УДК 613.417

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЧВ

 1 Кудряшова С.Я., 1 Чичулин А.В., 1 Чумбаев А.С., 1 Миллер Г.Ф., 1 Безбородова А.Н., 1 Соловьев С.В., 2 Курбатская С.С., 2 Самдан А.М., 2 Курбатская С.Г., 3 Герайзаде А.П., 4 Гюлалыев Ч.Г.

¹ФБГУН «Институт почвоведения и агрохимии СО РАН», Новосибирск, e-mail: sya55@mail.ru; ²ГБУ «Убсунурский международный центр биосферных исследований», Кызыл; ³Институт почвоведения и агрохимии НАНА, Баку; ⁴Институт географии НАНА, Баку

Рассмотрена возможность выделения типологических границ почвенного покрова тундрово-степных комплексов Алтае-Саянского региона с использованием интегральных количественных характеристик температурного режима почв, рассчитанных на основе временных рядов температурного мониторинга. В отличие от традиционно использующихся показателей разработан метод расчета гибкой системы теоретически обоснованных количественных характеристик температурного режима, позволяющий устанавливать взаимосвязи теплофизического состояния почв с почвенно-генетическими характеристиками и подойти к решению проблемы выделения и типологии почвенно-экологических границ. Введено новое понятие собственной системы отсчета для температурного режима почв. Показано, что фазовые портреты температурных режимов могут использоваться для группировки почв, сформированных в разных экологических условиях.

Ключевые слова: почвы высокогорий, типологические границы, температурный мониторинг, характеристики температурного режима

INVESTIGATION OF ALTAI-SAYAN REGION SOIL COVER SPATIAL DISTRIBUTION USING QUANTITATIVE INDICATORS OF THE SOIL TEMPERATURE REGIME

¹Kudryashova S.Y., ¹Chichulin A.Y., ¹Chumbaev A.S., ¹Miller G.F., ¹Bezborodova A.N., ¹Solovev S.V., ²Kurbatskaya S.S., ²Samdan A.M., ²Kurbatskaya S.G., ³Gerayzade A.P., ⁴Gulaliyev C.G.

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, e-mail: sya55@mail.ru;

²SBD Ubsunur International Biosphere Research Center, Kyzyl; ³Institute of Soil Science and Agrochemistry National Academy of Science of Azerbaijan, Baku; ⁴Institute of Geography National Academy of Science of Azerbaijan, Republic of Azerbaijan, Baku

The possibility of allocation of soil and ecological borders typological units of the Altai-Sayan region mountain soils using integrated quantitative characteristics of soil temperature, calculated on the basis of time series of temperature monitoring. In contrast to the traditionally used indicators of temperature calculation method developed flexible system theoretically based quantitative characteristics of temperature control that allows a relationship thermophysical state of soils with soil and genetic characteristics and approach the problem of allocation and typology of soil borders. Introduced a new concept of own frame of reference for the soil temperature regime. It is shown that the phase portraits of temperature regimes are highly informative with respect to the temperature characteristics of the soil and allow the group formed under different environmental conditions

Keywords: soils of highlands, typological border, temperature monitoring, soil temperature characteristics

Новое направление почвенного картографирования — метод scorpan-SSPRe (soil spatial prediction function with spatially autocorrelated errors) — почвенной пространственно предсказывающей функции с пространственно автокоррелированными ошибками, который предполагает создание цифровых тематических карт, предсказывающих почвы на основе факторов почвообразования, является особенно актуальным для изучения почвенного покрова трудно-

доступных горных регионов, отличающихся значительной пестротой и неоднородностью. Однако, как отмечают авторы метода, одной из главных проблем практического применения почвенной пространственно предсказывающей функции является необходимость определения количественных параметров факторов почвообразования, свойств или режимов почв [1, 2, 3]. Для целей количественного прогнозирования используются свойства почв, которые тесно

коррелирует с экологическими характеристиками и обусловлены действием почвообразовательных процессов. Следствием действия факторов-почвообразователей являются почвенно-экологические границы, которые могут рассматриваться как функциональные, которые отображают определенные почвенные процессы в виде конкретного свойства или факторые, которые проводятся по одному или группе факторов почвообразования [4].

