

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ С РАСТИТЕЛЬНОМ ПОВЕРХНОМ НА УЧАСТКЕ ПЕСЧАНОЙ СТЕПИ (ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК «ДНЕПРОВСКО-ОРЕЛЬСКИЙ»)

В.А. Новикова

Днепропетровский Национальный университет имени Олеся Гончара. Email: viktirianovforever@mail.ru

В работе показано, что на участке песчаной степи в природном заповеднике «Днепроовско-Орельский» температура почвы изменяется от значения 17,2 °С до 31,0 °С. Выявлено, что локусы с более высокими температурами расположены на левой и правой оконечностях полигона. В центральной области расположен участок с более низкой температурой. Наблюдаемую тенденцию пространственной изменчивости температуры почвы мы связали с расположением растительного покрова и эдафическими характеристиками. С помощью метода геостатистики рассчитаны показатели пространственной зависимости и радиус влияния, которые продемонстрировали, что на изучаемом участке высокая степень пространственной зависимости. Установлено, что пространственная изменчивость температуры почвы на данном участке связана с растительным покровом и другими почвенными характеристиками. Древесные растения, геофиты и число корней имеют отрицательную корреляцию с исследуемыми параметрами. Положительная корреляция наблюдается между температурой почвы и гемикриптофитами, терофитами и хамефитами. Среди почвенных характеристик отрицательную корреляцию с температурой почвы имеет влажность. Плотность почвы имеет положительную корреляцию с ее температурой.

Ключевые слова: эдафические характеристики, изменчивость температуры почвы, геостатистики, климатоморфы.

АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ З РОСЛИННИМ ПОВЕРХНОМ НА ДІЛЯНЦІ ПІЩАНОЇ СТЕПИ (ПРИРОДНИЙ ЗАПОВІДНИК «ДНІПРОВСЬКО-ОРІЛЬСЬКИЙ»)

В.О. Новікова

Дніпропетровський Національний університет імені Олеся Гончара

В роботі показано, що на ділянці піщаного степу в природному заповіднику «Дніпровсько-Орільський» температура ґрунту змінюється від значення 17,2 °С до 31,0 °С. Виявлено, що локуси з більш високими температурами розташовані на лівій і правій краях полігону. У центральній області розташована ділянка з більш низькою температурою. Спостережувану тенденцію просторової мінливості температури ґрунту ми зв'язали з розташуванням рослинного покриву і едафічними характеристиками. За допомогою методу геостатистики розраховані показники просторової залежності і радіус впливу, які продемонстрували, що на досліджуваній ділянці існує високий ступінь просторової залежності. Встановлено, що просторова мінливість температури ґрунту на даній ділянці пов'язана з рослинним покривом і іншими ґрунтовими характеристиками. Деревні рослини, геофіти і число коренів мають негативну кореляцію з досліджуваними параметрами. Позитивна кореляція спостерігається між температурою ґрунту і гемікриптофітами, терофитами і хамефітами. Серед ґрунтових характеристик негативну кореляцію з температурою ґрунту має вологість. Щільність ґрунту має позитивну кореляцію з її температурою.

Ключові слова: едафічні характеристики, змінливість температури ґрунту, геостатистики, кліматоморфи.

Citation:

Novikova V.O. (2016). Soil temperature and vegetation cover in sandy steppe plot (Nature Reserve "Dnieper-Orelsky"). *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6 (2), 5–13.

Поступило в редакцію / Submitted: 17.03.2016

Прийнято к публікації / Accepted: 11.05.2016

crossref <http://dx.doi.org/10.15421/201629>

© Novikova, 2016

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 License

SOIL TEMPERATURE AND VEGETATION COVER IN SANDY STEPPE PLOT (NATURE RESERVE “DNIEPER-ORELSKY”

V.O. Novikova

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine

It is shown that in the area of sandy steppe in a nature reserve «Dnieper-Orelsky» the soil temperature has been changed from 17.2 to 31.0 °C. Loci with higher temperatures are on the left and right ends of the landfill, whereas the plot with lower temperature was located in the central region. There is a tendency of spatial variability of soil temperature, which could be explained by vegetation location and edaphic characteristics. We calculated the indicators of spatial dependence and the radius of influence with the help of geostatistical method and proved that the target plot had high degree of spatial dependence. It was established that the spatial variability of soil temperature is associated with vegetation and other soil characteristics within the studied plot. Woody plants, geophytes, and the number of roots have a negative correlation with all the studied parameters. A positive correlation was calculated for soil temperature and hemicryptophytes, terophytes, and hamephytes. The soil temperature has negative correlation with the humidity, whereas the soil density is positively correlated with soil temperature.

