Fig. 4 Spectral signatures based on satellite data from Sentinel-2, USGS Spectral Library, ECOSTRESS Spectral Library (NASA) for the center of the Kentor mini test site polygon



Согласно общепризнанной практике, для анализа влажности стоит выбрать нормализованный разностный индекс влажности (англ. Normalized Difference Moisture Index, NDMI / MI), который определяет уровень содержания влаги в растениях, используя комбинацию спектральных диапазонов в ближнем инфракрасном (NIR) и коротковолновом инфракрасном (SWIR) диапазонах, и является надежным индикатором дефицита влаги в почве. $MI > 0$ свидетельствует о влажных условиях: осадков больше, чем испаряется влаги (синий цвет). Если $MI < 0$, наблюдаются засушливые условия: испарение превышает количество осадков (красный цвет). Этот индекс получают по данным спутника Sentinel-2.

Для анализа температурных колебаний следует обратиться к каналам спутника Landsat 9. Один из сенсоров — Thermal InfraRed Sensor (TIRS) — работает в длинноволновом инфракрасном диапазоне, регистрирует поток теплового

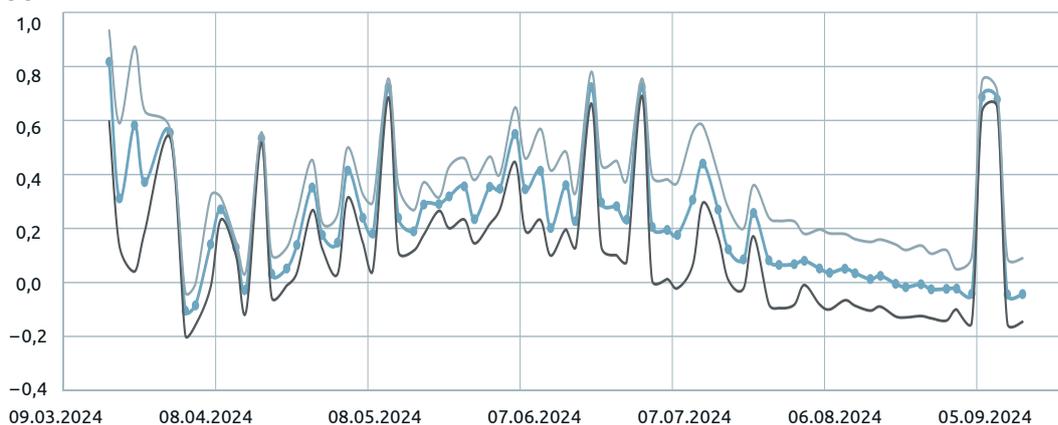
излучения и способен измерять колебания температуры земной поверхности (не атмосферы)⁸ [18]. Каналы Landsat 8 и 9 получают изображения с умеренным разрешением: от 15 до 100 м на пиксель. В данном случае сосредоточимся на обобщенной оценке для уточнения размаха температурных колебаний в зависимости от сезона.

Основные пороговые ограничения, которые были приняты для корректности выводов, — порог облачности на уровне не более 50% и перекрытие тайлов (снимков) не менее 70% для выбранной площади. На **рис. 5** показан график NDMI за полгода между сессиями магнитотеллурического мониторинга. Видно, что в мае была более влажная погода по сравнению с концом августа — началом сентября. На **рис. 6** показан разностный индекс NDMI на исследуемой площади. Из этого следует, что разные участки площади отличаются друг от друга по индексу влажности.