Одним из важнейших факторов формирования почвенно-экологических границ, является температурный режим почв, характеризующий совместно с гидрологическим режимом общий энергетический уровень формирования и функционирования экосистем и их компонентов. В последние десятилетия получены значительные достижения в области изучения температурного поля методами дистанционных исследований, которые определяют новые перспективы применения показателей температурного режима для решения фундаментальных и прикладных задач современного почвоведения [5]. Поэтому задачей данного исследования являлось обоснование возможности использования количественных интегральных характеристик температурного режима почв, полученных на основе нелинейного анализа временных рядов температурного мониторинга для выделения структурных единиц почвенного покрова Алтае-Саянского региона. Новизна подхода заключается в том, что впервые получены интегральные количественные характеристики температурного режима почв, позволяющие выделять диапазоны их устойчивого функционирования и характер влияния на эти режимы других почвенных

Материалы и методы исследования

Отработка методических принципов выделения почвенно-экологических границ с использованием показателей температурного режима была проведена на примере типологических единиц тундрово-степных комплексов высокогорного плоскогорья Укок (республика Горный Алтай) и северного макросклона горного массива Монгун-Тайга (республика Тыва). В условиях высокогорий в структуре почвенного покрова тундрово-степных комплексов типичными являются сочетания горно-степных и горно-тундровых почв контрастных по экологическим условиям формирования, резко различающихся по компонентному составу и количественному соотношению второстепенные компонентов.

Плоскогорье Укок. Специфика структуры почвенного покрова плоскогорья Укок определяется особенностями экологических высотных поясов горных районов, а так же локальными различиями по растительному покрову, почвообразующим породам, типам и формам лимно-гляциального рельефа [5].

Северный макросклон горного массива Монгун-Тайга. Ключевые участки тундрово-степного комплекса были выбраны в соответствии с геоморфологической схемой горного массива Монгун-Тайга, составленной Ю.П. Селиверстовым и др.[6] и принципами выделения геоморфологических подразделений по высотному градиенту, отражающими разнообразие и структурную организацию почвенного и растительного покрова [7]. Для выделения высотных группировок пространственной организации почвенного покрова были использованы основные положения концепции катены. Изучение проблемы почвенно-экологических границ тундрово-степных комплексов высокогорий, сформированных в условиях относительного выровненного рельефа и высотнопоясной зональности, проводилось с использованием общепринятых и современных методов исследования структурно-функциональной организации почвенного и растительного покрова.

Результаты исследования и их обсуждение

Общая характеристика температурного режима почв тундрово-степных комплексов. Система температурного мониторинга была разработана с учетом показателей, отражающих генетическое единство типов климата высокогорий Алтае-Саянского региона. Наблюдения за температурой воздуха и температурой основных типов почв тундрово-степных комплексов плоскогорья Укок и горного массива Монгун-Тайга были организованы с использованием автономного регистратора температуры «Thermochron DS-1921». Датчики были запрограммированы на 4 часовой интервал измерений. Температура воздуха фиксировалась на высоте 2,5 м от поверхности почвы, в условиях, исключающих прямое радиационное воздействие. Общий массив полученных данных составляет более 30000 единиц определений, которые были использованы для выявления общих закономерностей температурного режима на основе обобщенных (средних) значений температур и расчета теоретически обоснованных интегральных количественных характеристик температурного режима. В результате анализа годового хода температуры воздуха и температур на разных глубинах почвенного профиля было установлено, что основные показатели их температурного режима значительно различаются в зависимости от местоположения ключевого участка (таблица).

