

УДК 581.526.53:574.45

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ДИНАМИКА ЦЕЛИННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В СЕВЕРНОМ ПРИКАСПИИ

М. К. Сапанов, М. Л. Сиземская

Институт лесоведения РАН

Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, Советская, 21

E-mail: sapanovm@mail.ru

Поступила в редакцию 04.01.15 г.

Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии. – Сапанов М. К., Сиземская М. Л. – В Северном Прикаспии за 60-летний период наблюдений (1952 – 2013 гг.) выявлен волнообразный тренд увеличения продуктивности фитомассы целинных пустынных, полупустынных и степных сообществ, развитых на почвах солонцового комплекса. Преимущественно он обусловлен зимним потеплением климата (изменившим механизмы перераспределения почвенной влаги) и улучшением гидротермических условий весенних месяцев (времени максимальной вегетации растений).

Ключевые слова: аридные территории, изменение климата, продуктивность растений.

Climate changes and the virgin vegetation dynamics in the Northern Caspian Lowland. – Saparov M. K. and Sizemskaya M. L. – A wavy trend of the increasing phytomass productivity of the desert, semidesert and steppe communities growing on the soils of the solonchic complex was discovered in the Northern Caspian region during the 60-year observation period (1952 – 2013). The trend is mostly caused by the winter season warming (which has changed the soil moisture redistribution mechanisms) and the improved hydrothermal conditions in the spring months (the intense plant growth period).

Key words: arid territories, climate changes, productivity of plants.

ВВЕДЕНИЕ

Современное глобальное потепление климата доказано многолетними метеорологическими наблюдениями, однако механизмы и степень его влияния на природные экосистемы изучены недостаточно. Проблема настолько серьезна, что ее обсуждают в ООН, создаются специализированные научные журналы, формируются научные проекты планетарного масштаба (Первое..., 2007; Барталев и др., 2008; Аненхонов, 2012).

Особенно актуально изучение степных территорий в связи с возможностью климатогенной аридизации (Титкова, 2003; Сотнева, 2004; Сиротенко, Абашина, 2008; Золотокрылин, Титкова, 2010; Тишков, 2011; Chen, Weber, 2014; Liu et al., 2014; Nan et al., 2015). К сожалению, большая часть научных публикаций имеет прогнозный характер, т.е. обсуждается ситуация будущей трансформации тех или иных экосистем при сохранении существующего тренда изменения климата (Логофет и др., 2005; Голубятников, Денисенко, 2007; Черенкова, Золотокрылин, 2012; Lewin, 1985; Zeppel et al., 2014). По-видимому, в значительной степени это связано с реальным отсутствием необратимых изменений в существующих любых

растительных экосистемах, а возникающие в них необъяснимые сукцессии, внедрение инородных видов и даже изменение границ ареала отдельных видов могут быть вызваны другими причинами, в том числе антропогенными. Например, в Северном Прикаспии существенное потепление за полувековой период в целинных пустынных сообществах вызвало всего лишь смену доминантных видов (Оловяникова, 2004; Новикова и др., 2004; Сапанов, Сиземская, 2010).

В предлагаемой работе более подробно рассматриваются особенности изменения погодно-климатических условий на этой территории с целью выявления факторов среды, контролирующих продуктивность целинных растительных сообществ, которые произрастают на почвах солонцового комплекса Северного Прикаспия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН, который был создан в 1950 г. в северной части Прикаспийском низменности в междуречье Волги и Урала.

Территория Джаныбекского стационара является достаточно репрезентативной для ландшафтов суббореальных полупустынь Северного Прикаспия на территории России и Казахстана. Согласно ботанико-географическому районированию европейской части СССР (Карта..., 1983), исследуемая территория относится к Ергенинско-Заволжской подпровинции Заволжско-Казахстанской провинции Евразийской степной области, к округу пустынных ромашниково- и белопольно-дерновинно-злаковых степей. В последнее время эту территорию относят к опустыненным степям (Сафронова, 2005).

Равнинность территории нарушена локальными блюдцеобразными мезо- и микропонижениями, которые обуславливают мелкоконтурность и комплексность почвенного и растительного покрова. На возвышенных участках располагаются солончаковые солонцы (занимают ~50% от всей площади), в локальных понижениях (западинах и падинах) развиты лугово-каштановые почвы (~25%), а склоны заняты светло-каштановыми почвами (~25%). Грунтовые воды застойные и имеют сопряженный с рельефом и типом почв характер засоления: под солонцами засолены до 10 – 12 г/л, светло-каштановыми почвами – до 5 – 7 г/л, под лугово-каштановыми почвами они опреснены (менее 1 г/л) и залегают в виде пресной линзы. Общее зеркало грунтовых вод флуктуирует на глубине 5 – 7 м, поднимаясь и опускаясь в соответствии с изменением общей увлажненности территории (Роде, Польский, 1961).

Объектами изучения являются растительные сообщества, произрастающие на этих типах почв, которые были достаточно подробно описаны во многих работах (Каменецкая, 1952; Ларин, 1954; Гордеева, 1959, 1962; Гордеева, Ларин, 1965; Новикова и др., 2004, 2010; Оловяникова, 2004; Сухоруков, 2005 и др.). Рассмотрим их в обобщенном виде.

Сообщества пустынного типа приурочены к солончаковым солонцам. Растительный покров представлен чернополынными и прутняково-чернополынными сообществами. В их состав, кроме эдификаторов полыни (*Artemisia pauciflora*¹) и

¹ Латинские названия даны по сводке С. К. Черепанова (1995).

