

УДК 550.377

## ВАРИАЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ, ЯКУТСК

© 2022 г. В. И. Козлов<sup>1</sup>, \*, Д. Г. Баишев<sup>1</sup>, \*\*, Е. А. Павлов<sup>1</sup>, \*\*\*

<sup>1</sup>Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю. Г. Шафера СО РАН,  
Якутский научный центр СО РАН, г. Якутск, Россия

\*E-mail: vkozlov@ikfia.ysn.ru

\*\*E-mail: baishhev@ikfia.ysn.ru

\*\*\*E-mail: pochta\_baki@mail.ru

Поступила в редакцию 02.06.2021 г.

После доработки 23.12.2021 г.

Принята к публикации 23.12.2021 г.

Рассмотрены суточные, сезонные и межгодовые вариации естественных потенциалов на двух площадках в криолитозоне на полигоне ИКФИА СО РАН около г. Якутска с осени 2017 г. по весну 2021 г. Одна площадка включает заболоченный участок (марь), а вторая расположена на “сухом” участке. Вариации естественных электрических потенциалов в течении годового сезона на участке с марью составили значительную величину ~120 мВ/100 м. Максимальная вариация наблюдается весной, во время схода снежного покрова из-за резкого увлажнения верхнего слоя грунта. На “сухом” участке вариация составляет менее 40 мВ/100 м. Переход от летних значений к зимним для естественных потенциалов происходит в ноябре. Обратный переход от зимних условий к летним происходит с третьей декады апреля, в течении мая. Эти весенне-осенние переходы обусловлены промерзанием верхнего слоя грунта, оттаивающего в летних условиях и соответствующих изменений электрических свойств грунта. Наблюдается зависимость величины естественных потенциалов от величины осадков, увеличивающих влажность почвы и ее проводимость.

*Ключевые слова:* электрические потенциалы, теллурические токи, криолитозона, промерзание грунта, сезонная вариация.

DOI: 10.31857/S0002333722030036

### ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом техногенной нагрузки на среде обитания значительное внимание уделяется изучению геофизических полей различной природы, их преобразованиям и взаимодействию [Уткин и др., 2010]. Приграничная область контакта земной коры и атмосферы характеризуется взаимодействием электрических и магнитных полей, теллурических, ионосферных и магнитосферных токов, а также режимом подземных вод. [Адушкин, Спивак, 2012]

Еще в работах шестидесятых годов (например, в работе [Mather, 1962]) на основе регистрации теллурических токов в течение нескольких месяцев на геомагнитно сопряженных точках, на Алеутских островах и в Новой Зеландии было показано, что основные вариации происходят почти одновременно и имеют сходную продолжительность, хотя похожая амплитуда вариаций наблюдается не во всех пунктах, из-за различной электропроводности на участках наблюдения. В работе [Qin-Zhong et al., 2017] показано, что при изучении геоэлек-

трического поля наблюдается связь между естественными электрическими потенциалами и строением подложки. Величина дополнительного геоэлектрического поля варьируется от одного пункта наблюдения к другому и зависит от однородности структуры подстилающей среды.

Электропроводность грунтов определяется их водонасыщенностью, уровнем подземных вод безнапорного водосодержащего горизонта. Сезонные изменения уровня этого водоносного горизонта хорошо выражены [Рябова, 2015]. В работе [Lange, 1996] по результатам бурения до глубины от 9 до 28 м показано, что положительные аномалии естественного потенциала связаны с системой подземных вод зонами проницаемости.

В работе [Дешеревский, Сидорин, 1999] по данным, полученным на Гармском горном полигоне, показано, что наиболее значимой периодичностью является годовая. Сезонная вариация хорошо прослеживается в многолетних наблюдениях на Камчатке [Юшко, 2007]. Отмечается, что в периоды установления отрицательных темпера-

тур воздуха отмечается спокойное поведение разностей электротеллурических потенциалов на измерительных линиях, а в периоды установления положительных температур воздуха проявляются амплитудные вариации.

Кроме сезонных изменений прослеживаются суточные вариации. В Гарчи, Франция, 04.1995–04.1996 гг. в отсутствии возмущений магнитного поля наблюдались суточные колебания электрических потенциалов 0.1–1.5 мВ/50 м в зависимости от меняющихся во времени почвенных условий, температуры почвы [Pegtier, 2000].

В Якутии наличие мерзлоты создает свои особенности в вариациях естественных потенциалов. Мощность вечномерзлого грунта составляет от нескольких сот метров до нескольких километров, оттаивающий верхний слой 1–3 м. В работе [Сао, 2021] показано, что колебания содержания влаги в верхнем слое почвы являются значительными в сезонно мерзлых землях под влиянием барьера слоя вечной мерзлоты, и при выпадении дождя уровень надмерзлотных вод в зоне вечной мерзлоты значительно повышается. При отсутствии стока образуются заболоченные участки, мари. Степень заболоченности лесостепной зоны 5%. В настоящее время продолжается деградация вечной мерзлоты, в результате чего площадь заболоченных почв увеличится [Shpedt, 2019].