Закономерности формирования температурного режима почв, сопряженных по катене тесно связаны с динамикой температуры воздуха и в то же время выявляются значительные отличия в формировании годовой, сезонной и суточной динамики температурного режима для каждого типа почв (рис. 1). В результате анализа было установлено, что основные характеристики темпе-

ратурного режима - суммы положительных и отрицательных температур, их сезонные и годовые амплитуды, максимальные и минимальные значения, а так же скорости промерзания и оттаивания и др. существенно различаются по типам катенного ряда почв: горно-каштановых, горно-тундровых, горно-луговых. Поэтому в качестве критериев для выделения структурных единиц почвенного покрова могут использоваться следующие показатели температурного режима: значения среднегодовых температур, суммы годовых и сезонных положительных и отрицательных температур, показатели динамики промерзание-оттаивание и уровень теплообеспеченности периода биологической активности. Наряду с использованием общих показателей температурного режима, специальной задачей исследования являлась разработка системы теоретически обоснованных показателей теплофизического состояния почв на основе данных динамики температуры почв в определенных временных масштабах, позволяющей, группировать почвы, как различные структурные единицы почвенного покрова.

Такая иерархически организованная система показателей должна обладать достаточной информативностью, для выявления взаимосвязи теплофизического состояния почв с различными почвенно-генетическими характеристиками и подойти к решению проблемы выделения и типологии почвенных границ.

Собственные системы координат. Временной ход температуры, представленный на рис. 1, не является единственно возможным. Существуют другие представления

тех же данных, которые обладают определенными преимуществами, по сравнению с традиционным представлением. Исследование свойств динамических систем наиболее удобно и естественно проводить, используя понятие фазового пространства. Использование фазовых портретов на практике играет существенную роль во всех исследованиях динамики по следующей простой причине: такое представление служит альтернативой в тех случаях, когда аналитическое интегрирование дифференциальных уравнений оказывается невозможным. В фазовых портретах исключается временная координата в явном виде, графики строятся в координатах некоторой величины

и ее производной по времени: Т и $\frac{\partial t}{\partial t}$.

Фазовые портреты дают не только компактное геометрическое изображение отдельных движений, но и определяют логику поведения динамической системы, ее зависимость от изменяемых параметров (рис. 2).

С точки зрения теории динамических систем почвы относятся к диссипативным системам с вынуждающей силой. Фазовые портреты их температурных режимов представляют собой предельные циклы, а их структурные свойства отражают специфику динамики температуры каждой почвы и возможную реакцию на возмущение. В частности, очевидно, что генетические горизонты горно-тундровой почвы характеризуются заметно меньшей амплитудой температуры и ее производной и, в целом, являются более «теплыми».

Среднемесячные значения температуры воздуха и почв тундрово-степных комплексов высокогорий Алтае-Саянского региона, Т °C

Ме- сяцы	Бертекская котловина					Северный склон горного массива Монгун-Тайге				
	воздуха на	горно-каштано- вой на глубине, м		горно-тундровой на глубине, м		воздуха на	горно-каштано- вой на глубине, м		горно-тундровой на глубине, м	
	высоте, м					высоте, м				
	2,0	0,06	0,23	0,07	0,16	2,0	0,05	0,2	0,12	0,21
I	-32,6	-20,8	-16,3	-9,5	-7,4	-27,6	-19,4	-17,1	-8,5	-7,8
II	-23,6	-17,6	-15,3	-10	-8,3	-20,2	-22	-19,8	-11	-10,3
III	-18,2	-16,7	-15,3	-11,2	-9,5	- 16,4	-14,4	- 14,5	-9,6	-9,2
IV	-2,9	-2,7	-4,5	-3,7	-2,9	-2,1	-2,6	-3,8	-6,6	-6,5
V	2	6,5	3,9	4,4	3,8	5,8	1,9	-0,1	-1,5	-1,8
VI	9,1	11,9	8,4	8,6	7,7	11,9	6	3,4	3,1	1,9
VII	11,8	14,2	11	10,8	10,1	13,6	8,2	7	7,1	6,2
VIII	8,3	11,2	8,8	7,9	7,7	12,8	8,4	7,6	7,3	6,5
IX	2,8	5,5	4,7	4	4,7	5,9	2,2	3	2,4	2,6
X	-5	-2,5	-1,3	-1,1	0,5	-1,9	-3,5	-1,5	-1,5	-0,9
XI	-10,8	-8,6	-6,5	-6,3	-4,1	-8,7	-9,4	-7,1	-3,1	-2,6
XII	-22,6	-12.5	-9,6	-4,7	-2,9	-16	-15,8	-13,4	-5,8	-5,2