прутьяка (*Kochia prostrata*), всегда входит мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), острец (*Leymus ramosus*) и эфемеры: рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius*), бурачок (*Alyssum desertorum*), перечник пронзеннолистный (*Lepidium perfoliatum*) и др. Всего в составе более 20 видов. Растительный покров разреженный. Проективное покрытие травостоя не превышает 20 – 45%, а его высота – 15 – 20 см. Продуктивность надземной фитомассы составляет в среднем 8.9 ц/га с колебаниями по годам от 3.9 до 15.5 ц/га.

Сообщества сухостепного (полупустынного типа) приурочены к солонцеватым светло-каштановым почвам. Видовой состав здесь несколько богаче, чем на солонцах, и насчитывает 25 – 30 видов. Здесь развиты в основном ромашниково-типчаковые сообщества, в которые входят ксерофильные злаки и разнотравье: типчак (*Festuca valesiaca*), житняк (*Agropyron pectinatum*), ромашник (*Tanacetum achilleifolium*), единично острец, прутняк, чёрная полынь, в большом количестве встречаются эфемероиды (мятлик луковичный) и эфемеры (бурачок, рогозавник) и др. Проективное покрытие – 45 – 70%, средняя высота травостоя – 12 – 16 см. Биологическая продуктивность надземной массы – 12.8 ц/га, с колебаниями по годам от 5.4 до 21.4 ц/га.

Сообщества степного типа приурочены к микропонижениям (западинам) с лугово-каштановыми почвами. Здесь растительность очень разнообразна, и в ней главную роль играют дерновинные злаки: ковыли Лессинга (*Stipa lessingiana*) и тырса (*Stipa capillata*), типчак, житняк.

Широко представлено разнотравье: люцерна степная (*Medicago romanica*), подмаренник русский (*Galium ruthenicum*), полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), лапчатка двувильчатая (*Potentilla bifurca*), шалфей остепненный (*Salvia tesquicola*), вероника колосистая (*Veronica spicata*) и другие степные виды. Проективное покрытие травостоя составляет 85 – 95%, а его средняя высота – 27 – 37 см. Степная растительность западин отличается наиболее высокой биологической продуктивностью и дает в среднем 29 ц/га с колебаниями по годам от 13.7 до 41.4 ц/га.

В пустынных, сухостепных (полупустынных) и степных сообществах с 1952 по 2013 г. определяли видовой состав и годовичную продукцию живой надземной фитомассы во время ее наибольшего сезонного накопления, так называемые «максимальные укосы» (Оловяннаякова, 2004; Сапанов, Сиземская, 2010). Определения проводили на 4 площадках размером 1×1 м методом сплошного укоса. Укосов не было в 1953 – 1954 гг., 1995 г., 1997 – 2001 гг. и 2003 г. (всего 9 лет). Погодные условия представлены преимущественно по данным метеостанции Казгидромета, которая расположена в 4 км от стационара. Вычислялся коэффициент увлажнения делением годовых сумм осадков на испаряемость. Этот коэффициент показывает степень возмещения осадками количества испаренной влаги (Реймерс, 1990). Данные анализировались с помощью статистических программ Excel, SPSS и STADIA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность травяных экосистем при отсутствии неожиданных и несвойственных для них абиотических воздействий всегда находится в динамически-равновесном состоянии, а все происходящие в сообществах изменения, в том чис-

ле сукцессии, носят обратимый характер (Реймерс, 1990). В этой связи представляется интересным оценить степень влияния существующего устойчивого потепления климата на аридные травянистые экосистемы Северного Прикаспия.

Необходимо отметить, что на Джаныбекском стационаре особенностям функционирования целинной растительности всегда уделялось много внимания. Изучали формирование годичной и сезонной продуктивности как отдельных видов, так и сообществ в целом, биологического разнообразия, строения корневых систем, а также влияние многих факторов природной среды, например, водно-солевого режима почв, погодно-климатических условий и др. (Каменецкая, 1952; Гордеева, 1957, 1962; Роде, 1959, 1963; Динесман, 1960; Левина, 1961, 1964, 1980; Гордеева, Ларин, 1965; Оловяннаякова, 1966, 1976, 1977, 2004; Абатуров, 1975; Гильманов, Ивашенко, 1990; Новикова и др., 2004, 2010; Сапанов, Сиземская, 2010; Абатуров, Нухимовская, 2013). Однако до сих пор нет однозначного мнения о сущности современных климатогенных трансформаций (обратимых, необратимых) этих растительных экосистем.

Изменение погодно-климатических условий

Динамику ежегодной продуктивности растительных сообществ изучали с учетом изменения природно-климатических условий в рамках общих прямолинейных трендов факторов среды, а также в течение гидрологического года и каждого месяца за 1952 – 2013 гг. Такой анализ может выявить природные факторы, определяющие ежегодный урожай травяных сообществ (Liu et al., 2014).

Климат района исследований резкоконтинентальный с амплитудой температур воздуха от -40°C (зима) до $+40^{\circ}\text{C}$ (лето) и засушливый, с преобладанием испаряемости над годовым количеством осадков более чем в три раза (1002 мм и 291 мм соответственно). Рассмотрим факторы погодных условий (1952 – 2013 гг.) в рамках гидрологического года в соответствии с сезонным развитием растительности, разделяя периоды на холодный осенне-зимний и теплый весенне-летний (октябрь – март и апрель – сентябрь соответственно).

Средняя температура воздуха за гидрологический год $+7.4^{\circ}\text{C}$ (с существенной амплитудой от $+10.3^{\circ}\text{C}$ до $+4.3^{\circ}\text{C}$), за осенне-зимний период -3.4°C (амплитуда от $+0.8^{\circ}\text{C}$ до -8.1°C), за весенне-летний $+18.2^{\circ}\text{C}$ (амплитуда от $+21^{\circ}\text{C}$ до $+16.1^{\circ}\text{C}$). Как видим, отмечается значительная вариабельность среднемесячных значений, однако общий прямолинейный тренд за весь период исследований указывает на существенное повышение температуры воздуха в основном в холодный период года (кроме декабря): в октябре, ноябре, январе – марте. Иными словами, осенне-зимний период стал теплее (рис. 1). Увеличение температуры в 1966 – 1995 гг. за зимне-весенний сезон на 1°C на территории Прикаспия и Тургая было отмечено Т. Б. Титковой (2003). Потепление зимы – весны она объясняет увеличением влияния Атлантики на термический режим данной территории, особенно в холодный период.

