631.4

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТЫ)

Апарин Б.Ф.[1,2], Сухачева Е.Ю.[*]
Пятина Е.В.[2], Кузьмина А.А.[**]

[*]Санкт-Петербургский государственный университет;
[**]Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева — филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный и институт имени В.В. Докучаева»

Аннотация. В статье рассматриваются почвенно-экологические индикаторы для оценки глобальных и региональных изменений климата. Подчеркивается центральная роль почв в мониторинге экосистем благодаря их буферности и способности сохранять следы долговременных воздействий. На основе многолетних данных с полигонов почвенно-экологического мониторинга в таежной, лесостепной и степной зонах России выявлена устойчивая тенденция к росту среднегодовой температуры. В качестве индикаторов климатических сдвигов предложены типоморфные, твердофазные и биогенные признаки почв, отклонения которых от нормы отражают изменения факторов почвообразования.

Ключевые слова: почва, изменение климата, почвенно-экологический мониторинг, почвенные индикаторы.

Средняя температура Земли в 2024 году впервые превысила доиндустриальный уровень на 1,55 °С, что вызвало рост общемировой озабоченности глобальным изменением климата и его последствиями. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования почвенных индикаторов. Почвы в системе долговременного мониторинга экосистем занимают центральное положение [1].

· В почвах замыкаются геохимические, энергетические и вещественные потоки в экосистемах.

· Почва – это «долгоживущая» компонента экосистем, своеобразная память ландшафта.

· Почвы – консервативные системы. Они, благодаря высокой буферности, функционально устойчивы к кратковременным антропогенным воздейст-виям и колебаниям климата. После прекращения антропогенного воздействия при постоянстве климатической нормы почвы могут возвращаться в исходное состояние, при этом восста-навливается биоценоз.

· Почвы – полифункциональные природные тела, обеспечивающие стабильное состояние экосистем и их биоразнообразие.

Влияние климатических изменений на процессы почвообразования было отмечено еще В.В. Докучаевым и отражено в законе всеобщей функциональной связи элементов в природе. При решении вопросов прогнозирования изменения функций почв, при разных сценариях климата данный закон можно представить в виде следующего выражения:

$$\Delta П = f(ММ, \Delta Кл, ЭС) \cdot \Delta T$$

где ΔП – изменение параметров и функций почвы; ММ – минеральная матрица почвы; ΔКл – изменение климата; ЭС – экосистема; ΔТ – прогнозируемый период времени.

Из формулы видно, что климат оказывает на почвенные параметры

как прямое, так и опосредованное действие. Непосредственное влияние климата на почвы проявляется в изменении элементов энергетического баланса почвообразования, водного и теплового режимов, а также векторов перемещения продуктов органо-минеральных взаимодействий. Устойчивое изменение климатических параметров влечет за собой преобразование растительного покрова и параметров биологического круговорота веществ в экосистеме. Это, в свою очередь, оказывает прямое воздействие на почвы и почвенный покров.

Процесс почвообразования представляет собой сложную иерархическую систему профиле- и горизонтообразующих, элементарных почвенных процессов, а также процессов индивидуальной природы (биологических, физических, химических и механических). Различия между разноуровневыми процессами реализуются в характерном времени проявления и в соответствующей форме организации органо-минерального вещества почвы (профиль, горизонт, морфоны и другие твердофазные признаки). Причем для каждого отдельного генетического типа почв на всем периоде развития от онтогенеза до климаксной стадии свойственна определенная климатическая норма почвообразования, которая характеризуется среднемноголетними значениями температуры и осадков, суммой положительных температур, периодом биологической активности и коэффициентом увлажнения [2].

При достижении климаксного состояния и установления устойчивого равновесия с естественными факторами почвообразования почва приобретает строго определённый комплекс типоморфных признаков, проявляющихся в морфогенетическом типе строения, органо-гумусовом, солевом, агрегатном и кальциевом, кислотно-щелочном профилях, а также в твердофазных новообразованиях. Отклонение свойств почв от типоморфных характеристик является следствием изменений естественных факторов почвообразования, в первую очередь, среднемноголетней суммы температур и осадков, что позволяет рассматривать эти отклонения как индикаторы изменений климата. Скорость ответной реакции на изменение климата у почвенных индикаторов различная и обусловлена характерным временем процессов их формирующих.