Key words: *edaphic characteristics, soil temperature variability, geostatistics, climato-morph.*

Температура – основной показатель теплообмена как в почве, так и в системе «приземный слой воздуха – почва – горные породы» (Димо, 1872). Данный показатель сильно зависит от растительного покрова и структуры побегов отдельных видов растений, имеющих различную густоту, высоту, площадь и ориентацию листьев. Покров растений снижает амплитуду колебаний температуры поверхности почвы. Пространственная вариабельность растительного покрова обуславливает мозаичную структуру температуры почвы. Особенно это проявляется на стыках биогеоценозов, например, на опушке леса (Wang et al., 2001).

Температура поверхности почвы является результатом сложного сочетания многих свойств и процессов. Некоторые из них относятся к самой почве (тепловые свойства, содержание влаги, альбедо и др.). Другие отражают состояние атмосферных показателей (Zupanski et al., 2002, Vukicevic et al., 2003). В некоторых работах установлена корреляция температуры почвы с пространственной структурой некоторых эдафических характеристик, например, влажности (Oldak et al., 2002; Teuling, Troch, 2005).

Свойства почвы характеризуются непрерывными переменными значениями, которые варьируются в зависимости от направления и расстояния точек друг к другу (Entekhabi et al., 1999). Эдафические свойства демонстрируют неоднородность, и их пространственная структура должна быть принята во внимание при анализе данных. Для описания пространственной вариабельности эдафических свойств почв применяются методы геостатистики (De Lannoy et al., 2006). Геостатистика позволяет количественно определить величины пространственной изменчивости отдельных свойств на основе построения модели пространственной структуры. Пространственные структуры свойств почвы отображаются с помощью вариограмм (Reichle et al., 2007; Jones et al., 2004; Durand, Margulis, 2008; Bolten et al., 2009).

Растительность задерживает солнечную радиацию, в результате чего температура почвы летом может быть ниже, чем температура воздуха. Особенно заметное влияние на тепловой режим почв оказывает лесная растительность (Глазовская, Геннадиев, 1995).

Тепловой режим почвы в значительной мере определяет интенсивность механических, геохимических и биологических процессов, протекающих в почве. Известно, что при повышении температуры на каждые 10 °C скорость химической реакции увеличивается в 2–4 раза (правило Вант-Гоффа). Например, интенсивность биохимической деятельности бактерий увеличивается с повышением температуры почвы до 40–50 °C; выше этой температуры жизнедеятельность микроорганизмов угнетается. При температуре ниже 0 °C биологические явления резко затормаживаются и прекращаются (Добровольский, 2001).

Тепловой режим почвы оказывает непосредственное влияние на рост и развитие растений. Важным показателем обеспеченности растений почвенным теплом является сумма активных температур почвы (т.е. температур выше 10 °C, при этих температурах идет активная вегетация растений)

на глубине пахотного слоя (20 см). Также влияние температуры на растительность обусловлено воздействием на корневую систему. От данного показателя зависит протекание физиологических процессов в корнях растений (Худяков, 1996).

Также температура почвы влияет на пространственную изменчивость среды обитания почвенных животных. Разница температур в почвенном профиле позволяет почвенным животным путем незначительных перемещений обеспечить себе подходящую экологическую обстановку. Температура выступает в роли одного из важнейших факторов, формирующих экологические ниши для обитателей педофауны (Western et al., 1999).

Целью нашего исследования является изучить пространственную вариабельность температуры почвы на глубине 5–7 см в различные временные периоды на участке песчаной степи и оценить роль климатоморфической структуры растительного покрова и эдафических характеристик в пространственной изменчивости температуры почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в апреле–мае 2014 г. в природном заповеднике «Днепроовско-Орельский». Исследуемый полигон заложен на участке, который находится на арене р. Днепр (48°30'47.26"С, 34°49'36.49"В). Полигон состоит из 15 трансект. Каждая трансекта составлена из 7 пробных точек. Расстояние между рядами в полигоне составляет 3 м. Полигон расположен в направлении с юга на север. Начальные пробные точки полигона находятся у основания дюнного всхолмления. Полигон своей правой частью заходит на дюну, а его левая часть эту дюну огибает. На вершине дюны находятся чернокленовые кусты. У основания дюны расположены несколько отдельно стоящих сосен. Преобладающий тип растительности – псаммофильная степь. Почвенную температуру измеряли цифровыми термометрами *WT-1* (ПАО «Стеклоприбор», <http://bit.steklopribor.com>, точность – 0,1 °С) на глубине 5–7 см. Измерения температуры почвы проведены 02.07.2014 в 11.45 и 08.07.2014 (в 9.45 – первое измерение, в 11.15 – второе). Пробы температуры сделаны в трехкратной повторности в каждой пробной точке. Агрегатная структура оценивалась методом сухого просеивания по Савинову, плотность почвы – по Качинскому, влажность почвы – весовым методом (Вадюнина, 1986).