Аналогично были выявлены особенности динамики температуры воздуха в весенне-летние месяцы. В летний период отмечается заметное повышение температуры в апреле и сентябре, незначительное – в июле и августе и совсем не повы-

шается в мае и июле. Последнее замечание очень важно, так как именно в это время (май – июнь) формируется основная фитомасса растений.

Особенности трендов потепления климата наиболее наглядно видно при регрессионном анализе данных, аппроксимированных методом 5-летних скользящих. Линейная регрессия описывает 67% дисперсии ($R^2 = 0.67$) повышения температуры воздуха за гидрологический год, процентное уменьшение дисперсии за холодный и теплый период года (56 и 33% соответственно), очевидно, связано с увеличением амплитуды значений (рис. 2).

Из рисунка видно, что температура воздуха в весенне-летний период отличается существенным подъемом в последнее десятилетие, в осенне-зимний – постепенным увеличением амплитуды ее динамики. В целом с 1952 по 2013 г. среднегодовая температура воздуха повысилась на 2°C (0.033 град/г), за теплый период – на 1.1°C (0.018 град/г) и холодный период – на 2.8°C (0.046 град/г).

Среднее количество выпадающих осадков составляет 291 мм, из них на холодный период приходится 135 мм (с амплитудой 150 – 498 мм), на теплый – 156 мм (с амплитудой 44 – 354 мм). Во многие годы в некоторые месяцы осадков может не быть вовсе. В среднем за холодный период года количество ежегодных осадков остается неизменным в октябре, январе и феврале, отрицательный тренд отмечается в ноябре и декабре, а в марте, наоборот, положительный. За теплый период года количество осадков существенно повышается в апреле – июне, а уменьшается в июле и августе, в сентябре опять увеличивается. В целом за все время их количество за гидрологический год повысилось на 38 мм (0.63 мм/г), главным образом за счет выпадения их в весенне-летние месяцы, в том числе апреле – июне. Такое количество осадков соизмеримо со среднемесячными нормами. В теплый период года ежемесячно выпадает 26 мм (амплитуда 0 – 122 мм), при средней испаряемости 167 мм/мес. (амплитуда 78 – 232 мм). Как видим, уровень засушливости территории все равно остается высоким.

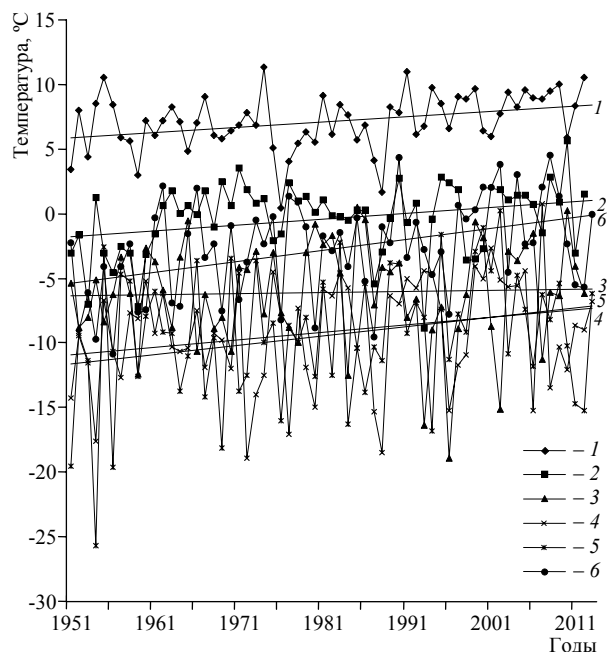


Рис.1. Динамика температуры воздуха за холодный период года и ее линейные тренды: 1 – 6 – октябрь – март соответственно

Из рис. 3 видно, что существенное увеличение осадков произошло в определенный период (1978 – 1995 гг.), которое, по-видимому, и обеспечило значительное повышение общего увлажнения территории, а также подъем уровня грунтовых вод к дневной поверхности в это время.

Динамика продуктивности целинных сообществ

Проведенный анализ изменения погодно-климатических условий показал недостаточность общего увлажнения территории, засушливость вегетационного сезона, большую вариабельностью основных факторов погодных условий на фоне постепенного потепления климата и повышения количества осадков.

Известно, что травяные растения аридных территорий максимально адаптированы к продолжительным сезонным атмосферным и почвенным засухам, более того, при наступлении благоприятных погодных условий могут продолжить вегетацию (Гордеева, 1957, 1959, 1962; Оловяннаякова, 1977; Левина, 1980).

Отметим, что в наших условиях за более чем полувековой период наблюдений не было отмечено проникновения чужеродных видов в рассматриваемые целинные сообщества: здесь сукцессионный процесс происходит в рамках инвариантности биологического разнообразия. Например, на солончаковых солонцах в последние десятилетия произошла смена доминантных видов (чёрной полыни на прутняк). Однако тип растительных сообществ (пустынный) остался прежним

(Сапанов, Сиземская, 2010). Поэтому в настоящей работе не рассматриваются механизмы смены одних видов на другие, а анализируется динамика общей максимальной продукции фитомассы в зависимости от изменения погодно-климатических показателей.