По некоторым данным [4] в результате климатических изменений в последние десять тысяч лет на территории России трижды происходило смещение природных зон на сотни километров на север и юг. Поэтому исследование почвенных индикаторов необходимо проводить в разных природных зонах на полигонах почвенно-экологического мониторинга (ППЭМ), а сами исследования должны носить долгосрочный характер. При этом, почвенные индикаторы должны отвечать следующим требованиям:

1) иметь хорошо диагностируемые количественные (качественные) критерии, соответствующие конкретным факторам и типам почвообразования;

2) известное «характерное время» формирования маркирующих признаков (индикаторов);

3) соответствие строго определенным почвенным процессам, вызывающим изменения в почве.

Такие исследования проводятся нами в трех природных зонах: таежной зоне, Ленинградская область – ППЭМ «Лисино» (дерново-подзолистые, торфянисто-подзолистые почвы и др.), лесостепной зоне, Воронежская область – ППЭМ «Каменная степь» (черноземы типичные), и степной зоне, Волгоградская область – ППЭМ «Белые пруды» (черноземы южные) и ППЭМ «Козловский» (черноземы обыкновенные).

В каждой зоне проанализированы

данные многолетней изменчивости среднегодовой температуры воздуха и среднегодовой суммы осадков за более чем 100-летний период, полученные на ближайших к полигонам метеостанциях (Рис. 1).

Климат – колебательная циклическая система, в которой многолетний ход осадков и температуры подвержены закономерным изменениям, определяемым солнечной радиацией и циркуляционными процессами в атмосфере. Кривые многолетней изменчивости климатических параметров могут быть разделены на серии, представляющие собой последовательности идущих подряд лет, значения которых отклоняются от средней многолетней величины в меньшую или большую сторону. Полученные серии могут быть объединены в циклы различной продолжительности.