Территория Центральной Якутии характеризуется резко континентальным климатом со среднегодовой температурой воздуха  $-9.5^{\circ}\text{C}$ . На террасах рек Лена и Вилюй в области сплошного развития многолетнемерзлых пород мощностью до 250–400 м в верхних слоях геологического разреза распространены над- и межмерзлотные водоносные талики, которые, как и заболоченные участки, создают неоднородности в подстилающей среде [Шепелев, 2002]. Талики создаются за счет того, что зимой часть воды внедряется в толщу осушенных за лето песков [Павлова, 2016]. В многолетних исследованиях используются такие параметры оценки электрических свойств грунтов криолитозоны, как эффективное электромагнитное сопротивление [Ефремов, 2017], радиоимпедансное зондирование мерзлых грунтов [Нерадовский, 2013].

Наблюдается межгодовая вариация напряженности геоэлектрического поля. По данным работы [Lucas, 2020] 100-летняя вариация напряженности геоэлектрического поля в США составляет более чем 3 порядка величины от минимума 0.02 В/км на юге до максимума 27.2 В/км на севере (в исследованиях вариаций геоэлектрических потенциалов в условиях вечной мерзлоты), где почти 30% обследованной территории превышает 1 В/км. Это говорит о важности использования реалистичных экспериментальных данных при оценке геоэлектрических опасностей и актуальности

данных исследований, особенно в связи с наблюдающимся в Якутии потеплением климата (на 4 градуса) в последние годы.

Цель данной работы – рассмотрение суточных, сезонных и межгодовых вариаций в последние годы естественных потенциалов на двух площадках в криолитозоне, одна из которых включает заболоченный участок с повышенной влажностью (марь), а вторая расположена на “сухом” участке.

## АППАРАТУРА

В типичной схеме электротеллурические измерения [Кролевец, 2003] проводят, регистрируя разности потенциалов между 2 парами измерительных линий, ориентированных в направлениях С–Ю и В–З, соединяющих неполяризующиеся электроды. Далее вычисляется напряженность и направление электротеллурического поля  $E$ . Полигон ИКФИА СО РАН, на котором проводились исследования, расположен в 20 км юго-западнее г. Якутска в бассейне р. Шестаковки около озера Кюрюдогелях. Подстилающая среда бассейна р. Шестаковки до глубин 40 м представлена песками с включениями супеси и суглинки [Балобаев, 2003]. Почвы в регионе вокруг Якутска палеовые мерзло-таежные в сочетании с болотными и солодами. Мощность сезонно-талого слоя 0.5–2 м. Неоднородностями в подстилающей среде являются заболоченные участки и талики, которые занимают около 20–25% площади, что характерно для Якутии [Лебедева, 2018].

Институт мерзлотоведения СО РАН исследовал надмерзлотный водоносный талик, шириной 180–200 м и протяженностью более 500 м в 2 км от полигона, на котором проведены наши измерения. Талик начинается с небольшого заболоченного участка – мари. На глубинах до 1.7 и 7.2–10 м пески находятся в мерзлом состоянии, а на глубине 1.7–7.2 м находится водонасыщенный слой. Удельное сопротивление для талых мерзлых песков 1000–2500 Ом·м, а для водонасыщенных песков 100 Ом·м и ниже. Для мерзлых песков более 2000 Ом·м. В весеннее время породы талика менее влажные, а к осени находятся в более водонасыщенном состоянии [Лебедева, 2019]. На глубине 1.5 м самая низкая температура грунта наблюдается в декабре от  $-6 \pm 1^{\circ}\text{C}$  при относительно большой влажности 21.5% и  $-8 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$  при низкой влажности 8.7%. Промерзание на этой глубине происходит в ноябре, температура грунта меняется от 0 до  $-6^{\circ}\text{C}$ . Оттайка верхнего слоя грунта происходит в мае. Температура грунта меняется от  $-1.5$  до  $+1^{\circ}\text{C}$ . Летом температура грунта на этих глубинах прогревается до  $+4^{\circ}\text{C}$  [Стручков, 2004]. Под городом Якутском вечная мерзлота имеет мощность 200–250 м, а ее температура от  $-2$  до  $-8^{\circ}\text{C}$ . Глубина протаивания для окрестностей

г. Якутска: для песчаных грунтов 2.2–3 м, для суглинков 1.4–1.8 м, на территориях, покрытых лесом в окрестностях города 1 м [Некрасов, 1984]. На полигоне, где проводились измерения, грунт оттаивает также на глубину, равную 1 м. В октябре, начале зимнего сезона, высота снежного покрова увеличивается с постоянной скоростью. Таяние снежного покрова начинается с апреля.