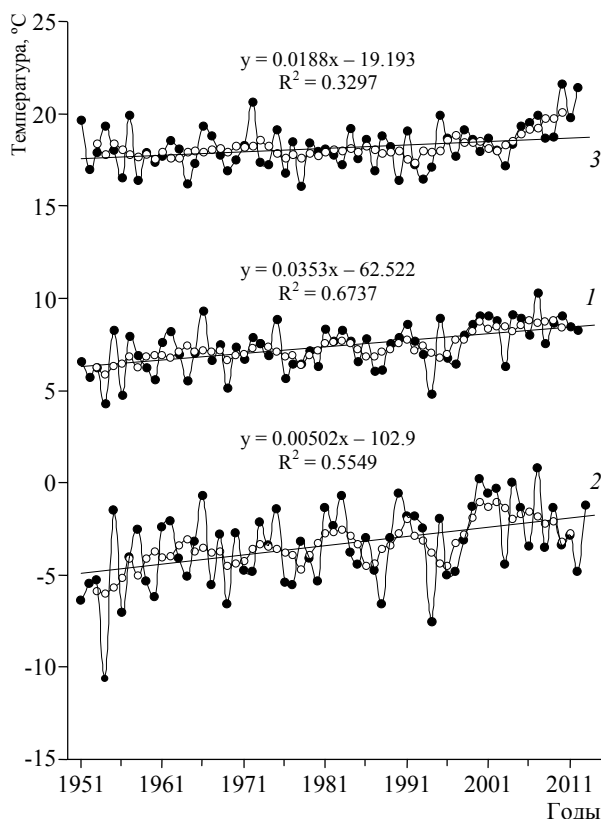


Рис. 2. Динамика температуры воздуха (●), ее 5-летние скользящие (○) и линейные (с уравнениями) тренды: годовых значений (1), за холодное (2) и теплые (3) полугодия

Динамика фитомассы степных сообществ на лугово-каштановых почвах понижений рельефа (западинах) находится в существенной зависимости от изменений среды их произрастания. Корреляционный анализ выявил достоверную зависимость продуктивности трав (значимые $r \geq 0.27$, при $P \geq 0.95$) от осадков за декабрь ($r = 0.28$) и январь (0.28), а также от относительной влажности воздуха за май ($r = 0.51$) и июнь ($r = 0.43$) и от испаряемости за те же месяцы (-0.46 и -0.41 соответственно). Прослеживается достоверная зависимость продуктивности трав от объединенных показателей: осадков за гидрологический год ($r = 0.40$) и осенне-зимний период ($r = 0.31$), температурного режима, относительной влажности воздуха и испаряемости за весенне-летний период ($r = -0.35$, $r = -0.46$, $r = -0.46$ соответственно). Обнаружена связь продуктивности также с уровнем грунтовых вод ($r = -0.27$) и коэффициентом увлажнения за гидрологический год ($r = 0.40$). Увеличение продуктивности надземной массы травянистых растений на лугово-каштановых почвах целины с 24 ц/га в начале 60-х гг. XX в. до 33 ц/га в конце 90-х гг. (Оловянникова, 2004) отмечается для злаковых сообществ и других аридных регионов (Опарин, 2007). Наши данные за период 2004 – 2013 гг. (Сапанов, Сиземская, 2010; Сиземская, 2013) свидетельствуют о сохранении этой тенденции: средняя продуктивность разнотравно-злаковой ассоциации на лугово-каштановых почвах западин в эти годы составляла около 31 ц/га.

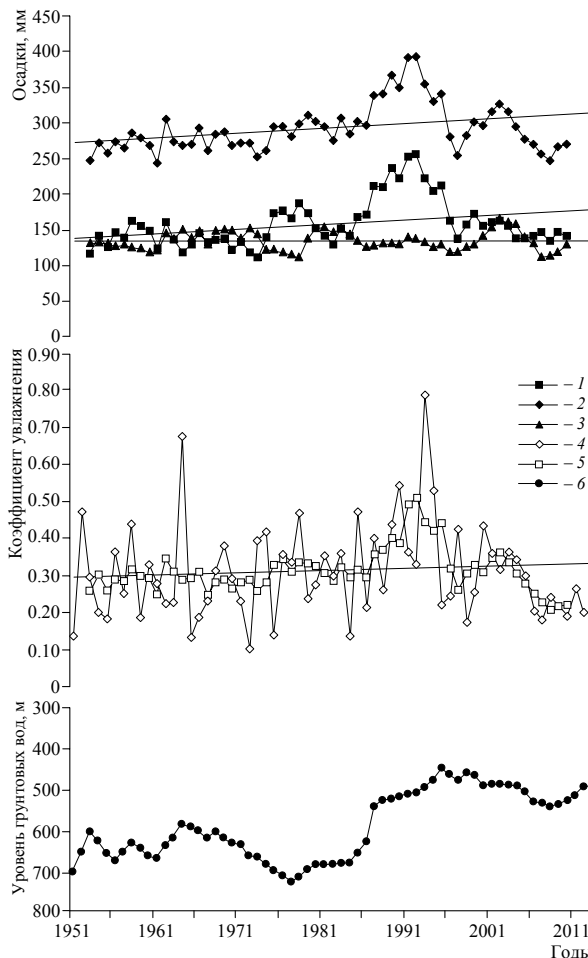


Рис. 3. Динамика показателей природно-климатических условий: количества осадков (выровненных методом 5-летних скользящих) за гидрологический год, теплое и холодное полугодия и их линейные тренды (1 – 3 соответственно); коэффициента увлажнения (4), его пятилетних скользящих значений и линейный тренд (5); уровня грунтовых вод (6)

В структуре продуктивности на фоне некоторого падения доли злаков в последнее десятилетие прослеживается тенденция увеличения относительной доли разнотравья и люцерны румынской с глубокой корневой системой, достигающей глубины 3.5 м.

