

Влияние современных климатических изменений на региональные агроэкосистемы Республики Мордовия

© 2021. Б. И. Кочуров¹, д. г. н., профессор, в. н. с.,
П. И. Меркулов², к. г. н., профессор,
С. В. Меркулова², к. г. н., доцент,
С. Е. Хлёвина³, к. г. н., начальник,

¹Институт географии РАН,

119017, Россия, г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29,

²Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева,
430005, Россия, г. Саранск, ул. Советская, д. 24,

³Мордовский республиканский центр по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды,
430027, Россия, г. Саранск, ул. Щорса, д. 39,

e-mail: camertonmagazin@mail.ru, pimerkulov@mail.ru, mordovgidromet@mail.ru

Рассмотрены основные тенденции современных изменений важнейших параметров биоклиматической системы Республики Мордовия. На основании пространственно-временного анализа взаимосвязи модификаций климатических составляющих сформулированы общие положения влияния происходящих изменений на региональные агроэкосистемы исследуемого региона. Урожайность сельскохозяйственных культур в большей степени коррелирует с экстремумами не отдельных климатических параметров, а таких интегральных показателей, как биоклиматический потенциал, модификации которого и отражают комплексное влияние изменений региональной климатической системы на продукционные возможности агроэкосистем.

Проведённые исследования выявили тенденцию к снижению биоклиматического потенциала на территории Мордовии на фоне увеличения суммы активных температур и увеличения продолжительности вегетационного периода, что связано со снижением годового количества осадков и, в целом, увлажнением территории. Расчёты индекса биологической эффективности климата показали значительную пространственную изменчивость, которая выражается в снижении индекса с северо-запада на юго-восток республики.

Ключевые слова: изменения климата, среднегодовая температура, среднегодовая сумма осадков, коэффициент увлажнения, коэффициент линейного тренда, первичная биопродуктивность ландшафтов.

Influence of modern climate changes on the regional agroecosystems of the Republic of Mordovia

© 2021. B. I. Kochurov¹ ORCID: 0000-0002-8351-3658, P. I. Merkulov² ORCID: 0000-0002-5622-5909,
S. V. Merkulova² ORCID: 0000-0002-3051-119X, S. E. Hljovina³ ORCID: 0000-0002-7217-0637

¹Institute of Geography of Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetnyy Pereulok, Moscow, Russia, 119017,

²N. P. Ogarev's Mordovian State University,
24, Sovetskaya St., Saransk, Russia, 430005,

³Mordovian Centre of Hydrometeorology and Monitoring Environment,
39, Shchorsa St., Saransk, Russia, 430027,

e-mail: camertonmagazin@mail.ru, pimerkulov@mail.ru, mordovgidromet@mail.ru

The article describes main trends of modern changes in the most important parameters of the ecological and climate system of the Republic of Mordovia. Based on the spatio-temporal analysis of the relationship between climate component modifications, the authors formulate general provisions with regard to the changes that are occurring on regional agroecosystems in the studied region. The yield of agricultural crops correlates more with integral indicators such as bioclimatic potential, the modifications of which reflect the complex influence of changes in the regional climate system on the production capacities of agroecosystems rather than the extremes of individual climate parameters.

The conducted research revealed a tendency to decreasing the bioclimatic potential on the territory of Mordovia against increasing in the sum of active temperatures and an increasing the duration of the vegetative period, which is associated with a decrease in the annual amount of precipitation and, in general, humidification of the territory, which are the main factors in the climate production conditions in Mordovia's current climatic conditions.

Calculations of the biological efficiency index of the climate showed a significant spatial variability, which is expressed in a decrease the index from the north-west to the south-east of the republic.

Nevertheless, for most farms in the administrative regions of the republic, you can state a high efficiency of using the ecological and bioclimatic potential of landscapes, which affects the volume of agricultural production.

Keywords: climate changes, average annual temperature, average annual sum of a precipitation, factor of moistening, factor of a linear trend, primary bioproductivity of landscapes.

Развитие аграрного производства находится в тесной взаимосвязи с функционированием природных компонентов вмещающего ландшафта. Среди прочих природных факторов возделываемой территории биоклимат в значительной степени определяет урожай сельскохозяйственных культур, средний уровень продуктивности, её межгодовую изменчивость, качество полученной продукции и т. д.