Основные изменения в сторону повышения удельного сопротивления грунта при разnose электродов на 1.5 м по нашим измерениям происходят в октябре–ноябре при изменении температуры воздуха от  $-5$  до  $-25^{\circ}\text{C}$ , а при разnose электродов на 3 м при температурах ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Зимой удельное сопротивление остается почти постоянным. Температура в  $-20^{\circ}\text{C}$  в районе Якутска устанавливается около 25 октября–3 ноября. Нужно отметить, что кроме промерзания грунта с поверхности, иногда происходит его промерзание и с глубины за счет вечномерзлого слоя [Некрасов, 1984]. Весной при температуре воздуха  $+7^{\circ}\text{C}$  понижение удельного сопротивления грунта начинается в мае. Сезонные изменения удельного сопротивления грунта в слое 0.5 м (при разnose электродов на 1 м) изменялись от 130 до 470 Ом · м (увеличение в 3.6 раза). В слое грунта до 1.5 м (при разnose электродов на 3 м) удельное сопротивление грунта изменялось от 40 до 200 Ом · м (увеличение почти в 5 раз), что соответствует данным в статье [Башкуев, 1996].

Расположение трех пар “измерительных линий” длиной по 100 м в наших измерениях, ориентированно по компасу и приведено на рис. 1. Две пары линий захватывают неоднородность – заболоченный участок. Линии второй пары сдвинуты на 1 м относительно первой пары к северу и западу. Третья пара “измерительных линий” расположена полностью на сухом участке. Ее меридиональная линия (С–Ю) является продолжением второй линии С–Ю, а 100 м плечо В–З расположено к западу от северного конца второй линии С–Ю.

Измерения вариаций магнитного поля и естественных электрических потенциалов на 1-ой линии производятся с помощью 24-битной геофизической электромагнитной измерительной системы METRONIX ADU-07e. Датчики электрического и магнитного полей подключаются непосредственно к ADU-07 (Analog/Digital Signal Conditioning Unit), который является основным блоком системы. Сам прибор (METRONIX ADU-07e.) находится в помещении. Туда же заведены концы проводов от неполяризуемых электродов. Измерительные линии, указанные на рисунке, расположены по направлениям магнитных С–Ю и В–З. Линия восток–запад (обозначенная черным цветом) расположенная на западном краю мари.



**Рис. 1.** Расположение трех пар “измерительных линий” длиной по 100 м. Первые две пары линий практически совпадают и захватывают заболоченный участок – марь.

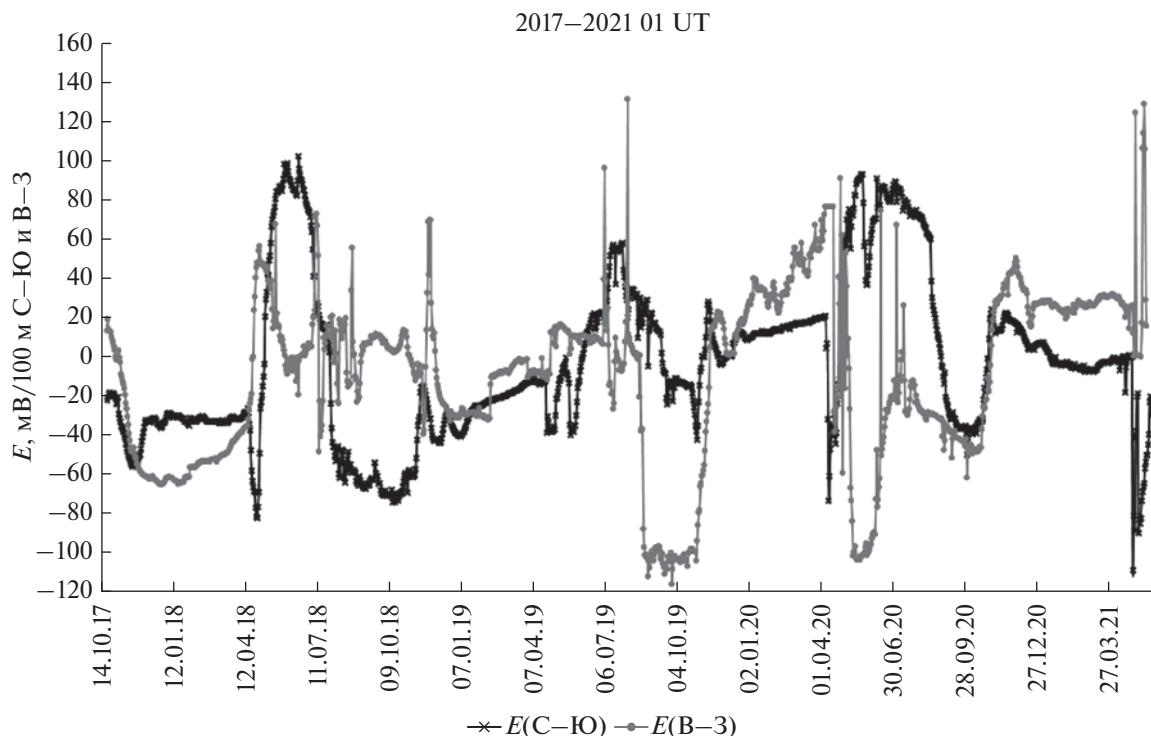
Заболоченная часть мари видна как безлесный участок и редколесье.