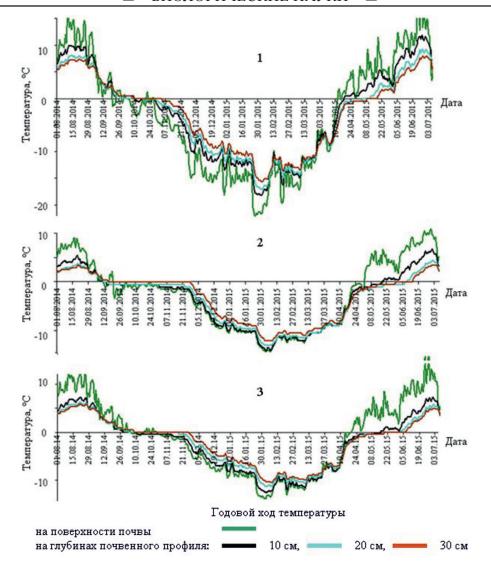


Рис. 1. Годовой ход температуры на разных глубинах почв тундрово-степной катены Бертекской котловины: 1 — горно-каштановой, 2 — горно-тундровой, 3 — горно-луговой

Идею использования фазовых портретов для характеристики температурного режима почв мы предлагаем дополнить введением понятия собственных систем отсчета, позволяющих дать более детальное описание динамики почвенной температуры. Это связано с тем, что в нефизических направлениях естествознания все чаше возникает необходимость в часах, которые не должны быть синхронизированы с физическими эталонными часами, основанными на узком классе естественных процессов. В биологических и других науках все чаще предлагается использовать специфические часы, свойственные каждой группе сходственных объектов. В собственных временных координатах в явном виде обнаруживаются закономерности развития, которые не проявляют себя при использовании шкалы

астрономического времени. В почвоведении часто решаются задачи, в которых почвы сопоставляются друг с другом по определенным признакам и процессам. Поэтому, если сравнивать температуру разных типов почв в одинаковые моменты времени можно в явном виде определить специфику каждого из них. Для почв тундрово-степного комплекса Монгун-Тайги нами был рассчитан температурный ход эталонной почвы, являющийся среднестатистическим из набора изученных почв. Затем, по отношению к нему были рассмотрены температурные кривые и скорости их изменения для всех почв. Очевидно, что различия по ходу температур для рассматриваемых почв максимальны зимой и минимальны летом (рис. 3). Летние температуры всех почв изменяются согласованно. Участки фазовых портретов

 $>0\,^{\circ}\mathrm{C}$ идут фактически параллельно друг другу. Зимой — наклоны для графиков разные, но постоянные для каждого горизонта. Таким образом, почвы можно характеризовать двумя наборами постоянных величин $\frac{\partial T_i}{\partial T_j}$, для летнего и зимнего периода в отдельности. Иная картина наблюдается для скоростей изменения температуры — мак-

симальные отличия наблюдаются в летние периоды, минимальные — в зимний. Однако, наклоны графиков практически одинаковы для отдельных горизонтов в зимний и летний периоды. Поэтому в собственной системе отсчета скорость изменения температуры почв сводится к наборам постоянных

значений вторых производных $\frac{\partial^2 T_i}{\partial T_i^2}$.