Статистические расчеты проведены с помощью программы *Statistica 7.0* и программной оболочки *Project R* «R: A Language and Environment for Statistical Computing» (<http://www.R-project.org/>). Расчет показателей геостатистик проведен с помощью программы *Surfer 11.0*.

Проективное покрытие растений определяли по А.Г. Воронину (1973). На данном участке установлены 57 видов растений (Ганжа и др., 2015). Информация о пространственном варьировании климатоморф растительного сообщества использована для объяснения варьирования почвенной температуры. Характеристика климатоморф растений приведена по А.Л. Бельгарду (1950) и В.В. Тарасову (2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерения температуры почвы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Средние значения температуры почвы на участке песчаной степи на исследуемом участке

Дата и время измерения температуры	Среднее, °С ± ст. ошибка	Минимум	Максимум	Перцентиль, %	
				2,5	97,5
02.07.2014, 11.45	22,7	17,5	29,7	18,6	28,3
08.07.14, 9.45	22,0	17,2	30,9	17,4	30,0
08.07.14, 11.15	23,9	17,7	31,0	18,4	30,4

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в среднем температура почвы составляет 22,0 °С–23,9 °С. Данный показатель на изучаемом участке варьирует от значения 17,2 °С до 31,0 °С. Диапазон значений температуры превышает 10,0 °С.

Для определения величины пространственной вариабельности температуры почвы используются геостатистики. В нашем случае геостатистики характеризуют пространственную вариабельность температуры почвы в горизонтальном направлении вдоль поверхности почвы. Для описания пространственной изменчивости температуры использовали параметры вариограммы (сферическая модель): наггет-эффект (C_0); частичный порог (C_1); порог (C_0+C_1); радиус влияния и уровень пространственной зависимости (*spatial dependence level* – SDL: $100\% \times C_0 / (C_0+C_1)$) (табл. 2).

Таблица 2. Геостатистические показатели пространственной изменчивости температуры почвы

Дата и время измерения температуры почвы на глубине 5-7 см	Наггет-эффект	Частичный порог	Порог	Радиус, м	SDL, %
02.07.2014, 11.45	0,3	4,9	5,2	14,6	5,8
08.07.14, 9.45	0,4	7,5	7,9	10,7	5,1
08.07.14, 11.15	0,5	6,5	7	9,8	7,1

Наггет-эффект указывает на значимость непространственной компоненты изменчивости признака. Установлено, что данный показатель находится в диапазоне 0,3–0,5. Порог – это значение, которое модель вариограммы принимает в точке радиуса влияния. Значение данного параметра варьирует от 5,2 до 7. Отношение наггет-эффекта к показателю «порог» дает возможность оценить уровень пространственной зависимости (SDL). При значении пространственного соотношения 0–25 % имеет место высокая пространственная зависимость; при значении 25–75 % – средняя зависимость; при значении 75–100 % – низкая (Cambarella et al., 1994). Установлено, что степень пространственной зависимости характеризуется значениями в пределах 5,8–7,1%, что соответствует высокой пространственной зависимости этого показателя. Радиус влияния принимает значение от 9,8 м до 14,6 м.

На основании рассчитанных вариограмм были построены карты пространственной изменчивости температуры почвы (рис. 1).

Несмотря на различия средних уровней температур, которые наблюдались в различные периоды измерений, на изучаемом участке установлены подобные тенденции пространственной изменчивости, или паттерны. На картах, изображенных на рис. 1, видно, что участки с более высокими температурами расположены на левой и правой оконечностях полигона. В центральной области расположен участок с более низкой температурой. Наблюдаемую тенденцию пространственной изменчивости температуры почвы мы связываем с расположением растительного покрова и эдафическими характеристиками. Растительность способна формировать отдельные локусы с разной температурой почвы посредством затенения, через альбедо и др. Растения приспосабливаются к переживанию неблагоприятного времени года, и эти различия положены в основу выделения климатоморф. По Бельгарду (1950), климатоморфы являются результатом приспособления растений к окружающей среде.