Рис. 5 График изменения индекса влажности (NDMI) мини-полигона Кентор за 6 месяцев по спутнику Sentinel-2 (показатель облачности 50%)

Fig. 5 Graph of the change in the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) of the Kentor mini test polygon for 6 months according to the Sentinel-2 (cloudness 50%)

Для всей площади



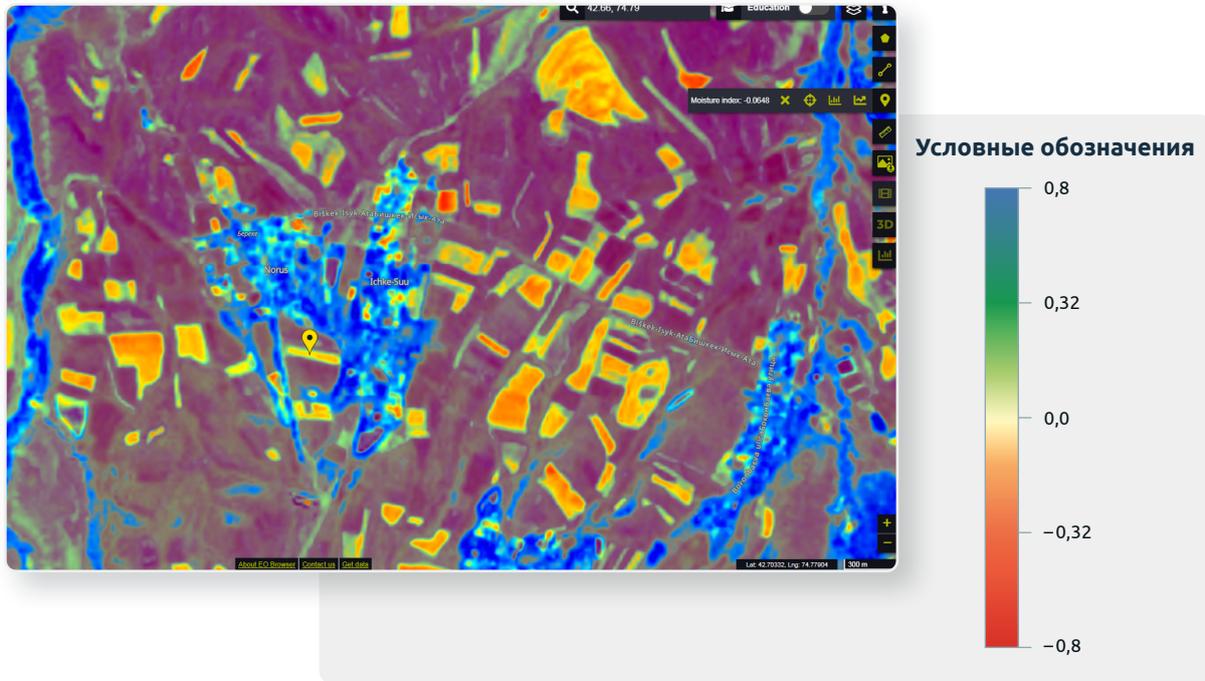
Для центра мини-полигона



⁸ EOS Landsat-8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8> (дата обращения: 05.06.2025).

Рис. 6 Разностный индекс NDMI между маем и сентябрем для села Норус (Иссык-Атинский район, Чуйская область, Кыргызстан)

Fig. 6 NDMI difference between May and September for the village of Norus (Issyk-Ata district, Chu region, Kyrgyzstan)



Теперь рассмотрим значения температуры поверхности, поскольку известно, что удельное сопротивление проводника зависит от температуры, согласно следующей формуле [19]:

$$1 \quad \rho = \rho_0 \times (1 + at),$$

где ρ_0 — удельное сопротивление при 0°C , Ом \times м;
 a — температурный коэффициент сопротивления, град $^{-1}$ (т. е. относительное изменение удельного сопротивления проводника при его нагревании на один градус);
 t — температура, $^\circ\text{C}$.

Поведение (март–октябрь 2024 года) вариаций температуры, по данным ДЗЗ TIRS, показано на **рис. 7**. Заметно, что одно из значений (четвертое измерение слева) ошибочно: показывает сильно отрицательное значение (менее -30°C). Скорее всего, это связано с искажениями в результате облачности (параметр облачности выборки задан достаточно высоким: 50%). В остальном тепловой показатель ведет себя объяснимым образом, повышаясь от весны к осени, что соответствует климатическим условиям региона [20].