Выявленные зависимости фитомассы от количества осадков (положительная) и температурного режима воздуха, испаряемости и уровня залегания пресных грунтовых вод (отрицательная) биологически вполне объяснимы. Наилучшие условия для развития растений складываются при увеличении десуктивной почвенной влаги и улучшении гидротермических условий периода вегетации за счет увеличения количества осадков и относительной влажности воздуха, а также понижения температуры воздуха, и наоборот.

Для составления линейной регрессии были выбраны не влияющие друг на друга факторы: уровень пресных грунтовых вод (определяет их доступность корневым системам растений), сумма осадков за декабрь и январь (определяет влагозарядку почв) и сумма испаряемой влаги за май и июнь (определяет условия вегетации):

$$Y = 47.344 - 0.019 a + 0.125 b - 0.034 c,$$

где Y – продуктивность сообществ; a – уровень залегания грунтовых вод; b – сумма количества осадков за декабрь – январь, мм; c – испаряемость за май – июнь, мм.

Полученное уравнение статистически значимо ($F_{\text{факт}} < F_{\text{ст}}$). Совокупный коэффициент детерминации ($R^2 = 0.43$) описывает 43% дисперсии, при этом на уровень грунтовых вод приходится 7%, зимние осадки – 14% и весеннюю испаряемость – 22%. Небольшой совокупный коэффициент детерминации, очевидно, обусловлен значительной амплитудой динамики продуктивности в годы наилучшего и наихудшего развития растительных сообществ (рис. 4). Поэтому было составлено новое уравнение с аппроксимированием данных методом 5-летних скользящих:

$$Y = 41.989 - 0.017 a + 0.238 b - 0.037 c.$$

При таком анализе совокупный коэффициент детерминации существенно улучшается ($R^2 = 0.82$), при этом на уровень грунтовых вод приходится уже 13%, зимние осадки – 37% и весеннюю испаряемость – 32%.

Это уравнение позволило обоснованно подойти к вычислению возможной продуктивности степного сообщества за весь период исследований (1952 – 2013 гг.), в том числе в неохваченные исследованием промежуточные годы (см. рис. 4).

Полученные данные выявили волнообразный характер ее динамики с общим прямолинейным повышающимся трендом (см. рис. 4). Сравнение вычисленных значений продуктивности сообщества с не используемым в модели коэффициентом увлажнения показало очень тесную связь ($r = 0.61$, $P > 0.99$). Это доказывает, что предлагаемое уравнение является вполне рабочим и адекватным. Поэтому с большой долей вероятности можно утверждать, что волнообразная динамика биомассы степных растений на лугово-каштановых почвах в значительной степени обусловлена количеством зимних осадков и гидротермическими условиями времени максимальной вегетации растений, а также изменением уровня залегания грунтовых вод.

Динамика фитомассы полупустынных сообществ на светло-каштановых почвах склонов микрорельефа, проанализированная теми же статистическими методами, выявила ее достоверную зависимость (при $P \geq 0.90$, значимый $r \geq 0.23$) от осадков за октябрь ($r = -0.30$), а также от осадков за апрель, май, июнь ($r = 0.24$, 0.34 , 0.23 соответственно), их совместное воздействие еще сильнее ($r = 0.40$): осадков за гидрологический год ($r = 0.31$) и весенне-летний период ($r = 0.32$).

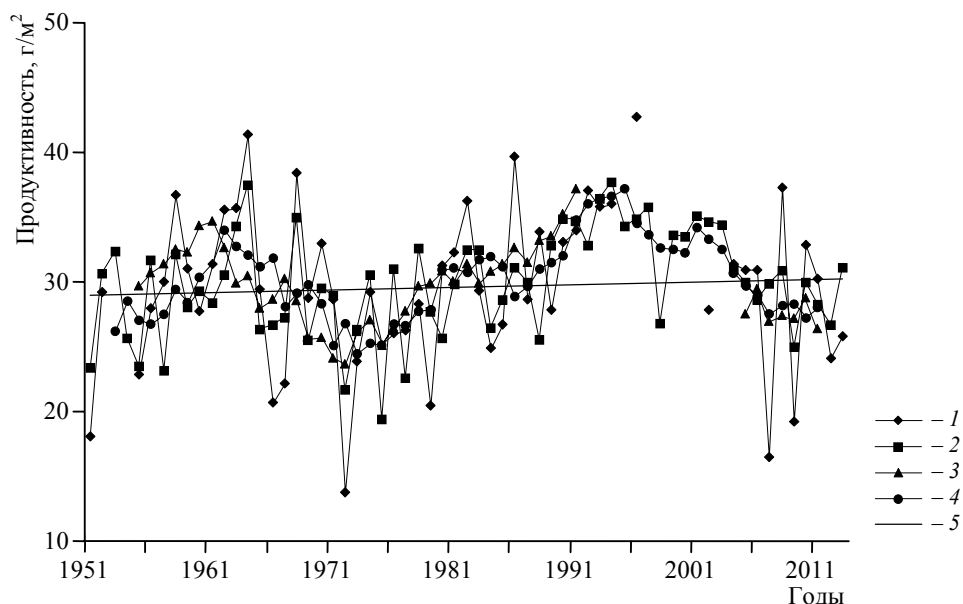


Рис. 4. Динамика продуктивности степных сообществ: истинные (1) и вычисленные по ним значения (2), истинные и вычисленные значения, сглаженные 5-летними скользящими (3, 4 соответственно), линейный тренд (5)

Заметно отрицательное влияние на продуктивность сообщества температурного режима воздуха за апрель ($r = -0.22$) и май ($r = -0.31$) и за весь теплый период года ($r = -0.32$). Выявлено положительное влияние в апреле и мае относительной влажности воздуха ($r = 0.25$, $r = 0.44$ соответственно) и отрицательное — испаряемости ($r = -0.28$, $r = -0.43$), что указывает на негативное влияние сухости воздуха в начале вегетации растений. Также достоверно значимо воздействие на ежегодный урожай коэффициентом увлажнения за гидрологический год ($r = 0.32$).