Древесные растения (фанерофиты) на исследуемом полигоне представлены отдельно стоящими сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*), дубом, тополем черным (*Populus nigra*), шелюгой (*Salix rubra*) и чернокленовым кустом (*Acer tataricum*), который расположен на дюнном холме. Хамефиты представлены полукустарником Тимьяном Палласовым (*Thymus pallasianus*). Среди гемикриптофитов особое значение имеют овсяница Беккера (*Festuca beckeri*) и полынь днепровская (*Artemisia vulgaris*). Криптофиты представлены 9 видами, среди которых наиболее распространенными являются камышевик обыкновенный (*Scirpoides holoschoenus*) и зубровка пахучая (*Hieróchloe odoráta*). Терофиты представлены 9 видами, среди которых наибольшее значение по проективному покрытию играет рожь дикая (*Secale sylvestre*) (Ганжа и др., 2015).

Корреляция температуры почвы на глубине 5–7 °С, пространственного распространения климатоморф растений и эдафических характеристик представлена в табл. 3.

Установлено, что взаимосвязь общего проективного покрытия растительности и температуры почвы имеет недостоверный статистический уровень значимости. Проективное покрытие древесных растений, геофитов и количество корней отрицательно связаны с изучаемым показателем. По-

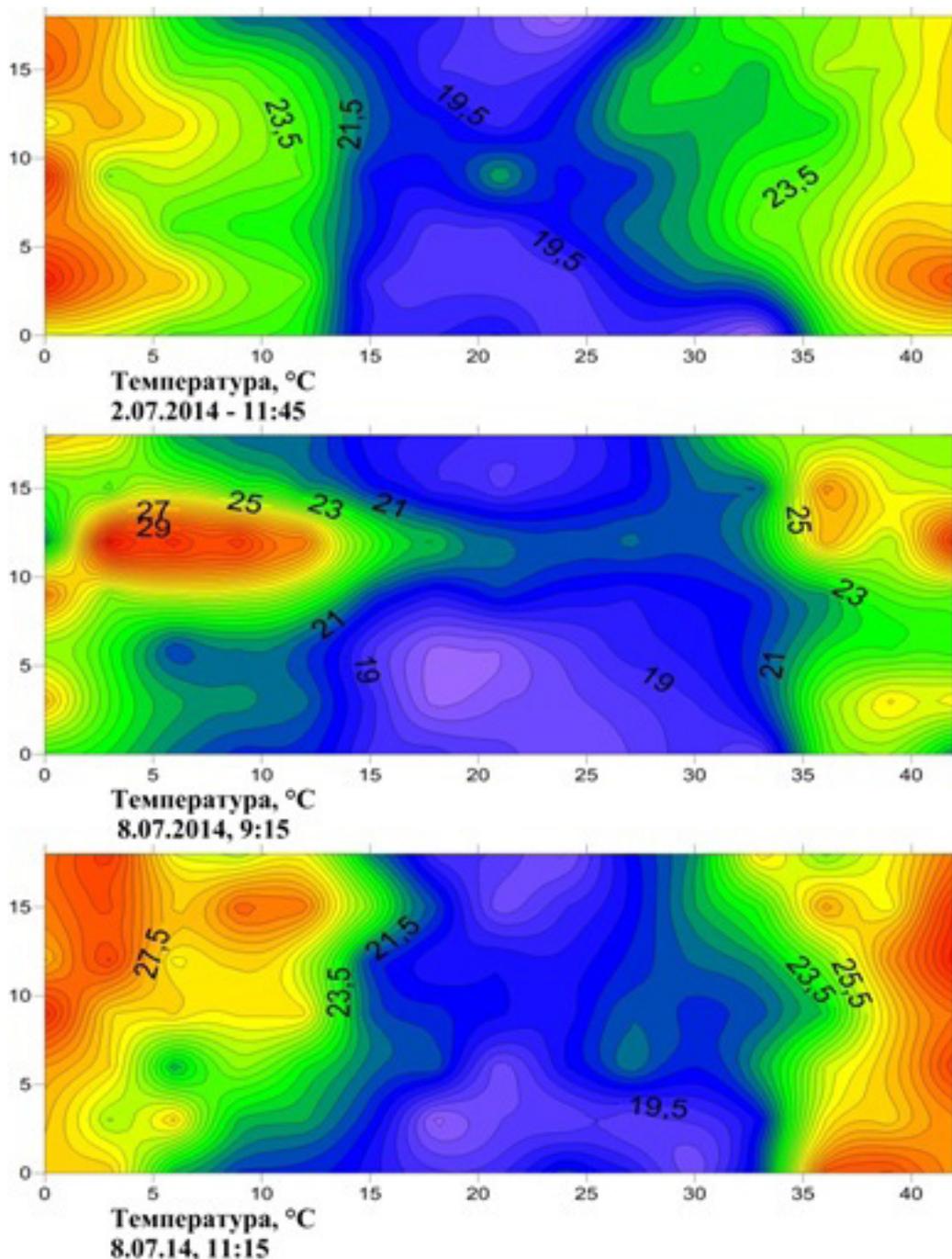


Рис. 1. Пространственное распределение температуры почвы в слое 5-7 см. На осях абсцисс и ординат представлены локальные координаты (м).

ложительная корреляция присутствует между температурой почвы и гемикриптофитами, терофитами и хамефитами.

Среди эдафических характеристик отрицательная корреляция наблюдается между температурой почвы и ее влажностью. Плотность почвы и средняя фракция песка характеризуется положительной корреляционной связью с температурой почвы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для корней растений большое значение имеет температура почвы. Наилучший рост корневых систем растений наблюдается в интервале 10–25 °С. Увеличение температуры почвы вплоть до оп-

Таблица 3. Корреляция температуры почвы с общим проективным покрытием растительности и проективным покрытием климаморф (показаны коэффициенты корреляции достоверные для $p < 0,05$)

Показатели	Температура почвы в слое 5–7 см, °С		
	2.07.2014, 11:15 ч.д.	8.07.14, 9:45 ч.д.	8.07.14, 11:15 ч.д.
Проективное покрытие растительности, климаморфы и вес корней			
Проективное покрытие	–	–	–
Ch	0,31	0,30	0,25
G	–0,39	–0,27	–0,27
НКг	0,42	0,44	0,48
nPh	–0,38	–0,35	–0,35