Рис. 7 Температура земной поверхности в марте–октябре по данным Landsat 8-9 (показатель облачности 50%)⁹

Fig. 7 Earth's surface temperature in March–October according to Landsat 8-9 (cloudness 50%)⁹



4 Выводы

Наглядно показано, что условия проведения магнитотеллурического мониторинга различны в соответствующие сезоны весны и осени, судя по данным ДЗЗ о состоянии почвенного слоя рассматриваемого мини-полигона Кентор. Сезонные вариации подстилающей поверхности в аридных условиях и их влияние на параметры электричества могут давать искажения в измерениях. Общая тенденция свидетельствует в пользу того, что со сменой сезона от весны к осени повышается температура земной поверхности и снижается ее влажность. Для продолжения работы следует проанализировать стандартизованный индекс осадков (англ. Standardized Precipitation Index, SPI) в целях сравнения результатов измерений электрического сопротивления от года к году в зависимости от метеоусловий. Недостатком данного метода является дискретность полученных данных: пролет спутника над заданной площадью осуществляется раз в 5 дней, а ограничение на параметр облачности уменьшает выборку показаний.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит проект DEvision¹⁰ за ознакомление с сервисами ДЗЗ и сотрудников кафедры геодезии и геоинформатики Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова за образовательный доступ к ArcGIS. Работа подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке (№ 1021052806445-4-1.5.1).

⁹ EOS Landsat-8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8> (дата обращения: 05.06.2025).

¹⁰ DEvision. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.devision.cloud> (дата обращения: 05.06.2025).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Смагин А.В. Термодинамическая концепция физического качества почв // Почвоведение. 2021. Т. 55. № 9. С. 1033–1050. DOI:10.31857/S0032180X21090094.
2. Ivanova I. Soil moisture forecasting from sensors-based soil moisture, weather and irrigation observations: A systematic review // Smart Agricultural Technology. 2025. Vol. 10. 100692. DOI:10.1016/j.atech.2024.100692.
3. Lin W., Yang B., Han B., et al. A review of subsurface electrical conductivity anomalies in magnetotelluric imaging // Sensors. 2023. Vol. 23. 1803. DOI:10.3390/s23041803.
4. Afa J.T., Anaele C.M. Seasonal Variation of Soil Resistivity and Soil Temperature in Bayelsa State // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2010. Vol. 3. No. 4. P. 704–709. DOI:10.3844/ajeassp.2010.704.709.
5. Асанов А.К., Джолдошбеков Б.Ж., Джусупбекова Н.К. и др. Исследование влияния сопротивления грунта на сопротивление заземляющих устройств (на примере Нарынской области) // Проблемы автоматизации и управления. 2022. Т. 2. № 44. С. 70–76.
6. Дещеревский А.В., Модин И.Н., Сидорин А.Я. Сезонные вариации удельного электрического сопротивления в верхних слоях земной коры // Вопросы инженерной сейсмологии. 2018. Т. 45. № 3. С. 68–83. DOI:10.21455/VIS2018.3-6.
7. Непейна К.С., Юнусов А.И., Валуйский А.Ю. Количественные оценки корреляции суточных вариаций кажущегося сопротивления верхней части разреза по данным комплекса «Скала-48» // Проблемы геодинамики и геозкологии внутриконтинентальных орогенов: тезисы докладов IX Международного симпозиума, Бишкек, 24–29 июня 2024 г. Бишкек: Научная станция РАН в г. Бишкеке, 2024. С. 299.
8. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженно-деформированного состояния среды // Геофизические исследования. 2014. Т. 15. № 4. С. 54–63.
9. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Баталев В.Ю. и др. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2011. Т. 11. № 4. С. 29–40.
10. Кириченко А.В., Кондрашкин Б.Е., Егоров Ю.В. и др. Изучение почвенно-грунтовой толщи с помощью новой технологии электроразведки // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2010. № 4. С. 36–40.
11. Мучкинова Л.И. Метод оценки электрического потенциала влажных почвогрунтов // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2014. № 6. С. 235–247.
12. Abdulraheem M.I., Zhang W., Li S., et al. Advancement of Remote Sensing for soil measurements and applications: a comprehensive review // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 21. 15444. DOI:10.3390/su152115444.

13. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Детализация геоэлектрической структуры зоны сочленения Чуйской впадины и Киргизского хребта (Миниполигон Кентор) // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2018. Т. 18. № 12. С. 134–140.
14. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А. и др. Особенности применения методов магнитотеллурического и магнитовариационного зондирования в горах Тянь-Шаня // Наука и технологические разработки. 2023. Т. 102. № 2-3. С. 4–39.
[DOI:10.21455/std2023.2-3-1](https://doi.org/10.21455/std2023.2-3-1).
15. Matiukov VE, Bataleva EA. Analysis of synchronous magnetotelluric and magnetovariational regime observations for the Kentor mini test polygon // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 929. 012023.
[DOI:10.1088/1755-1315/929/1/012023](https://doi.org/10.1088/1755-1315/929/1/012023).
16. Матюков В.Е., Баталева Е.А. Анализ синхронных магнитотеллурических и магнитовариационных данных для миниполигона «Кентор» // Проблемы геодинамики и геозкологии внутриконтинентальных орогенов: тезисы докладов VIII Международного симпозиума, Бишкек, 28 июня–2 июля 2021 г. Бишкек: Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2021. С. 231–233.
17. Fisher J.B., Lee B., Purdy A.J., et al. ECOSTRESS: NASA's Next Generation Mission to measure evapotranspiration from the International Space Station // Water Resources Research. 2020. Vol. 56. No. 4. e2019WR026058.
[DOI:10.1029/2019WR026058](https://doi.org/10.1029/2019WR026058).
18. Жантаев Ж.Ш., Ахмеджанов А.Х., Каипов И.В. Определение температурных полей земной поверхности по данным спутникового зондирования // Гидрометеорология и экология. 2010. № 2(57). С. 17–23.
19. Samouëlian A., Cousin I., Tabbagh A., et al. Electrical resistivity survey in soil science: a review // Soil and Tillage Research. 2005. Vol. 83. No. 2. P. 173–193. [DOI:10.1016/j.still.2004.10.004](https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004).
20. Li Y., Song Y., Orozbaev R., et al. Moisture evolution in Central Asia since 26 ka: Insights from a Kyrgyz loess section, Western Tian Shan // Quaternary Science Reviews. 2020. Vol. 249. 106604. [DOI:10.1016/j.quascirev.2020.106604](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106604).

АВТОРЫ

Непеина Ксения Сергеевна

ФГБУН «Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке» (НС РАН),
Бишкек, Кыргызстан
лаборатория глубинных магнитотеллурических исследований
канд. геол.-минерал. наук

 0000-0003-0725-8023

Поступила 11.06.2025. Принята к публикации 23.06.2025. Опубликовано 27.06.2025.

UDC 528.8

DOI:10.30533/scidata-2025-16-03



Interseasonal Variations in Soil Temperature and Moisture in 2024 at the Kentor Minipolygon Test Site (Northern Tien Shan) Based on Remote Sensing Data

Kseniia S. Nepeina¹✉

AFFILIATIONS

¹ Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek, Bishkek, Kyrgyzstan
✉ nepeina.k@mail.ru

CITATION

Nepeina KS. Interseasonal Variations in Soil Temperature and Moisture in 2024 at the Kentor Minipolygon Test Site (Northern Tien Shan) Based on Remote Sensing Data. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(1): 77–92. DOI:10.30533/scidata-2025-16-03.

KEYWORDS

temperature, soils, seasonal variations, electrical resistivity, moisture, TIRS, Sentinel, Landsat