Как видим, здесь отсутствует воздействие грунтовых вод (очевидно, вследствие слабого их использования всеми видами растений), а также отрицательное влияние осадков за октябрь, по-видимому, вызывающее нежелательное увеличение периода отавы в предыдущем году.

Были составлены уравнения регрессии с использованием данных количества осадков за октябрь, сумм осадков за апрель — июнь и испаряемости за апрель —

май. Уравнение оказалось статистически значимо ($F_{\text{факт}} < F_{\text{ст}}$, $R^2 = 0.33$), при этом на осадки октября приходится 9% дисперсии, на осадки апреля – июня – 7% и испаряемость – 17%. Низкий коэффициент детерминации, очевидно, обязан также высокой амплитуде значений фитомассы в наилучшие и наихудшие годы развития, а также отсутствию положительного тренда продуктивности во времени. Выравнивание значений 5-летними скользящими существенно улучшает новое уравнение регрессии ($R^2 = 0.56$) и позволяет составить полную картину динамики продуктивности за все исследуемые годы (рис. 5).

Динамика фитомассы пустынных сообществ на солончаковых солонцах вышесказанных участков микрорельефа, также проанализированная теми же статистическими методами, достоверно зависит (при $P \geq 0.90$, значимый $r \geq 0.23$) от уровня грунтовых вод ($r = -0.33$), осадков октября ($r = -0.27$), относительной влажности воздуха и испаряемости за май ($r = 0.27$, $r = -0.27$ соответственно).

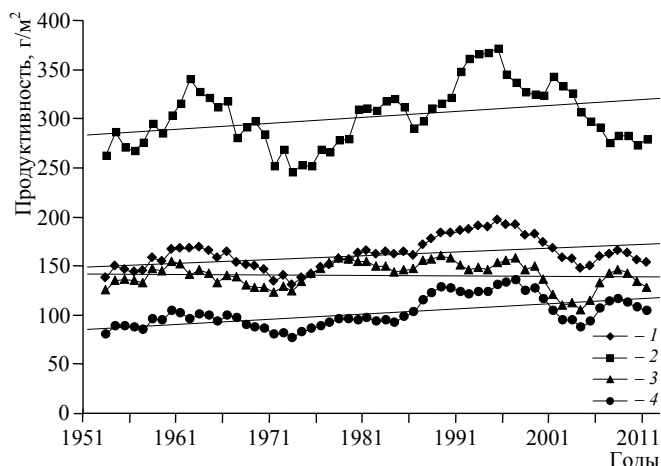


Рис. 5. Динамика продуктивности сообществ, вычисленная по линейным уравнениям с применением аппроксимации данных методом 5-летних скользящих и их тренды: общая урожайность территории (1), степных (2), сухостепных (3) и пустынных (4) сообществ

фитомассы с доступностью этой влаги (Сапанов, Сиземская, 2010).

Уравнение линейной регрессии, составленное по данным уровня грунтовых вод, осадков за октябрь и испаряемости за май, показало его значимость ($F_{\text{факт}} < F_{\text{ст}}$, при $R^2 = 0.25$). Как видим, эти показатели контролируют лишь 25% дисперсии фитомассы, причем на уровень грунтовых вод приходится 11% дисперсии, осадки октября – 8% и испаряемость мая – 6%. При выравнивании данных 5-летними скользящими средними общий коэффициент детерминации повышается до вполне приемлемого уровня ($R^2 = 0.58$). Проведенные исследования также позволяют выявить общий волнообразный характер динамики продуктивности за весь период исследований (см. рис. 5).

Полученные зависимости мало отличаются от выявленных ранее достоверных связей, характерных для полупустынных сообществ, кроме влияния на фитомассу уровня грунтовых вод. По-видимому, это может быть вызвано тем, что доминантные виды пустынного сообщества (полынь и прутняк) сменяют друг друга по мере возможности использования этих засоленных грунтовых вод прутняком, тем самым увеличивая связь общей

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ДИНАМИКА ЦЕЛИННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Динамику продуктивности всего растительного покрова на почвах солонцового комплекса рассмотрим с учетом процентного содержания в нем пустынных, сухостепных и степных сообществ (~25, ~25 и ~50% соответственно).

Динамические характеристики совокупного урожая на всей территории наиболее наглядно видны при использовании данных, опять же выровненных методом 5-летних скользящих. Ожидаемо проявляется такой же волнообразный характер ее динамики, как и у всех типов растительных сообществ в отдельности (см. рис. 5).

При этом сопряженность ежегодных показателей продуктивности в рассматриваемых сообществах достаточно высока (таблица). Такая сопряженность указывает, на наш взгляд, на некую их обособленность друг

Корреляционная решетка взаимосвязей продуктивности растительных сообществ на почвах солонцового комплекса ($r = 0.31$ при $P = 0.95$)

Сообщества	Пустынные	Сухостепные	Степные
Сухостепные	0.51		
Степные	0.36	0.42	
Всей территории	0.82	0.75	0.78

от друга, в которой меж- и внутривидовые конкурентные взаимоотношения возникают внутри ассоциаций, и, опять же, на их зависимость от одних и тех же лимитирующих абиотических факторов среды.

При сравнении вычисленных значений общей урожайности территории с коэффициентом увлажнения, который не участвовал в модели, отмечается сильная достоверная связь ($r = 0.59$, $P > 0.99$), указывающая на обособанность применяемых нами статистических методов анализа биологических процессов.