Ph	–0,67	–0,58	–0,58
T	0,30	0,22	0,28
Корни, %	–0,52	–0,36	–0,46
Эдафические показатели			
Влажность, %	–0,64	–0,59	–0,57
Плотность, г/см ³	0,59	0,59	0,53
Гравий (> 1 мм), %	–	–	–
Песок крупный (0,5–1 мм), %	–	–	–
Песок средний (0,25–0,5 мм), %	0,48	0,40	0,47
Песок мелкий (<0,25 мм), %	–	–	–

Ch – хамефиты, G – геофиты, НКг – гемикриптофиты, nPh – нанофанерофиты (кустарники), Ph – фанерофиты (деревья), T – терофиты.

тимального уровня приводит к росту размножения бактерий, повышается их биологическая активность и трансформация органического вещества, усиливается процесс газообмена и передвижения влаги в почве. При снижении температуры все процессы замедляются, а при падении температуры ниже 0 °С начинается замерзание почвы (Кауричев, 1989).

На исследованном участке значения температуры почвы находятся в диапазоне оптимальных значений или несколько выходят за его рамки (17–31 °С). Диапазон варьирования температур в пределах относительно ограниченного участка поверхности почвы весьма значительный и превышает 10 °С. Это свидетельствует о возможном широком объеме изменчивости других физических, химических и биологических показателей почвы (Ye Qia et al., 2002).

Наличие пространственной изменчивости данного показателя также подтверждается расчетом геостатистик, в частности, радиусом влияния, который характеризует максимальное расстояние между точками отбора проб, значения признака в которых коррелированы в следствие пространственных причин (Худяков, 1996). Нами установлено, что дистанция декорреляции находится в диапазоне 9,8–14,6 м, что меньше размеров изучаемого участка.

На изучаемом полигоне локалитеты с различающейся температурой могут быть результатом средопреобразующего влияния растительного покрова. Г. Н. Высоцкий (1930) связывал данное явление с понятием «пертиненция», под которым понимается тот факт, что растения и их популяции влияют на физическое состояние биогеоценотической среды. Это выражается в виде влияния растительного покрова на теплообмен почвы с окружающей средой. Наличие процесса пертиненции на изучаемом участке песчаной степи подтверждается корреляционным анализом. Под пологом фанерофитов формируются локусы с более низкой температурой, чем на других областях участка песчаной степи. Также наиболее сильное лучеиспускание происходит с тонколиственного злакового покрова (Высоцкий, 1950). Это может объяснить отрицательную корреляцию температуры почвы и проективным покрытием некоторых климаморф.