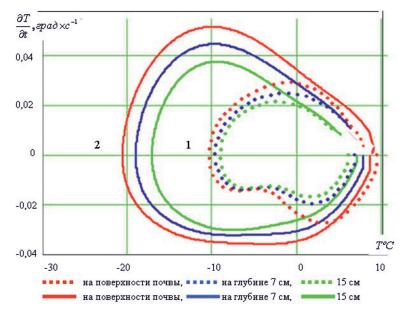


Рис. 2. Фазовые портреты температурного режима 1- горно-каштановой и 2 – горно-тундровой почв северного макросклона горного массива Монгун-Тайга

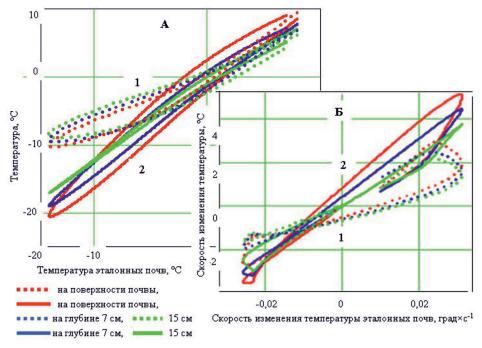


Рис. 3. Фазовые портреты температурного режима почв северного макросклона горного Монгун-Тайга в собственной системе отсчета. А – значения температуры и Б – скорость изменения температуры: 1 – горно-каштановой и 2 – горно-тундровой почв

Таким образом, в собственных системах отсчета достигается высокая степень сжатия исходной информации, что дает существенные преимущества в случае использования автоматизированных систем обработки данных.

Выводы

- температурный режим, представляющий фундаментальную характеристику почвообразования, может использоваться для выделения типологических единиц почвенного покрова, что особенно актуально для объективного отображения почвенного покрова горных регионов, отличающихся значительной пестротой и неоднородностью;
- компактное геометрическое представление динамики почвенных температур может использоваться в общей системе показателей, на основе которых производится группировка функциональных характеристик почв тундрово-степных комплексов различного генезиса.

Йсследование выполнено при финансовой поддержке проекта № 14-14-00453 Российского научного фонда (РНФ).

Список литературы

- 1. McBratney A.B., Mendonc Santos L.M., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma. 2003. V. 117. P. 3–52.
- 2. Odgers N.P., McBratney A.B., Minasny B. Digital soil property mapping and uncertainty estimation using soil class probability rasters // Geoderma. 2015. V. 237–238. P. 190–198.
- 3. Hartemink A., Minasny B. Towards digital soil morphometrics // Geoderma. 2014. V. 230–231. P. 305–3017.
- 4. Корсунов В.М., Красеха Е.Н., Ральдин Б.Б. Методология почвенно-географических исследований и картографии почв. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2002. 232 с.
- 5. Van de Kerchove R., Lhermitte S., Veraverbeke S., Goossensa R. Spatio-temporal variability in remotely sensed land surface temperature, and its relationship with physiographic variables in the Russian Altay Mountains // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013. V. 20. P. 4–9.
- 6. Kudryashova S.Ya., Ditts L.Yu., Chichulin A.Y., Chumbaev A.S., Miller G.F., Bezborodova A.N. Ecological-Geographical Aspects of Soil Complex Types Allocation at the Ukok Plateau Using Remote Sensing Studies // Contemporary Problems of Ecology. 2012. Vol. 5. P. 516–521.
- 7. Горный массив Монгун-Тайга. СПб.: Изд-во Арт-Экспресс, 2012. 310 с.
- 8. Кудряшова С.Я., Курбатская С.С., Миронычева-Токарева Н.П., Самдан А.М., Чумбаев А.С. Чичулин А.В., Курбатская С.Г., Миллер Г.Ф., Безбородова А.Н. Тундровостепные катены горного массива Монгун-Тайга: актуальные вопросы эколого-географического анализа // Материалы XII Убсунурского междунар. симп. (Улангом, 15–18 июля 2014). – Улангом, 2014. – С. 253–257.