Прямолинейный тренд общей продуктивности территории, являющийся интегральным показателем ее производительности во времени, выявляет постепенное увеличение фитомассы за счет пустынных и степных сообществ, впрочем, не переходящий на новый качественный уровень по их видовому разнообразию (без изменения типов сукцессий и/или внедрения чужеродных видов).

Как видим, вызывающий беспокойство тренд потепления аридного климата в среднем на 2°C представляет собой лишь общую картину ее динамики и не должен служить индикатором ухудшения условий обитания растений. Например, в наших условиях основное потепление происходило в осенне-зимние месяцы и могло оказывать на растения лишь опосредованное влияние, изменяя механизмы весенней влагообеспеченности растительных сообществ (Сапанов, 2010). Также важно то, что потепление мало коснулось времени интенсивной вегетации растений (весенних месяцев), более того, в этот период увеличилось количество осадков. При ином сценарии изменения погодно-климатических условий, например, потеплении весенних месяцев на те же 2°C без увеличения количества осадков, территория, очевидно, могла пойти по пути еще большей аридизации и опустынивания (Сапанов, Сиземская, 2010; Li, Yang, 2014).

Как видим, для получения достоверных аналитических сведений о климатогенном влиянии на функционирование растительного покрова необходимо изучать динамику факторов природной среды не только в виде общих трендов, а также учитывать их годовой цикл и помесечное распределение норм. Именно тогда будут получены достоверные сведения и изменены представления о воздействии глобального потепления климата на те или иные растительные экосистемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен сопряженный анализ погоднo-климатических условий и продуктивности целинной растительности (пустынных, полупустынных и степных сообществ), произрастающих на почвах трехчленного солонцового комплекса равнинной территории Северного Прикаспия, за 1952 – 2013 гг.

За рассматриваемый период наблюдается потепление аридного климата (в среднем на 2°C), которое, вопреки негативным ожиданиям, не ухудшило урожайность целинного травостоя и не вызвало появление чужеродных видов. По-видимому, это связано с тем, что потепление происходило в основном в осенне-зимний период и не оказывало прямого воздействия на вегетацию растений. Более того, отмечен тренд увеличения продуктивности фитомассы растительных сообществ, который, очевидно, больше всего обязан повышению увлажненности территории в весенний период, особенно в 1978 – 1995 гг.

Во всех сообществах выявлена достоверная (отрицательная или положительная) корреляционная зависимость ежегодного урожая от показателей природных условий: количества осадков за некоторые месяцы холодного полугодия года (определяющих весеннюю влагозарядку почв) и гидротермических показателей весенних месяцев (обеспечивающих интенсивность ростовых процессов растений), а также уровня грунтовых вод (регулирующих доступность этой влаги растениями).

Выявлены волнообразные сопряженные тренды динамики урожайности растительного покрова во всех сообществах, что указывает на их устойчивое динамически-равновесное состояние, а некоторое повышение их продуктивности во времени, по-видимому, имеет обратимый характер.

Авторы благодарят кандидата биологических наук А. В. Колесникова за помощь в организации полевых работ и сборе материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-04-00469), Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России» и Министерства образования и науки Республики Казахстан (проект № 4037/ГФ4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатуров Б. Д., Нухимовская Ю. Д. Опыт количественной оценки продукции надземной фитомассы и ее составляющих на степном пастбище // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19, № 4. С. 14 – 22.

Абатуров Б. Д. О механизмах естественной регуляции взаимоотношений растительных млекопитающих и растительности // Зоол. журн. 1975. Т. 54, вып. 5. С. 741 – 751.

Аненхонов О. А. Изучение климатогенной динамики растительного покрова: предпосылки, подходы, перспективы // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2012. Т. 5, №3. С. 3 – 7.

Барталев С. А., Жижин М. Н., Лупян Е. А., Матвеев М. Ю., Матвеев А. М., Медведева М. А., Савин И. Ю., Толпин В. А. Возможности исследований влияния изменений климата на состояние растительного покрова : концепция проекта CLIVT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5, № 2. С. 272 – 278.

Гильманов Т. Г., Иващенко А. И. Первичная продуктивность экосистем солонцового комплекса глинистой полупустыни Северного Прикаспия // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1990. № 4. С. 600 – 611.

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ДИНАМИКА ЦЕЛИННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Голубятников Л. Л., Денисенко Е. А. Модельные оценки влияния изменений климата на ареалы зональной растительности равнинных территорий России // Изв. РАН. Сер. биол. 2007. № 2. С. 212 – 228.

Гордеева Т. К. К биологии полыни черной // Тр. Бот. ин-та АН СССР. Сер. III. 1957. Вып. 11. С. 88 – 117.

Гордеева Т. К. Динамика естественной растительности в полупустыне (на примере Джаныбекского стационара) // Бот. журн. 1959. Т. 44, № 9. С. 1238 – 1248.

Гордеева Т. К. О динамике почвенно-растительных комплексов Прикаспия // Проблемы ботаники. 1962. Т. 6. С. 354 – 363.

Гордеева Т. К., Ларин И. В. Естественная растительность полупустыни Прикаспия как кормовая база животноводства. М. : Наука, 1965. 160 с.

Динесман Л. Г. Изменение природы северо-запада Прикаспийской низменности. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1960. 159 с.

Золотокрылин А. Н., Титкова Т. Б. Климатообусловленная динамика лесостепной, степной и полупустынной растительности России и Казахстана // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 2. С. 40 – 48.

Каменеца И. В. Естественная растительность Джаныбекского стационара // Тр. Комплексной научной экспедиции по вопросам полезного лесоразведения. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1952. Т. 2. С. 101 – 162.

Карта почвенно-географического районирования СССР. Масштаб 1:8000000. М. : ГУГК, 1983.