Определение уровня использования биоклиматического потенциала вмещающего природно-территориального комплекса позволяет оценить эффективность функционирования региональных сельскохозяйственных ландшафтов [1–5].

На фоне наблюдающихся в настоящее время модификаций характеристик тепло- и влагообеспеченности, традиционно экономически эффективные механизмы управления могут оказаться несостоятельными и потребовать дополнительных капиталовложений. Для объективных оценок степени использования биоклиматических ресурсов необходимо введение специальных поправочных коэффициентов, которые будут учитывать прецеденты и повторяемость проявления экстремальных значений элементов биоклиматического потенциала территории [6–9].

Исследование изменений климатических факторов, воздействующих на продуктивность агроэкосистем, особо актуально для Мордовии, как для сельскохозяйственного региона, где в последние десятилетия всё чаще наблюдается ранее небывалый пространственно-временной сценарий агрометеорологических условий, сигнализирующий о высокой степени уязвимости агроэкосистем, их сильной чувствительности к изменениям современного климатического режима.

В данном исследовании была проведена оценка эколого-биоклиматического потенциала агроландшафтов Республики Мордовия в условиях современных климатических изменений для оптимизации практики управления продуктивностью агроэкосистем региона.

Материалы и методы исследования

В целом климат Мордовии позволяет возделывать разнообразные зерновые, технические, овощные культуры, картофель, заниматься садоводством, развивать многоотраслевое животноводство.

На территории республики формируются относительно однородные агроклиматические условия, что определяет большое влияние на территориальную организацию отраслевого ведения сельского хозяйства такого компонента природной среды, как почвы.

В сходных условиях теплообеспеченности продуктивность растений определяется степенью влагообеспеченности, а в сходных условиях влагообеспеченности – общей теплообеспеченностью. Практически важно учитывать совместное влияние тепло- и влагообеспеченности на продуктивность растений. Такое влияние выражается посредством расчёта биоклиматический потенциал, характеризующего комплекс климатических факторов, определяющих возможности сельскохозяйственного производства. С ним связаны возможный набор сельскохозяйственных культур, биологическая продуктивность, эффективность затрат, территориальная специализация, зональные особенности агрономических мероприятий, меры по охране и улучшению окружающей среды [10, 11].

При оценке влияния изменений климата региона на продукционные возможности агроэкосистем нельзя оставить без внимания многолетний ход тренда биоклиматического потенциала, позволяющий установить модификации возможной биологической продуктивности [12, 13]. Информационной базой исследования послужили многолетние данные метеорологических параметров по территории Мордовии, собранные на метеостанциях Мордовского Гидрометцентра и обработанные традиционными математическими методами.

Для сравнительной оценки общей биологической продуктивности ландшафтов республики наи-

более приемлемым является климатический индекс биологической продуктивности (Бк), являющийся производным от БКП [14]:

$$БКП = K_p = \frac{\sum tak}{\sum tak(баз)},$$

где K_p – коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения; $\sum tak$ – сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации в данном месте; $\sum tak(баз)$ – базисная сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации, т. е. сумма, относительно которой проводится сравнительная оценка.

С учётом дифференциации изучаемой территории по природно-климатическим, рельефо- и почвообразующим, геохимическим показателям для каждого ландшафтного выдела был рассчитан интегральный показатель эколого-биоклиматической продуктивности ландшафтов по формуле:

$$C = 100 \cdot \sum \frac{C_g}{Q},$$

где C – продуктивность ландшафта (%), C_g – балл по каждому показателю, Q – максимально возможная сумма баллов, g – порядковый номер показателя, n – количество показателей [15].

Результаты и обсуждение

Анализ динамики БКП территории Мордовии позволяет фиксировать объективно существующие в последние десятилетия нисходящие тенденции этого показателя. То есть, повышение сумм активных температур и увеличение продолжительности вегетационного периода, наблюдающиеся в последнее десятилетие, не способны скомпенсировать уменьшение сумм осадков и в целом показателей увлажнения территории, которые в условиях наблюдающихся климатических изменений республики являются, по-видимому, первостепенными факторами, определяющими продукционные возможности климата.

Отмечено наличие ландшафтной дифференциации БКП территории республики: динамика анализируемого параметра для метеостанции «Саранск» обладает меньшей вариабельностью и скачкообразностью по сравнению с метеостанцией «Темников», что свидетельствует о большей стабильности БКП центральной Мордовии.