ABSTRACT

The paper examines the capabilities of Remote Sensing of Environment (RSE) to reconstruct soil meteorological conditions during magnetotelluric monitoring of the Kentor minipolygon test site (Issyk -Ata district, Chu region, Kyrgyzstan), where regular measurements have been carried out since 2014, and its relationship with intersessional variations in moisture and temperature. Using spectral analysis of RSE data, the characteristics of the surface layer were determined at one of the central points of magnetotelluric sounding. On the example of a calendar interval (March–October 2024), differences in meteorological conditions in spring and autumn were revealed: humid weather was observed in May, while by September the surface temperature

increased and soil moisture decreased. The graphs of changes in the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) were constructed based on Sentinel-2 satellite data and temperature fluctuations based on Landsat-9 Thermal InfraRed Sensor (TIRS) satellite data for a six-month period under 50% cloudiness. This comparison confirms seasonal variations affecting the reliability of the interpretation of electromagnetic parameters. It was shown that the RSE application is a promising tool for restoring meteorological conditions and taking into account seasonal factors when calculating the electrical resistivity of soils, which increases the accuracy of geophysical monitoring and design of grounding devices.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks the DEvision project¹¹ for introducing remote sensing services and the staff of the Department of Geodesy and Geoinformatics of KSTU named after I. Razzakov for educational access to ArcGIS. The work is prepared on the topic state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the Russian Academy of Sciences number of the 1021052806445-4-1.5.1.

REFERENCES

1. Smagin AV. Termodinamicheskaja koncepcija fizicheskogo kachestva pochv [Thermodynamic concept of the physical quality of soils]. *Soil organic matter*. 2021;55(9): 1033–1050. (In Russian). DOI:10.31857/S0032180X21090094.
2. Ivanova I. Soil moisture forecasting from sensors-based soil moisture, weather and irrigation observations: A systematic review. *Smart Agricultural Technology*. 2025;10: 100692. DOI:10.1016/j.atech.2024.100692.
3. Lin W, Yang B, Han B, et al. A review of subsurface electrical conductivity anomalies in magnetotelluric imaging. *Sensors*. 2023;23: 1803. DOI:10.3390/s23041803.
4. Afa JT, Anaele CM. Seasonal variation of soil resistivity and soil temperature in Bayelsa State. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2010;3(4): 704–709. DOI:10.3844/ajeassp.2010.704.709.
5. Asanov AK, Joldoshbekov BJ, Dzhusupbekova NKI, et al. Issledovanie vlijanija soprotivlenija grunta na soprotivlenie zazemljajushhijh ustrojstv (na primere Narynskoj oblasti) [Study of the influence of ground resistivity on the resistance of grounding devices (by the example of the Naryn region)]. *Problemy avtomatiki i upravlenija*. 2022;2(44): 70–76. (In Russian).
6. Deshcherevskii AV, Modin IN, Sidorin AY. Sezonnnye variacii udel'nogo jelektricheskogo soprotivlenija v verhnij slozh zemnoj kory [Seasonal variations of specific electric resistivity in upper layers of the Earth crust]. *Problems of engineering seismology*. 2018;45(3): 68–83. (In Russian). DOI:10.21455/VIS2018.3-6.
7. Nepeina KS, Yunusov AI, Valuyskiy A.Yu. Kolichestvennyye otsenki korrelyatsii sutochnykh variatsiy kazhushchegosya soprotivleniya verkhney chasti razreza

¹¹ DEvision. Available from: <https://www.devision.cloud> (Accessed 5 June 2025).