Влажность и температура почвы являются одними из важнейших факторов формирования водного и теплового баланса (Hoff, 2001). Влажность почвы отрицательно связана с ее температурой. Известно, что песчаные почвы плохо задерживают в себе влагу и по сравнению с глинистыми почвами имеют меньшую теплопоглощительную способность: сухие почвы отражают лучистую энергию на 5–11 % больше, чем влажные (Гаель, Смирнова, 1999). Влага задерживается лишь в верхнем слое почвы благодаря мочковатой корневой системе растений. Таким образом, растительный покров, как и производный показатель – процентное содержание корней, является связывающим звеном между колебанием температуры почвы и содержанием ее влажности.

Плотность песчаных почв в среднем составляет 1,6–1,7 г/см³ (Марчик, Ефремов, 2006). В верхнем слое почвы корневая система ее разрыхляет, снижая тем самым плотность. При этом проявляется еще один аспект влияния растительности на почву. Корреляционный анализ показал, что плотность почвы положительно связана с ее температурой. Эта взаимосвязь косвенна: мочковатая корневая система при разрыхлении почвы дает возможность заполнить поры воздухом и водой. При большой влажности увеличивается испаряемость, тем самым повышается температура почвы.

Температура почвы имеет наибольшую взаимосвязь с фракцией среднего песка. Это может объясняться тем, что данная фракция почвы, как и плотность, связана с корненонасыщенностью почвы, а также занимает наибольшее по объему количество среди других.

Таким образом, растительность связана с температурой почвы на участке песчаной степи как прямо (посредством формирования областей с разной температурой почвы через затенение, отражение солнечного излучения), так и косвенно (через разрыхление верхнего почвенного слоя корневой системой, задержание частиц почвы в процессе их перемещения эоловыми процессами).

ВЫВОДЫ

Установлено, что на участке песчаной степи разница между минимальной и максимальной температурой почвы составляет около 13 °С. Это свидетельствует о явлении изменения скорости химических реакций в 2 раза на данном участке.

Показатель пространственной зависимости (SDL) принимает значения от 5,8 до 7,1%, что соответствует высокой пространственной зависимости этого показателя. Радиус влияния принимает значение от 9,8 до 14,6 м, что меньше размеров изучаемого участка.

Пространственная изменчивость температуры почвы связана с расположением растительности. Древесные растения, геофиты и количество корней имеют отрицательную корреляцию с изучаемым показателем. Положительная взаимосвязь с температурой почвы наблюдается у гемикриптофитов, терофитов и хамефитов. Среди эдафических характеристик отрицательную корреляцию с температурой почвы имеет ее влажность. Плотность почвы имеет положительную связь с температурой, как и средняя фракция песка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М., Агропромиздат. – 1986. – 416 с.
- Гаель А.Г. Пески и песчаные почвы / А.Г. Гаель, Л.Ф. Смирнова. – М., ГЕОС. – 1999. – 255 с.
- Ганжа Д.С. Экоморфическая организация чернокленовников в псаммофильной степи на арене р. Днепр / Д. С. Ганжа, О. Н. Кунах, А. В. Жуков, В. А. Новикова // Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель. – Д. – 2015, вип. 44. – 110–126.
- Геннадиев А.Н. География почв с основами почвоведения / А.Н. Геннадиев, М.А. Глазовская. – М., МГУ. – 1995. – 463 с.
- Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР / В.Н. Димо. – М., Колос. – 1972. – 359 с.
- Добровольский Г.В. Экология почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. М: Изд-во Московского университета, 2012. – 412 с.
- Кауричев И.С. Почвоведение / И.С. Кауричев – М: Колос, 1989. – 545 с.
- Марчик Т.П. Почвоведение с основами растениеводства / Т.П. Марчик, А.Л. Ефремов – Гродно: ГрГУ, 2006. – 249 с.