Однако стабильные по БКП в многолетнем плане агроэкосистемы центральной Мордовии сильнее реагируют на экстремально жаркие и сухие условия летнего периода, что доказано снижением показателя БКП этой части республики в 2010 г. до значений 0,9–1,0, соответствующих низкой биопродуктивности по шкале [14].

Урожайность сельскохозяйственных культур в большей степени коррелирует с экстремумами не отдельных климатических параметров, а таких интегральных показателей, как БКП, модификации которого и отражают комплексное влияние изменений региональной климатической системы на продукционные возможности агроэкосистем.

Повышающийся в последние десятилетия процент доли лет с пониженным БКП в центре исследуемой территории может повлечь за собой в отрасли растениеводства ряд негативных последствий, и, следовательно, должен быть предупреждён аграриями республики системой мероприятий, направленных на повышение устойчивости агроэкосистем к аномальным условиям летнего периода.

Высокую биологическую продуктивность при высоком значении БКП можно ожидать только в случаях максимально адаптированного к меняющемуся климату, эффективного в экологическом и экономическом аспектах использования имеющихся климатических ресурсов, что, в первую очередь, связано с высокой культурой земледелия.

В целях разработки балльной шкалы для оценки эколого-биоклиматического потенциала ландшафтов Мордовии необходим комплексный анализ каждой группы факторов с присвоением баллов, ранг которых соответствует интенсивности влияния фактора на биопродуктивные возможности ландшафта в целом.

По качественному показателю почвообразующих пород, от которых почва наследует гранулометрический, минералогический и химический составы, а также физические свойства, на территории Мордовии выделяются суглинистые, песчаные и щебенистые почвенные разности. Суглинистые почвы обладают большей поглотительной, буферной и водоподъёмной способностью по сравнению с песчаными и щебенистыми. Следовательно, почвы с лёгким механическим составом и повышенной щебнистостью обладают меньшим продуктивным потенциалом.

Рельеф возделываемых угодий формирует температурный и ветровой режимы, почвен-

ные и гидрологические условия. Экспозиция и крутизна склонов влияют на количество и распределение солнечной радиации. В условиях риска увеличения частоты проявления засух, склонам южной экспозиции в процессе балльной оценки факторов биопродуктивности ландшафтов вычитался один балл.

При анализе принадлежности исследуемой территории к геохимическим катенам минимальные значения БКП характерны для элювиальных (водораздельных) ландшафтов, куда поток вещества поступает лишь из атмосферы.

Существуют некоторые определённые условия, при которых ландшафт можно считать оптимальным для жизнедеятельности и здоровья населения. Прежде всего, это большая экологическая эффективность, зависящая от экологического потенциала ландшафта, учитывающего температуру, осадки, испаряемость, а, следовательно, и интенсивность биогеохимических процессов [16]. В качестве меры экологического потенциала рассматривались многие показатели. Было установлено, что наиболее подходящим считается индекс биологической эффективности климата (ИБЭЖ), предложенный [17]. Он синтезирует важнейшие климатические параметры: атмосферные осадки, температуру и относительную влажность воздуха, рассматриваемые в их годовом ходе, а также годовую теплообеспеченность. В целом ИБЭЖ хорошо выражает общий экологический фон и, по оценкам [17], зоне экологического оптимума соответствует показатель, равный 22.

Расчёты на основе усреднённых данных периода Всемирной метеорологической организации 1960–1990 гг. иллюстрируют широтную изменчивость ИБЭЖ, испаряемость увеличивается с севера на юг, а коэффициент увлажнения, напротив, уменьшается. Следует отметить, что в течение данного периода наблюдается значительное влияние западных воздушных масс на параметры ИБЭЖ, выражающееся в изменении показателя с северо-запада на юго-восток республики.

При расчёте почвенной составляющей БКП агроценозов республики учитывались показатели продуктивной (активной) влаги.

Чернозёмные почвы обладают большей влагоёмкостью, так как в них накапливается больше продуктивной влаги. У песчаных почв низкая влагоёмкость, в них содержится всего 42–48% влаги от годового количества осадков. Различная влагоёмкость почв обуславливает и значительное колебание продуктивной влаги по агроклиматическим районам.