На остальных линиях измерения проводились с помощью специального логгера. Используются неполяризуемые электроды 4.2-Е-SMS-М. Для контроля измерений использовался мультиметр АММ-1009, имеющий при измерении напряжений внутреннее сопротивление более 3 Мом и позволяющий производить измерения с точностью до 0.1 мВ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Наши наблюдения с 2017 по 2021 гг. показали, что вариации на первой и второй парах линий, захватывающих участок с марью, приблизительно совпадают. В отсутствии магнитных возмущений вариации естественных потенциалов имеют характерный суточный ход, описываемый одним периодом волны с амплитудой 5 мВ в измерительной линии на неоднородности “марь”, максимум которой сдвигается по времени от лета (6 UT) к зиме (23 UT).

Для описания сезонной вариации рассмотрим вариации на второй паре линий. Их вариации приведены на рис. 2. Весной на этой линии, расположенной С–Ю с 04–17 апреля по 11–27 апреля наблюдается резкое изменение потенциалов в отрицательную сторону на 55–90 мВ, далее изменение в сторону положительных потенциалов до 20 мая на 170 мВ. До середины июля наблюдается плато и затем резкое изменение в сторону отрицательных потенциалов на 50 мВ. Далее до конца октября наблюдается осеннее плато. В середине ноября происходит резкий подъем до зимних значений. Зимой наблюдается плато с небольшим



**Рис. 2.** Вариации на второй паре линий, захватывающих участок с марью.

наклоном. На линии, расположенной В–3, наблюдается похожая вариация.

Вариация потенциалов для сухого участка представлена на рис. 3. Потенциалы и их вариации на линиях, расположенных на сухом участке (третья пара линий), коррелируют с вариациями на участке, содержащем марь, но по величине меньше примерно в 10 раз.

Сравним сезонные вариации на заболоченном участке (марь) и полностью сухом. Для этого рассмотрим вариации естественных потенциалов на первой паре линий между датчиками В и Ю, направленной с ЮЗ на СВ. Датчик В расположен почти в центре мари, а датчик Ю на ее краю. Расстояние между датчиками 70 м. Вторая пара датчиков (третья пара линий) расположена на полностью сухом участке и образуют линию параллельную линии на море длиной 140 м, удаленную от первой на 140 м.

Сравнение сезонных вариаций на заболоченном участке (марь) и полностью сухом показано на рис. 4. Сезонный размах потенциалов на линии на море составляет 350 мВ. Само изменение начинается с 01 апреля с величины стабильных зимних значений 40 мВ/70 м. Далее идет резкий скачок до 11 апреля до 150 мВ/70 м, связанный с таянием снега. Далее еще более резкий скачок в обратную сторону до –200 мВ/70 м до 22 мая.

Далее наблюдается экспоненциальное летнее изменение до –10 мВ/70 м до 01 ноября. В ноябре идет постепенная перестройка к стабильному зимнему уровню 22 мВ/70 м. На сухом участке наблюдается качественно похожая картина. Только размах составляет 63 мВ/140 м и стабильный зимний уровень составляет от –0.9 до 2 мВ/140 м.

По зимним наблюдениям наблюдается длительная вариация с периодом около 4-х лет в направлениях С–Ю и В–3 (рис. 2). Зимой 2016–2017 гг. наблюдался спад к зиме 2017–2018 гг. и далее подъем на протяжении 3-х лет до конца зимы 2019–2020 гг., и снова спад зимой 2020–2021 гг.

Наблюдаемую зависимость усредненной месячной величины естественных потенциалов от месячной суммы осадков (рис. 5) можно выразить линейной функцией  $E$  (мВ/100 м) = 1.2 V (мм/месяц) + 29. Приведены среднемесячные данные осадков и потенциалов с осени 2017 по весну 2021. Данные осадков взяты с сайта [http://www.pogodaiklimat.ru/history/24959\\_2.htm](http://www.pogodaiklimat.ru/history/24959_2.htm).

Во время дождливых дней наблюдаются резкие выбросы величин естественных потенциалов (рис. 2–рис. 4). Это связано с резким увеличением проводимости промокшего грунта. Максимальные осадки 34–73 мм/месяц 2016–2020 гг. наблюдались в июле–сентябре.