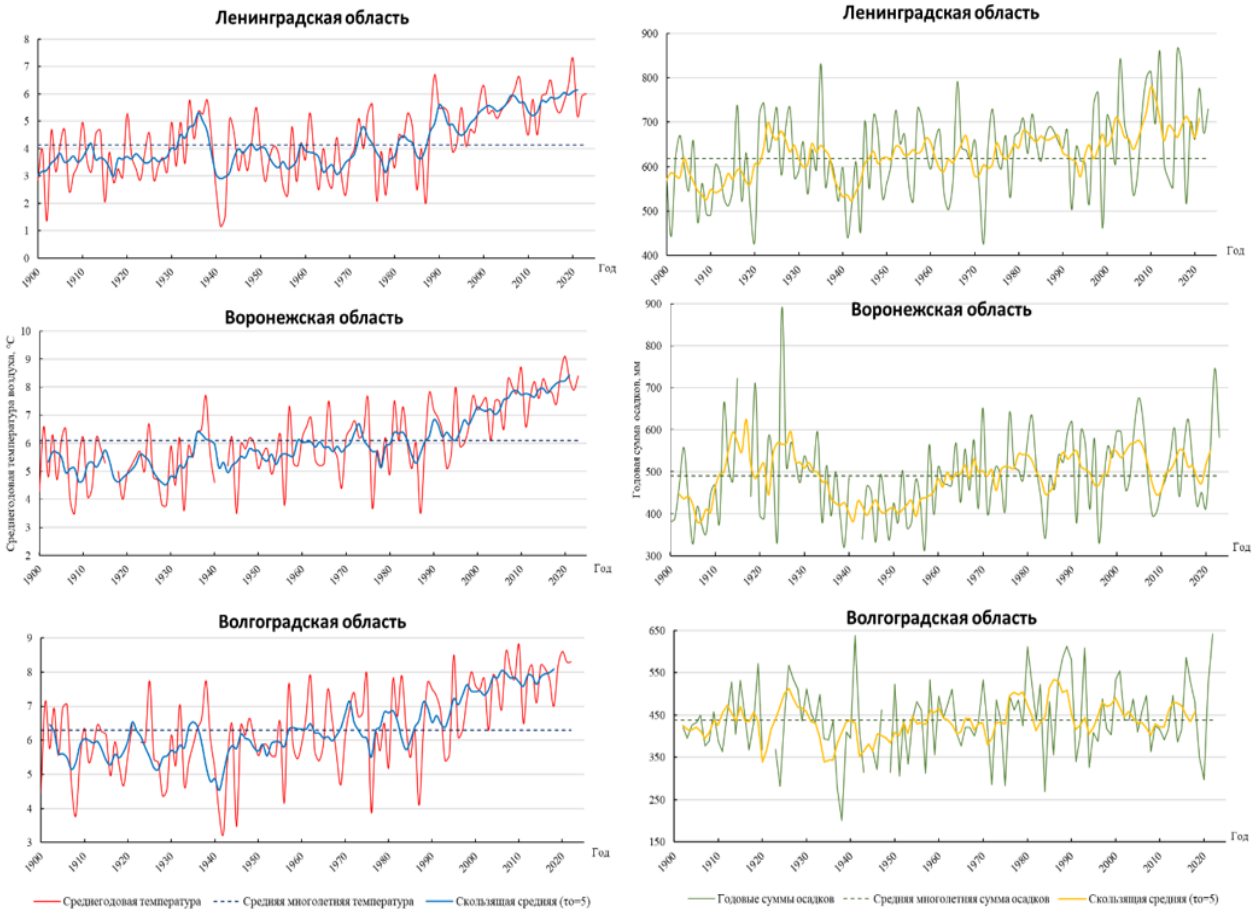


Рисунок 1. Многолетняя изменчивость температуры воздуха (слева) и годовой суммы осадков (справа) за период с 1900 г. по 2023 г. в различных природных зонах

Для многолетней изменчивости среднегодовой температуры воздуха для всех представленных природных зон характерно преобладание коротких серий, продолжительностью в среднем 1-4 года. Причем, теплые (с температурами выше многолетней средней) и холодные (с температурами ниже многолетней средней) серии в различных областях перекрываются. Отмечается еще одна общая тенденция – стойкое превышение многолетней среднегодовой температуры, начиная с 1998 года. Таким образом, можно сделать вывод о том, что тенденции многолетней изменчивости среднегодовых температур воздуха носят интразональный характер и имеет явный тренд к повышению.

Многолетняя изменчивость годовой суммы осадков также подвержена циклическим колебаниям (Рис.1), однако

четких закономерностей и общих трендов между различными природными зонами выявить не удалось.

Наличие закономерных циклических изменений метеоэлементов еще не означает, что происходит изменение траектории развития почвообразовательных процессов. На профилеобразующие процессы в первую очередь оказывает влияние однонаправленное устойчивое отклонение параметров от климатической нормы, которую получают осреднением климатологических данных, рассчитанных для последовательных 30-летних периодов, завершающихся годом, кончающимся нулем [3].

Сравнение климатических норм в ряду наблюдений с 1901 до 2020 гг. (Табл. 1) выявило тенденцию к увеличению климатической нормы среднегодовой температуры воздуха. Причем, увеличение климатической нормы за 30-летний период с 1991 по 2020 годы по сравнению с климатической нормой периода с 1901 по -1930 годы во всех природных зонах составило более 1,5 °С.

Таблица 1

Изменение климатической нормы среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков за период с 1900 г. по 2023 г. в различных природных зонах

Период, годы	Средняя многолетняя температуравоздуха, °С	Средняя многолетняя сумма осадков, мм
Таежная природная зона, ППЭМ «Лисино», Ленинградская область		
1901-1930	3,6	595
1931-1960	3,9	610
1961-1990	4,0	636
1991-2020	5,5	669
Лесостепная природная зона, ППЭМ «Каменная степь», Воронежская область		
1901-1930	5,2	496
1931-1960	5,6	436
1961-1990	6,0	507
1991-2020	7,3	508
Степная природная зона, ППЭМ «Белые пруды» и ППЭМ «Козловский», Волгоградская область		
1901-1930	5,8	439
1931-1960	5,7	407
1961-1990	6,4	457
1991-2020	7,5	438

В качестве индикаторов изменения климата использовали генетические типоморфные признаки почв, соответствующие климатической норме почвообразования, типу профилеобразующего процесса и типу экосистемы. Для мониторинга применялись 3 типа почвенных индикаторов: типоморфные, твердофазные и биогенные.

К типоморфным относятся морфогенетический профиль (морфологические параметры и твердофазные признаки), физические профили (плотность сложения, порозность, агрегатный и гранулометрический составы, гидрологический профиль), органо-гумусовый (гумусовый) профиль (Рис.2), химические профили (кислотно-щелочной, кальциевый, солевой, ППК, элементный состав).