Наибольшую площадь на исследуемой территории занимают дерново-подзолистые, серые лесные и чернозёмные почвы. Согласно методике агроэкологической оценки [15], на основе продуктивных особенностей (гумусированности, буферности к солям и щелочам, влагоёмкости) элементарных почвенных ареалов для территории Мордовии характерно пространственное распределение уровня продуктивности почвенного потенциала. При этом самый низкий балл присвоен бесструктурным пескам и подзолам, самый высокий – чернозёмам луговым и аллювиальным почвам.

Кроме того, в процессе комплексной оценки эколого-климатического потенциала ландшафтов Республики Мордовия было уделено внимание эрозии почв, как негативному лимитирующему фактору, последствием которого является снижение запасов органического вещества в почве, а также снижение общей устойчивости ландшафта. Активные эрозионные процессы наблюдаются преимущественно на востоке республики. Особенно слабоустойчивы к плоскостной эрозии дерново-подзолистые и серые лесные почвы. Снижение потенциальной продуктивности земель в результате эрозии почв также требует увеличения затрат при сельскохозяйственном производстве.

Для ландшафтов восточной части Мордовии в качестве лимитирующего фактора учитывалась экспозиция склона. В условиях выхода на поверхность меловых и палеоген-неогеновых пород в щебнистых почвах на южном склоне теряется почвенная влага и соответственно уменьшается биопродуктивность.

При относительной однородности агроклиматических условий территории Мордовии можно, тем не менее, утверждать, что чем выше эколого-биоклиматический потенциал отдельных ландшафтов, тем выше её естественные продуктивные возможности, её устойчивость к аномальным внешним условиям. Таким образом, можно констатировать, что и отдельные компоненты биопродуктивности будут существенно влиять на территориальную организацию отраслевого ведения сельского хозяйства республики.

Ранжирование выделенных показателей по степени их выраженности (интенсивности) позволило создать шкалу их балльной оценки (таб.).

В итоге, при подсчёте общей суммы баллов отдельный ландшафтный выдел получает максимум 14 баллов, минимум – 3 балла. С учётом дифференциации изучаемой террито-

Таблица / Table

Шкала балльной оценки основных ландшафтных показателей биологической продуктивности
Scale of a point assessment of the main landscape indicators of biological productivity

Показатель продуктивности Index of productivity	-1 балл -1 point	1 балл 1 point	2 балла 2 points	3 балла 3 points	4 балла 4 points
Индекс биологической эффективности климата Climate biological efficiency index	–	–	17–18 относительно благоприятные с заметным недостатком влаги relatively favorable with a noticeable lack of moisture	19–20 относительно благоприятные с пониженным увлажнением relatively favorable with reduced moisture	выше 20 благоприятные с достаточным увлажнением above 20-favorable with sufficient moisture
Геохимическое положение ландшафта Geochemical position of the landscape	–	элювиальное (водораздельные) eluvial (watershed)	трансаккумулятивное transalkylation	аккумулятивное accumulative	–
Механический состав почв Soil mechanical composition	–	щебенистый crushed	песчаный sandy	суглинистый loamy	–
Тип почв (гумусированность почв, %) Soil type (soil humus, %)	–	дерново-подзолистые, светло-серые лесные sodpodzolic, light gray forest (1–2)	серые лесные, тёмно-серые лесные gray forest, dark gray forest (3–4)	чернозёмы оподзоленные, чернозёмы выщелоченные ashed, leached chernozem (5–6)	чернозёмы карбонатные, чернозёмы луговые, аллювиальные carbonate chernozems, meadow chernozems, alluvial (> 6)
Лимитирующие факторы Limiting factor	эродированные земли eroded lands	–	–	–	–
	склоны южной экспозиции the southern slopes	–	–	–	–

Примечание: прочерк означает, что данный показатель не учитывается.
Note: a dash means that this indicator is not taken into account.

рии по биоклиматическим, рельефо- и почво-образующим, геохимическим показателям для каждого ландшафтного выдела были рассчитаны показатели эколого-биоклиматического потенциала ландшафтов Мордовии. Максимальные показатели (более 70%) характерны для западной Мордовии на водоразделе рек Мокши и Вада, северным районам центральной части республики, северо-восточным районам в бассейне Алатыря. Практически

вся остальная территория республики, за исключением юго-восточной части и отдельных участков на юге, имеет показатели эколого-биоклиматического потенциала в пределах 50–70%. В юго-западных районах и на юге в бассейне реки Мокши этот показатель варьирует от 30 до 50%. И только на незначительных по площади участках юго-восточной Мордовии значения эколого-биоклиматического потенциала менее 30%.