- Худяков В.В. Влияние разреживания на температурный режим осушенных торфяных почв // Эколого-биологические обоснование гидроресомелиорации и реконструкции лесосушительных систем. – Петрозаводск, 1996. – с. 42–44
- Bolten, J.D., Crow, W.T., Zhan, X., Reynolds, C.A., Jackson, T.J. Assimilation of a Satellite-Based Soil Moisture Product into a Two-Layer Water Balance Model for a Global Crop Production Decision Support System; Springer: Berlin, Germany, 2009; P. 449–463.
- C.A. Cambarella, T.B. Moorman, J. M. Novak C.A. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Soc. Am.* – 1994. – Vol. 58 – P. 1501–1511.
- Crow, W.T. Correcting Land Surface Model Predictions for the Impact of Temporally Sparse Rainfall Rate Measurements Using an Ensemble Kalman Filter and Surface Brightness Temperature Observations. *J. Hydrometeorol.* 2003, 4, P. 960–973.
- De Lannoy, G.J.M., Verhoest, N.E.C., Houser, P.R., Gish, T.J., Meirvenne, V.M. Spatial and Temporal Characteristics of Soil Moisture in an Intensively Monitored Agricultural Field (OPE3). *J. Hydrol.* 2006, 331, P. 719–730.
- Durand, M., Margulis, S.A. Effects of Uncertainty Magnitude and Accuracy on Assimilation of Multiscale Measurements for Snowpack Characterization. *J. Geophys. Res.* 2008, 113, D02105.
- Entekhabi, D., Asrar, G.R., Betts, A.K., Beven, K.J., Bras, R.L., Duffy, C.J., Dunne, T., Koster, R.D., Lettenmaier, D.P., McLaughlin, D.B., Shuttleworth, W.J., van Genuchten, M.T., Wei, M.Y., Wood, E.F. An Agenda for Land Surface Hydrology Research and a Call for the Second International Hydrological Decade. *B. Am. Meteorol. Soc.* 1999, 80, P. 2043–2058.
- Hoff, C. Spatial and Temporal Persistence of Mean Monthly Temperature on Two GCM Grid Cells. *Int. J. Climat.* 2001, 21, P. 731–744.
- Jones, A.S., Vukicevic, T., Vonder-Haar, T.H. A Microwave Satellite Observational Operator for Variational Data Assimilation of Soil Moisture. *J. Hydrometeorol.* 2004, 5, P. 213–229.
- Oldak, A., Jackson, T., Pachepsky, Y. Using GIS in Passive Microwave Soil Mapping and Geostatistical Analysis. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2002, 16, P. 681–689.
- Reichle, R.H., Koster, R.D., Liu, P., Mahanama, S.P., Njoku, E.G., Owe, M. Comparison and Assimilation of Global Soil Moisture Retrievals from the Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E) and the Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR). *J. Geophys. Res.* 2007, 112, D09108.
- Teuling, A.J., Troch, P.A. Improved Understanding of Soil Moisture Variability Dynamics. *Geophys. Res. Lett.* 2005, 32, L05404.
- Vukicevic, T., Sengupta, M., Jones, A.S., Vonder-Haar, T. Cloud-Resolving Satellite Data Assimilation: Information Content of IR Window Observations and Uncertainties in Estimation. *J. Atmos. Sci. (JAS)* 2006, 63, P. 901–919.
- Wang, J., Fu, B., Qiu, Y., Chen, L., Wang, Z. Geostatistical Analysis of Soil Moisture Variability on Da Nangou Catchment of the Loess Plateau, China. *Environ. Geol.* 2001, 41, P. 113–120.
- Western, A.W., Grayson, R.B., Green, T.R. The Tarrawarra Project: High Resolution Spatial Measurement, Modelling and Analysis of Hydrological Response. *Hydrol. Process.* 1999, 13, P. 633–652.
- Ye Qia, Ming Xu, Jianguo Wu. Temperature sensitivity of soil respiration and its effects on ecosystem carbon budget: nonlinearity begets surprises. *Ecological Modelling* 153 (2002), P. 131–142.
- Zupanski, M., Zupanski, D., Parrish, D.F., Rogers, E., DiMego, G. Four-Dimensional Variational Data Assimilation for the Blizzard of 2000. *Mon. Weather. Rev.* 2002, 130, P. 1967–1983.

REFERENCES

- Bolten, J.D., Crow, W.T., Zhan, X., Reynolds, C.A., Jackson, T.J. (2009). *Assimilation of a Satellite-Based Soil Moisture Product into a Two-Layer Water Balance Model for a Global Crop Production Decision Support System*. Springer. 449–463.
- Cambarella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M. (1994). Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Soc. Am.*, 1501 – 1511.
- Crow, W.T. (2003) Correcting Land Surface Model Predictions for the Impact of Temporally Sparse Rainfall Rate Measurements Using an Ensemble Kalman Filter and Surface Brightness Temperature Observations. *J. Hydrometeorol.*, 4, 960–973.
- De Lannoy, G.J.M., Verhoest, N.E., Houser, P.R., Gish, T.J. Meirvenne, V.M. (2006) Spatial and Temporal Characteristics of Soil Moisture in an Intensively Monitored Agricultural Field (OPE3). *J. Hydrol.*, 331, 719–730.
- Dimo, V.N. (1972). *The thermal regime of the soils of the USSR*. Moscow: Kolos (in Russian).
- Dobrovolsky V.V. (2001) *Geography of soils with the basics of soil science*. Moscow: Publishing Moscow University (in Russian).