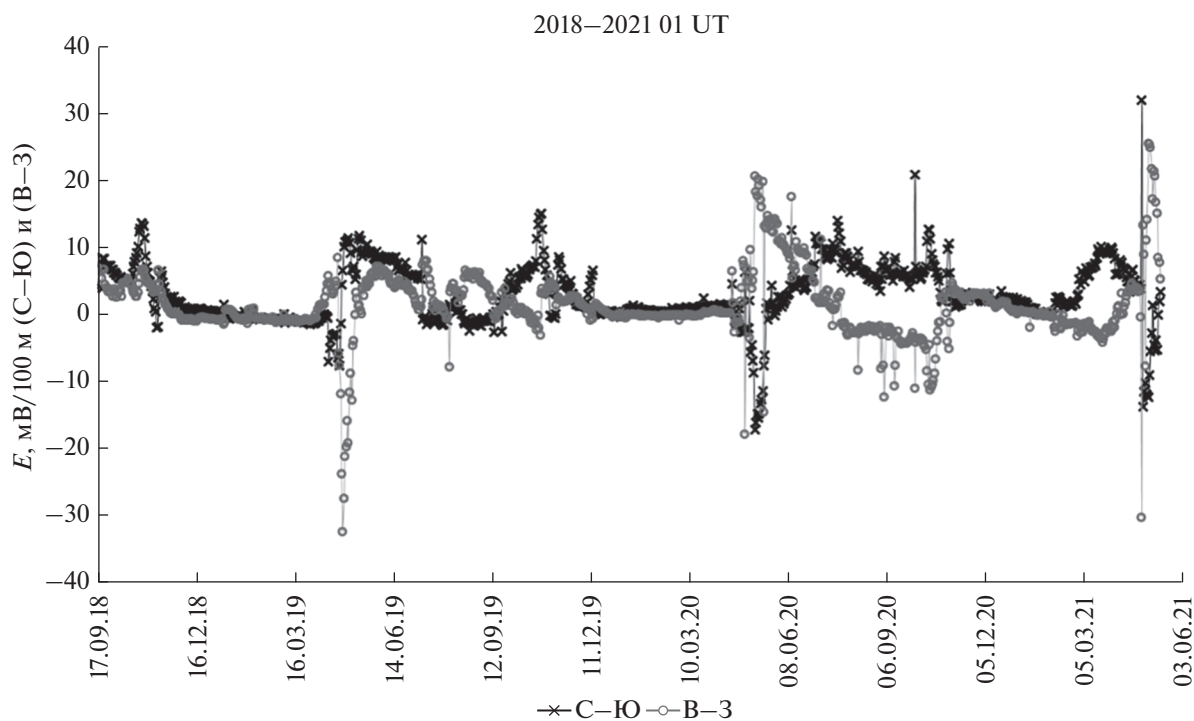


Рис. 3. Вариации на третьей паре линий, сухой участок.

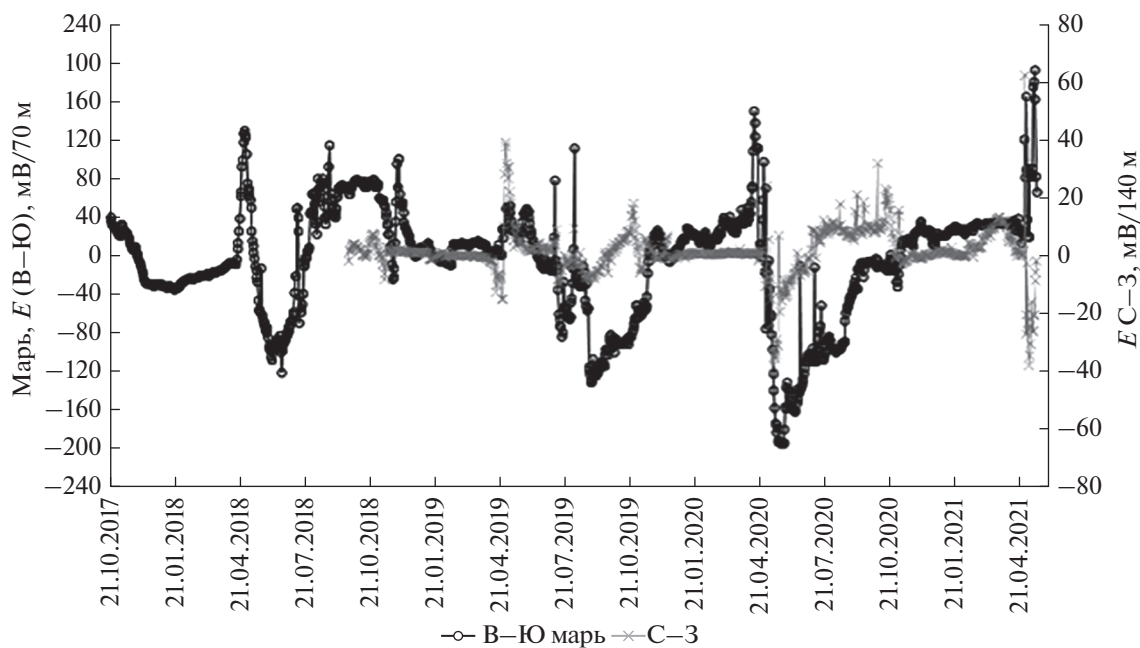


Рис. 4. Сезонные вариации на заболоченном участке (марь) и полностью сухом.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Наиболее значимой периодичностью является годовая, что соответствует результатам, полученным на Гармском горном полигоне [Дещеревский, Сидорин, 1999] и на Камчатке [Юшко,