Заключение

Проведённые исследования выявили на территории Мордовии тенденцию понижения БКП на фоне повышения сумм активных температур и увеличения продолжительности вегетационного периода, что связано с уменьшением годового количества осадков и в целом показателей увлажнения территории, являющиеся в современных климатических условиях Мордовии основными факторами продукционных возможностей климата.

Расчёты индекса биологической эффективности климата показали значительную его пространственную изменчивость, которая выражается в уменьшении показателя с северо-запада на юго-восток республики.

Результаты анализа эколого-биоклиматического потенциала территории республики показали, что более 30% площади Мордовии имеет высокий потенциал биопродуктивности, около 50% – средний и порядка 20% – низкий потенциал. Тем не менее, для большинства хозяйств административных районов республики можно констатировать высокую эффективность использования эколого-биоклиматического потенциала ландшафтов, что сказывается на объёмах производства сельскохозяйственной продукции.

References

1. Snakin V.V., Hrisanov V.R. Bioproductivity as a factor of landscape sustainability // *Ispolzovanie i okhrana prirodnykh resursov v Rossii*. 2001. No. 10. P. 60–67 (in Russian).
2. Zoidze E.K. Evaluation of agro-climatic resources of potato productivity in the non-Chernozem zone of the European territory of the USSR // *Meteorologiya i gidrologiya*. 1973. No. 5. P. 84–92 (in Russian).
3. Tarariko Ju.A. Formation of sustainable agroecosystems: theory and practice. Kiev: Agrarnaya nauka, 2005. 508 p. (in Russian).
4. Mueller N.D. Closing yield gaps through nutrient and water management // *Nature*. 2012. V. 490. P. 254–257. doi: 10.1038/nature11420
5. Kleschenko A.D., Maracchi G., Perarnaund V. Applications of geographical information systems and remote

sensing in agrometeorology // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2000. No. 103. P. 119–136.

6. Kleschenko A.D., Zoidze E.K., Boken V.K. Monitoring agricultural drought in Russia // *Monitoring and Predicting Agricultural Drought*. Oxford: University Press, 2005. P. 196–208.

7. Boer G.J., Yu B. Climate sensitivity and climate state // *Climate Dynamics*. 2003. V. 21. P. 167–176. doi: 10.1007/s00382-003-0323-7

8. Govindasamy B., Thompson S., Duffy P.B., Caldeira K., Delire C. Impact of geoengineering schemes on the terrestrial biosphere // *Geoph. Res. Lett.* 2002. V. 29. No. 22. P. 2061–2064. doi: 10.1029/2002GL015911

9. Merkulova S.V., Merkulov P.I., Sergejcheva S.V. Dynamics of the climate regime and its regional aspects (on the example of the Republic of Mordovia) // *Regional effects of global climate change (causes, consequences, forecasts)*. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2012. P. 153–155 (in Russian).

10. Hljovina S.E. Dangerous hydrometeorological phenomena in the territory of Mordovia in the conditions of modern global warming // *Bulletin of the University of Mordovia*. 2005. No. 1–2. P. 136–138 (in Russian).

11. Merkulov P.I., Kochurov B.I., Merkulova S.V. Ecodiagnostics of ethno-natural processes in the European region of Russia. Moskva: INFRA-M, 2017. 201 p. (in Russian). doi: 10.12737/22015

12. Tooming H.G., Karing P.H. Agroclimatic conditions and productivity of agricultural crops. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1983. 105 p. (in Russian).

13. Global climate change and risk forecast in agriculture / Eds. A.L. Ivanov, V.I. Kiryushin. Moskva: Rossiyskaya akademiya selskokhozyaystvennykh nauk, 2009. 517 p. (in Russian).

14. Shashko D.I. Agro-climatic resources of the USSR. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1985. 247 p. (in Russian).

15. Agroecological assessment of lands, design adaptive-landscape systems of agriculture and agricultural technologies: Methodical manual / Eds. V.I. Kiryushin, A.L. Ivanov. Moskva: Rosinformagrotekh, 2005. 784 p. (in Russian).

16. Isachenko A.G. Introduction to environmental geography. Sankt-Peterburg: Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2003. 192 p. (in Russian).

17. Isachenko A.G. The intensity of functioning and productivity of geosystems // *News of the Russian Academy of Sciences. Series geographical*. 1990. No. 5. P. 5–17 (in Russian).