- po dannym kompleksa "Skala-48" [Quantitative assessments of the correlation of daily variations in the apparent resistivity of the near-surface layer based on Skala-48 data]. *Abstracts of the IX International Symposium "Problems of geodynamics and geoecology of intracontinental orogens", Bishkek, June 24–29, 2024*. Bishkek: Research Station of the RAS in Bishkek; 2024: 299. (In Russian).
8. Bataleva EA, Rybin AK, Batalev VY. Variacii kazhushhegosja soprotivlenija gornyh porod kak indikator naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija sredy [Variations of rocks apparent resistivity as an indicator of stress-deformed state of the medium]. *Geophysical research*. 2014;15(4): 54–63. (In Russian).
 9. Rybin AK, Bataleva EA, Batalev VYu, et al. Variatsii elektrosoprotivleniya zemnoj kory po rezul'tatam magnitotelluricheskogo monitoringa seysmoaktivnykh zon Tyan-Shanya [Variations in the electrical resistivity of the Earth's crust based on the results of magnetotelluric monitoring of seismically active zones of the Tien Shan]. *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2011;11(4): 29–40. (In Russian).
 10. Kirichenko AV, Kondrachkin BE, Egorov YV, et al. Izuchenie pochvenno-gruntovoj tolshhi s pomoshh'ju novoj tehnologii jelektrozvedki [Studying of soil-ground thickness by means of new technology of electroinvestigation]. *Lomonosov Soil Science Journal*. 2010;4: 36–40. (In Russian).
 11. Muchkinova LI. Metod ocenki jelektricheskogo potenciala vlazhnyh pochvogruntoov [Method for assessing the electrical potential of wet soils]. *Bulletin of the Educational and Methodological Association for Education in the Field of Nature Management and Water Use*. 2014;6: 235–247. (In Russian).
 12. Abdulraheem MI, Zhang W, Li S, et al. Advancement of Remote Sensing for soil measurements and applications: a comprehensive review. *Sustainability*. 2023;15(21): 15444. DOI:10.3390/su152115444.
 13. Rybin AK, Bataleva EA, Matyukov VE. Detalizacija geoelektricheskoy struktury zony sochlenenija Chujskoj vpadiny i Kirgizskogo hrebta (Minipoligon Kentor) [Detailing the geoelectric structure of the junction zone of the Chu Basin and the Kyrgyz Ridge (Minipolygon Kentor)]. *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2018;18(12): 134–140. (In Russian).
 14. Rybin AK, Batalev VYu, Bataleva EA, et al. Osobennosti primenenija metodov magnitotelluricheskogo i magnitovariacionnogo zondirovanija v gorah Tjan'-Shanja [Application features of magnetotelluric and magnetic-variation sounding methods in the Tien Shan mountains]. *Science and technological developments*. 2023;102(2–3): 4–39. (In Russian). DOI:10.21455/std2023.2-3-1.
 15. Matiukov VE, Bataleva EA. Analysis of synchronous magnetotelluric and magnetovariational regime observations for the Kentor mini test polygon. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;929: 012023. DOI:10.1088/1755-1315/929/1/012023.
 16. Matyukov VE, Bataleva EA. Analiz sinkhronnykh magnitotelluricheskikh i magnitovariatsionnykh dannyx dlya minipoligona "Kentor" [Analysis of synchronous and magnetovariational data for the Kentor mini polygon].

- magnetotelluric and magnetovariational data for the Kentor minipolygon test site]. *Abstracts of the VIII International Symposium "Problems of geodynamics and geocology of intracontinental orogens", Bishkek, June 28 – July 2, 2021*. Bishkek: Research Station of the RAS in Bishkek, 2021: 231–233. (In Russian).
17. Fisher JB, Lee B, Purdy AJ, et al. ECOSTRESS: NASA's Next Generation Mission to measure evapotranspiration from the International Space Station. *Water Resources Research*. 2020;56: e2019WR026058. DOI:10.1029/2019WR026058.
 18. Zhantayev ZhSh, Akhmedzhanov AKh, Kaipov IV. Opredelenie temperaturnyh polej zemnoj poverhnosti po dannym sputnikovogo zondirovaniya [Determination of temperature fields of the Earth's surface based on satellite sensing data]. *Hydrometeorology and Ecology*. 2010;2(57): 17–23. (In Russian).
 19. Samouëlian A, Cousin I, Tabbagh A, et al. Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil and Tillage Research*. 2005;83(2): 173–193. DOI:10.1016/j.still.2004.10.004.
 20. Li Y, Song Y, Orozbaev R, et al. Moisture evolution in Central Asia since 26 ka: Insights from a Kyrgyz loess section, Western Tian Shan. *Quaternary Science Reviews*. 2020;249: 106604. DOI:10.1016/j.quascirev.2020.106604.

AUTHORS

Kseniia S. Nepeina

Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek, Bishkek, Kyrgyzstan
Laboratory of Deep Magnetotelluric Investigations
PhD in Geology and Mineralogy

 0000-0003-0725-8023

Submitted: June 11, 2025. Accepted: June 23, 2025. Published: June 27, 2025.