2007]. Эта вариация на заболоченном участке имеет значительную величину ~120 мВ/100 м. На сухом участке амплитуда этой вариации в три раза меньше, что объясняется стоком подснежных вод в низины, в том числе на заболоченные участки,

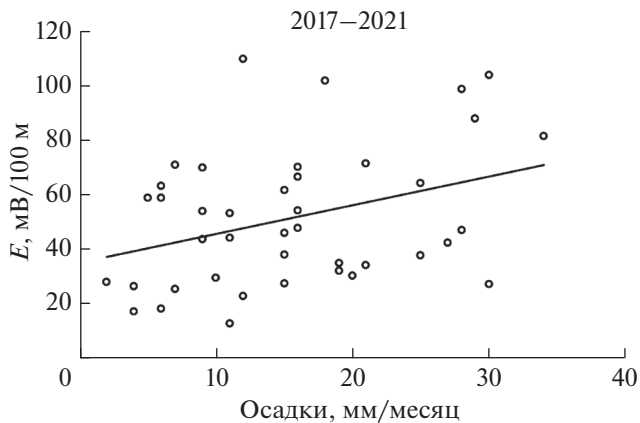


Рис. 5. Зависимость усредненной месячной величины естественных потенциалов от месячной суммы осадков.

где вода накапливается и после схода снежного покрова полностью покрывает грунт. В периоды установления положительных температур воздуха проявляются амплитудные вариации, что и отмечается в работе [Дещеревский, Сидорин, 1999]. В силу малого количества осадков в центральной Якутии, где проводились наблюдения, к середине лета эта вода испаряется из-за устойчивых высоких температур до 35 градусов Цельсия и проводимость верхнего слоя грунта уменьшается, несмотря на идущую оттайку мерзлоты в нем. Наблюдается зависимость величины естественных потенциалов от величины осадков, увеличивающих влажность почвы и ее проводимость, что отмечается в работе [Рябова, 2015].

Весенне-осенние достаточно резкие переходы, особенно в весеннее время, обусловлены полным промерзанием верхнего слоя грунта осенью, оттаивающего весной и соответствующих изменений электрических свойств грунта. Весеннее таяние снежного покрова приводит к резкому увлажнению самого верхнего слоя грунта, что приводит к резкому увеличению его проводимости. Как по-

казано в работе [Кролевец, 2003] основной особенностью годового хода градиентов ЭТП является сезонный минимум, совпадающий с периодом таяния снежного покрова (со второй половины апреля, когда среднесуточная температура воздуха переходит через ноль, до середины июня).

В зимнее время наблюдается устойчивое значение геоэлектрических потенциалов, что объясняется отсутствием вариаций в проводимости в периоды установления отрицательных температур воздуха и полного промерзания мерзлотного слоя, что отмечается и в долговременных наблюдениях на Камчатке [Юшко, 2007].

В отсутствии магнитных возмущений и дождя в день измерений и в предыдущий день вариации естественных потенциалов на участке с марью имеют характерный суточный ход, описываемый одним периодом волны с примерно противофазным характером. Атмосферика создают характерные всплески иногда до 120 мВ/100 м, учитывая секундное разрешение прибора. Далее приведено описание характерных периодов суточной вариации для сезона с декабря 2016 г. по сентябрь 2017 г. В декабре 2016 г. на линиях С–Ю и В–3 суточная вариация составляет около 2 мВ/100 м с максимумом около 21 UT (С–Ю) и около 24 UT (В–3). В июне 2016 г. на линии С–Ю суточная вариация составляет около 40 мВ/100 м с максимумом в 2–7 UT (С–Ю) и минимумом 15–19 UT. На линии В–3 суточная вариация составляет около 40 мВ/100 м с максимумом в 10–15 UT (С–Ю) и минимумом в 0–3 UT. В августе на линии С–Ю суточная вариация составляет около 25 мВ/100 м с максимумом в 3–10 UT (С–Ю) и минимумом в 0–19 UT. На линии В–3 суточная вариация составляет около 15 мВ/100 м с максимумом в 10–15 UT (С–Ю) и минимумом в 15–24 UT. В сентябре на линии С–Ю суточная вариация составляет около 15 мВ/100 м с максимумом в 12–21 UT (С–Ю) и минимумом в 3–6 UT. На линии В–3 суточная вариация составляет около 6 мВ/100 м с максимумом в 6–9 UT (С–Ю) и минимумом в 21–24 UT. Для линий на сухом участке суточная вариация мала и плохо выделяется из уровня флуктуаций. Выделяются только всплески во время дождя до 20 мВ/100 м.