- Durand, M., Margulis, S.A. (2008). Effects of Uncertainty Magnitude and Accuracy on Assimilation of Multiscale Measurements for Snowpack Characterization. *J. Geophys. Res.*, 113, D02105.
- Entekhabi, D., Asrar, G.R., Betts, A.K., Beven, K.J., Bras, R.L., Duffy, C.J., Dunne, T., Koster, R.D., Lettenmaier, D.P., McLaughlin, D.B., Shuttleworth, W.J., van Genuchten, M.T., Wei, M.Y., Wood, E.F. (1999) An Agenda for Land Surface Hydrology Research and a Call for the Second International Hydrological Decade. *B. Am. Meteorol. Soc.*, 80, 2043–2058.
- Gael, A.G., Smirnova, L.F. (1999). *Sands and sandy soils*. Moscow: GEOS (in Russian).
- Ganja, D.S., Kunakh, O.M., Zhukov, A.V., Novikova, V.A. (2015) Ecomorphic organization *Acer tataricum* coenosis in sand steppes on arena of the river Dnepr. *Issues of steppe forestry and forest reclamation of soils*, 44, 110–126 (in Russian).
- Gennadiev, A.N., Glazovskaya, M.A. (1995). *Soil Geography with Basics of Agrology*. Moscow: Moscow State University (in Russian).
- Hoff, C. (2001). Spatial and Temporal Persistence of Mean Monthly Temperature on Two GCM Grid Cells. *Int. J. Climat.*, 21, 731–744.
- Jones, A.S., Vukicevic, T., Vonder-Haar, T.H. (2004). A Microwave Satellite Observational Operator for Variational Data Assimilation of Soil Moisture. *J. Hydrometeorol.*, 5, 213–229.
- Kaurichev, I.S. (1989). *Agrology*. Moscow: Kolos (in Russian).
- Khudyakov V.V. (1996) *Influence of thinning on the temperature regime of drained peat soils*. In: *Ecological and biological substantiation of reclamation and reconstruction of forest drainage systems*. Petrozavodsk (in Russian)
- Marchik, T.P., Efremov, A.L. (2006). *Agrology with Basics of Horticulture*. Grodno: Grodno State University (in Russian).
- Oldak, A., Jackson, T., Pachepsky, Y. (2002). Using GIS in Passive Microwave Soil Mapping and Geostatistical Analysis. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 16, 681–689.
- Reichle, R.H., Koster, R.D., Liu, P., Mahanama, S.P., Njoku, E.G., Owe, M. (2007). Comparison and Assimilation of Global Soil Moisture Retrievals from the Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E) and the Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR). *J. Geophys. Res.*, 112, D09108.
- Teuling, A.J., Troch, P.A. (2005). Improved Understanding of Soil Moisture Variability Dynamics. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05404.
- Vadyunina, A.F., Korchagina, Z.A. (1986). *Methods of study of the physical properties of soils*. Moscow: Agropromizdat (in Russian).
- Vukicevic, T., Sengupta, M., Jones, A.S., Vonder-Haar, T. (2006). Cloud-Resolving Satellite Data Assimilation: Information Content of IR Window Observations and Uncertainties in Estimation. *J. Atmos. Sci. (JAS)*, 63, 901–919.
- Wang, J., Fu, B., Qiu, Y., Chen, L., Wang, Z. (2001). Geostatistical Analysis of Soil Moisture Variability on Da Nangou Catchment of the Loess Plateau, China. *Environ. Geol.*, 41, 113–120.
- Western, A.W., Grayson, R.B., Green, T.R. (1999). The Tarrawarra Project: High Resolution Spatial Measurement, Modelling and Analysis of Hydrological Response. *Hydrol. Process.*, 13, 633–652.
- Ye Qia, Ming Xu, Jianguo Wu. (2002) Temperature sensitivity of soil respiration and its effects on ecosystem carbon budget: nonlinearity begets surprises. *Ecological Modelling*, 153, 131–142.
- Zupanski, M., Zupanski, D., Parrish, D.F., Rogers, E., DiMego, G. (2002). Four-Dimensional Variational Data Assimilation for the Blizzard of 2000. *American Meteorological Society, Mon. Weather. Rev.*, 130, 1967–1988.