Ларин И. В. Основные закономерности распределения растительности и геоботаническое районирование Северного Прикаспия // Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1954. С. 191 – 209.

Левина Ф. Я. О механизме смен (сукцессий) в комплексном растительном покрове Северо-Прикаспийской полупустыни // Бот. журн. 1961. № 9. С. 1246 – 1254.

Левина Ф. Я. Растительность полупустыни Северного Прикаспия и ее кормовое значение. М. : Наука, 1964. 336 с.

Левина Ф. Я. Состояние растительности междуречья Волга-Урал в Северном Прикаспии в сильно засушливом 1972 году // Бот. журн. 1980. Т. 65, № 7. С. 1001 – 1009.

Логофет Д. О., Денисенко Е. А., Голубятников Л. Л. Сукцессии в лесостепи в условиях изменения климата: модельный подход // Журн. общ. биологии. 2005. Т. 66, № 2. С. 136 – 145.

Новикова Н. М., Волкова Н. А., Хитров Н. Б. Растительность солонцового комплекса заповедного степного участка в Северном Прикаспии // Аридные экосистемы. 2004. Т. 10, № 22 – 23. С. 9 – 18.

Новикова Н. М., Вышивкин А. А., Шадрин М. Б., Бухарева О. А. Изменения растительности солонцового комплекса Джаныбекского стационара и его окрестностей при разной интенсивности выпаса // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16, № 5. С. 98 – 110.

Оловяникова И. Н. Водный режим растительности солонцового комплекса Прикаспия и условия лесоразведения // Искусственные насаждения и их водный режим в зоне каштановых почв. М. : Наука, 1966. С. 186 – 308.

Оловяникова И. Н. Влияние лесных колков на солончаковые солонцы. М. : Наука, 1976. 127 с.

Оловяникова И. Н. Влияние засухи 1972 года на растительность солонцового комплекса Северного Прикаспия // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1977. Т. 82, вып. 6. С. 62 – 73.

Оловяникова И. Н. Динамика продуктивности растительного покрова в Заволжской глинистой полупустыне // Бот. журн. 2004. Т. 89. С. 1122 – 1137.

Опарин М. Л. Антропогенная трансформация и естественное восстановление биоты сельскохозяйственных ландшафтов Нижнего Поволжья и Закавказья : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007. 46 с.

Первое в истории заседание СБ ООН по климату свелось к взаимным претензиям // NEWSru.com [Электрон. ресурс]. М., 2007. URL: <http://www.newsru.com/world/18apr2007/climate.html> (дата обращения: 25.11.2014).

Реймерс Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник. М. : Мысль, 1990. 637 с.

Роде А. А. Водный режим и баланс целинных почв полупустынного комплекса // Водный режим почв полупустыни. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1963. С. 5 – 82.

Роде А. А. Климатические условия района Джаныбекского стационара // Сообщ. Лаборатории лесоведения. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1959. Вып. 1. С. 3 – 40.

Роде А. А., Польский М. Н. Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 1961. Т. 56. С. 3 – 214.

Сапанов М. К. Влияние изменения климата на обводненность Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16, № 5. С. 25 – 30.

Сапанов М. К., Сиземская М. Л. Климатогенные изменения травянистой растительности на солончаковых солонцах Северного Прикаспия // Поволж. экол. журн. 2010. № 2. С. 185 – 194.

Сафронова И. Н. Об опустыненных степях Нижнего Поволжья // Поволж. экол. журн. 2005. № 3. С. 261 – 267.

Сиземская М. Л. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2013. 276 с.

Сиротенко О. Д., Абашина Е. В. Современные климатические изменения продуктивности биосферы России и сопредельных стран // Метеорология и гидрология. 2008. № 4. С. 101 – 107.

Сотнева Н. И. Динамика климатических условий второй половины XX века района Джаныбекского стационара Северного Прикаспия // Изв. РАН. Сер. геогр. 2004. № 5. С. 74 – 83.

Сухоруков А. П. Конспект видов сосудистых растений Джаныбекского биологического стационара и его окрестностей. М. : МАКС Пресс, 2005. 34 с.

Титкова Т. Б. Изменение климата полупустынь Прикаспия и Тургая в XX в. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2003. № 1. С. 106 – 112.

Тишков А. А. Биогеографические последствия природных и антропогенных изменений климата // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131, № 4. С. 356 – 366.

Черенкова Е. А., Золотокрылин А. Н. Модельные оценки динамики увлажнения равнин России к середине XXI в. // Метеорология и гидрология. 2012. № 11. С. 29 – 37.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб. : Мир и семья-95, 1995. 990 с.

Chen F., Weber K. Assessing the impact of seasonal precipitation and temperature on vegetation in a grass-dominated rangeland // Rangeland J. 2014. Vol. 36, iss. 2. P. 185 – 190.

Han F., Zhang Q., Buyantuev A., Niu J., Liu P., Li X., Kang S., Zhang M., Li Y. Effects of climate change on phenology and primary productivity in the desert steppe of Inner Mongolia // J. of Arid Land. 2015. Vol. 7, iss. 2. P. 251 – 263.

Lewin R. Plant communities resist climatic change // Science. 1985. Vol. 228. P. 165 – 166.

Li H., Yang X. Temperate dryland vegetation changes under a warming climate and strong human intervention – with a particular reference to the district Xilin Gol, Inner Mongolia, China // CATENA. 2014. Vol. 119. P. 9 – 20.

Liu Y., Yu D., Su Y., Hao R. Quantifying the effect of trend, fluctuation, and extreme event of climate change on ecosystem productivity // Environmental Monitoring and Assessment. 2014. Vol. 186, iss. 12. P. 8473 – 8486.

Zeppel M., Wilks J., Lewis J. Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in precipitation on plants // Biogeosciences. 2014. Vol. 11, iss. 11. P. 3083 – 3093.