Количественные данные по потенциалам в начале и конце сезона полной проморозки зимой верхнего оттаивающего летом слоя в 2017–2021 гг. представлены в табл. 1.

Количественные данные по потенциалам в характерных точках (когда потенциалы резко изменяются, см. рис. 2–рис. 4) летнего сезона оттайки верхнего слоя в 2017–2021 гг. для сухого участка и участка с марью представлены в табл. 2.

Таблица 1

Дата	С–Ю, мВ/100 м		В–3, мВ/100 м	
	марь	сухо	марь	сухо
07.12.2017	–32.5		–57	
16.04.2018	–27.2		–32	
23.11.2018	–30	2	–23	1
25.04.2019	–8	–1.1	–11	–0.9
06.12.2019	1	0.7	2	0.5
26.04.2020	20	1.8	72	0.3
01.11.2020	24	3	28	3
27.04.2021	1	4	25	3.6

Таблица 2

Дата	Марь		Сухо	
	С–Ю, мВ/100 м	В–З, мВ/100 м	С–Ю, мВ/100 м	В–З, мВ/100 м
26.04.2018	–81	54		
29.05.2018	87	–5		
05.08.2018	–46	18		
30.04.2019	–38	12	–7	–32
18.05.2019	–0.7	–2	11	4
13.07.2019	56	–102	0.6	5
19.09.2019	–8	–116	15	–0.3
11.04.2020	–73	90	–2.6	1.3
21.05.2020	91	–102	–18	20
08.09.2020	–28	–43	8	–3
26.04.2021	–109	124	–30	24
17.05.2021	–23	–50	–17	–36
17.07.2021	24	33	2	4
09.12.2021	–8	14	6	1.4

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход от летних значений к зимним для естественных потенциалов при измерениях, проведенных в центральной Якутии, как на участке с марью, так и на сухом участке, происходит в конце ноября. Обратный переход значений естественных электрических потенциалов от зимних условий к летним по нашим наблюдениям происходил с третьей декады апреля, в течение мая. Эти весенне-осенние переходы обусловлены промерзанием верхнего слоя грунта, оттаивающего в летних условиях и соответствующих изменений электрических свойств грунта. Наблюдается зависимость величины естественных потенциалов от величины осадков, увеличивающих влажность почвы и ее проводимость.

Вариации естественных электрических потенциалов в течение годового сезона с сентября 2016 г. по апрель 2021 г. на участке с марью составили значительную величину ~120 мВ/100 м. При отсутствии неоднородности (мари) максимальная вариация наблюдается весной во время схода снежного покрова из-за резкого увлажнения верхнего слоя грунта и составляет менее 40 мВ/100 м.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации № АААА-А21-122011700182-1).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Адушкин В.В., Спивак А.А. Приповерхностная геофизика: комплексные исследования литосферно-атмо-

сферных взаимодействий в окружающей среде // Физика Земли. 2012. № 3. С. 3–21.

Балобаев В.Т., Иванова Л.Д., Никитина Н.М., Шепелев В.В., Ломовцева Н.С., Скутин В.И., Анисимова Н.П. Подземные воды Центральной Якутии и перспективы их использования. Новосибирск: изд-во СО РАН, филиал “Гео”. 2003. 117 с.

Башкуев Ю.Б. Электрические свойства природных слоистых сред. Новосибирск: изд-во СО РАН. 1996. 207 с.

Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Скрытые периодичности и фликкер-шум в электротеллурическом поле // Физика Земли. 1999. № 4. С. 56–67.

Ефремов В.Н. Радиоимпедансное зондирование мерзлых грунтов / В.Н. Ефремов. Якутск: изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН. 2013. 204 с.

Ефремов В.Н. Возможности регистрации геофизических аномалий от талых водоносных зон и горизонтов в мерзлых толщах // Криосфера Земли. 2017. Т. 20. № 6. С. 129–133.

Кролевец А.Н., Копылова Г.Н. Приливные составляющие в электротеллурическом поле // Физика Земли. 2003. № 5. С. 77–84.

Лебедева Л.С., Ефремов В.С., Христофоров И.И., Бажин К.И., Огонеров В.В., Павлова Н.А. Талики и формирование речного стока на малом водосборе в сплошной криолитозоне Центральной Якутии. Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии. 2018. С. 62–66.

Лебедева Л.С., Бажин К.И., Христофоров И.И., Абрамов А.А., Павлова Н.А., Ефремов В.С., Макарьева О.М. Надмерзлотные субаэральные талики в бассейне реки Шестаковка (Центральная Якутия) // Криосфера Земли. 2019. Т. 23. № 1. С. 40–50.