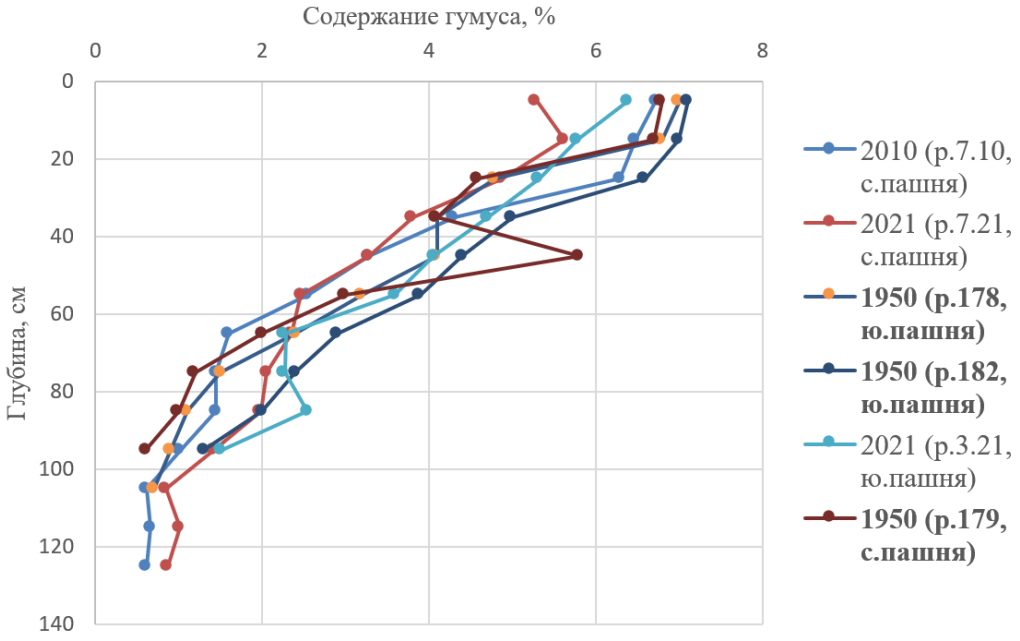


Рисунок 2. Динамика содержания гумуса в пахотных почвах ППЭМ «Козловский»

К биогенным относятся растительный покров, биологическое разнообразие и таксономический состав, структура сообществ макропедофауны, микробиологическая и трофическая активность почвенной биоты (рис.3).

Материалы средне- (70 лет) и долгосрочных (более 120 лет) исследований типоморфных характеристик почв на полигонах почвенно-экологического мониторинга, данные по фауне и флоре, а также многолетней изменчивости климатических параметров позволяют определить тренды долгосрочного изменения почв под влиянием изменения климата.

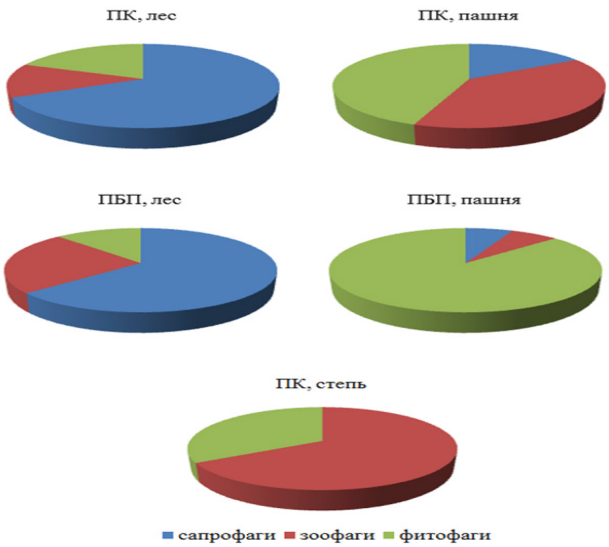


Рисунок 3. Трофическая структура макрофауны почв ППЭМ «Козловский» (ПК) и ППЭМ «Белые Пруды» (ПБП)

Список использованных литературы:

1. Апарин Б.Ф., Бабиков Б.В., Касаткина Г.А., Минагреева Е.В., Сухачева Е.Ю., Тетюхин С.В. Полигоны почвенно-экологического мониторинга лесных экосистем таежной зоны. СПб.:Лань. 2022 – 140 с.

2. Апарин Б.Ф. Эволюционные модели плодородия почв. – СПб.: Издательство СПбГУ, 1997. – 292 с.

3. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. – Всемирная метеорологическая организация. – №1203. – 2017. – С. 18-21.

4. Функционирование почв в меняющихся условиях окружающей среды / Терехова В.А., Шоба С.А. (отв. ред.) М.: ГЕОС, 2015. –164 с.