Некрасов И.А. Вечная мерзлота Якутии. Якутск: Якутское книжное изд-во. 1984. 120 с.

- Нерадовский Л.Г.* Опыт изучения влияния температуры на удельное электрическое сопротивление мерзлых грунтов // Геофизика. 2013. № 1. С. 67–70.
- Павлова Н.А., Колесников А.Б., Ефремов В.С., Шепелев В.В.* Химический состав подземных вод межмерзлотных таликов в центральной Якутии // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 2. С. 216–216.
- Рябова С.А., Спивак А.А., Горбунова Э.М.* Вариации магнитного типпера на земной поверхности при изменении уровня подземных вод. Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле земли, интерпретация геофизических полей. 2015. С. 288–292.
- Стручков А.С., Федоров Ю.Ю.* Опыт-промышленное испытание и мониторинг подземного полиэтиленового газопровода // Наука и образование. 2004. № 1. С. 53–56.
- Уткин В.И., Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л., Сенина Т.Е.* Загрязнение окружающей среды в связи с воздействием электромагнитного поля на частотах 0.05–20 Гц // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2010. № 4. С. 328–335.
- Шепелев В.В., Бойцов А.В., Оберман Н.Г., Петченко М.Ф., Санникова А.В., Завадский Ф.Р. и др.* Мониторинг подземных вод криолитозоны. Ин-т мерзлотоведения СО РАН. 2002. 172 с.
- Юшко В.А.* Многомерный анализ временных рядов электротеллурических данных на пункте Верхняя Паратунка (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 9. С. 159–168.
- Cao W., Sheng Y., Wu J., Peng E.* Differential response to rainfall of soil moisture infiltration in permafrost and seasonally frozen ground in Kangqiong small basin on the Qinghai-Tibet Plateau // Hydrological Sciences J. 2021. V. 66. № 3. P. 525–543.
- Lange A.L., Barner W.L.* Application of the natural electric field for detecting karst conduits on Guam // International J. Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. 1996. V. 2. № 33. P. 77A.
- Lucas G.M., Love J.J., Kelbert A., Bedrosian P.A., Rigler E.J.* A 100-year Geoelectric Hazard Analysis for the US High-Voltage Power Grid // Space Weather. 2020. V. 18. № 2. P. e2019SW002329.
- Mather K.B., Wescott E.M.* Telluric currents at geomagnetically conjugate stations in the Aleutian Islands and New Zealand // J. Geophysical Research. 1962. V. 67. № 12. P. 4825–4831.
- Perrier F., Morat P.* Characterization of electrical daily variations induced by capillary flow in the non-saturated zone // Pure and Applied Geophysics. 2000. V. 157. № 5. P. 785–810.
- Qin-Zhong M.A., Jia-Dong Q.I.A.N., Wei L.I., Wen-Zhou Z.H.A.O., Guo-Qing F.A.N.G.* Characteristics of the spatial variation of geoelectric field signals recorded at the stations in Huagong area (south-east China) from 4 heavy current sources // Chinese J. Geophysics. 2017. V. 60. № 1. P. 12–30.
- Shpedt A.A., Ligaeva N.A., Emelyanov D.V.* Transformation of soil and land resources of the Middle Siberia in the conditions of climatic changes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 315. № 5. P. 052051.

## Variations Of Natural Electrical Potentials In The Cryolithozone, Yakutsk

V. I. Kozlov<sup>a, \*</sup>, D. G. Baishev<sup>a, \*\*</sup>, and E. A. Pavlov<sup>a, \*\*\*</sup>

<sup>a</sup>*Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakut Scientific Centre SB RAS, Yakutsk, Russia*

\**e-mail: vkozlov@ikfia.ysn.ru*

\*\**e-mail: baishev@ikfia.ysn.ru*

\*\*\**e-mail: pochta\_baki@mail.ru*

This paper considers daily, seasonal, and interannual variations of natural potentials at two sites in the cryolithozone at the testing polygon of the Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences near Yakutsk from autumn 2017 to spring 2021. One site includes a waterlogged area (marsh), and the other is located on a “dry” area. Variations of natural electric potentials during the annual season at the site with the marsh had a significant value of ~120 mV/100 m. The maximum variation is observed in spring, during the melting of the snow cover due to a sharp humidification of the top layer of soil. The variation on the “dry” area is less than 40 mV/100 m. The transition from summer to winter values for natural potentials occurs in November. The reverse transition from winter to summer conditions occurs from the last third of April through May. These spring-autumn transitions are caused by the freezing of the top layer of soil thawing under summer conditions and the corresponding changes in the electrical properties of the soil. There is a dependence of the value of natural potentials on the value of precipitation that increases soil humidity and its conductivity.

*Keywords:* electric potentials, telluric currents, cryolithozone, soil freezing, seasonal variation