

УДК 581.526.53:574.45

КЛИМАТОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СОЛОНЧАКОВЫХ СОЛОНЦАХ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

М.К. Сапанов, М.Л. Сиземская

Институт лесоведения РАН

Россия, 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, Советская, 21

E-mail: sapanovm@mail.ru

Поступила в редакцию 26.12.09 г.

Климатогенные изменения травянистой растительности на солончаковых солонцах Северного Прикаспия. – Сапанов М.К., Сиземская М.Л. – В Северном Прикаспии существенное устойчивое потепление осенне-зимнего периода и увеличение увлажнения вегетационного сезона обусловило общую мезофитизацию территории, вызвав в сообществах солончаковых солонцов смену доминирования видов полыни черной на прутняк. Однако эти экосистемы остаются в динамически равновесном состоянии, происходящие изменения и волнообразные флуктуации их продуктивности не выходят за рамки природной инвариантности и носят обратимый характер.

Ключевые слова: региональное изменение климата, аридные экосистемы, мониторинг, продуктивность, фитоценозы.

Climate-caused changes in the herbaceous vegetation on solonchakous solonchetes of the Northern Caspian lowland. – Sapanov M.K. and Sizemskaya M.L. – Essential steady warming of the cold season in the Northern Caspian lowland has been revealed. The humidity of the vegetative season has increased. Both these factors have caused general mesophytization of this territory. Due to this cause, the dominating plants on saline solonchetes have switched from *Artemisia pauciflora* to *Kochia prostrata*. However, these ecosystems remain in dynamically equilibrium conditions, so changes and wavy fluctuations of the plant productivity can be naturally reverted.

Key words: regional climate changes, arid ecosystems, monitoring, productivity, phytocenosis.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции изменения климата во многих регионах мира вызывают обоснованное беспокойство по его воздействию на природные экосистемы, функционирование которых, по некоторым сведениям, может осложниться вплоть до возникновения необратимых процессов, вызывающих не только исчезновение определенных видов растений и животных, но и коренное изменение вековых сукцессий. В дискуссию о глобальном изменении климата (потеплении – похолодании, etc.) вовлечены ученые многих специальностей, которые в своих областях знаний выстраивают сценарии (порой умозрительные) последующих изменений природных условий. Даже политики считают глобальное потепление «ключевым вызовом безопасности нынешнего века».

Между тем крайне мало работ по сопряженному изучению изменения климата и, например, происходящих динамических процессов в экосистемах, главным образом, вследствие отсутствия длительного мониторинга. Особенно это касается аридных территорий, где глобальное потепление может включить механизм необратимого климатического опустынивания.

В этой связи рассмотрим изменение климата в глинистой полупустыне Северного Прикаспия и механизм его влияния на состояние естественных травянистых экосистем в преобладающих в почвенном покрове солончаковых солонцах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН, который расположен в северной части Прикаспийской низменности между речья рек Волги и Урала.

Рассматриваемая территория представляет собой почти идеальную тяжело-суглинистую равнину с трехчленным комплексным почвенным покровом, большая часть которой приурочена к микроповышениям рельефа и занята солончаковыми солонцами (50% территории) с пустынными растительными ассоциациями, в которых доминирует черная полынь (*Artemisia pauciflora*¹) и прутняк (*Kochia prostrata*). Здесь рассматриваются растительные сообщества, в которых указанные виды выступают в качестве содоминантов.

Остальная площадь представляет собой локальные микропонижения с незасоленными лугово-каштановыми почвами (25%), на которых развиты степные разнотравно-злаковые сообщества и переходные склоны с солонцеватыми светло-каштановыми почвами (25%) с произрастающими здесь полупустынными ромашниково-типчачковыми (*Festuca valesiaca-Tanacetum achilleifolium*) растительными сообществами.

Грунтовые воды на территории застойные и имеют сопряженный с рельефом и типом почв характер засоления: под солонцами и светло-каштановыми почвами они засолены до 5 – 10 г/л, в понижениях – пресные (менее 1 г/л). Уровень грунтовых вод флуктуирует на глубине 4.5 – 7.0 м за счет периодического пополнения по понижениям рельефа во время весеннего стока талых вод и эвапотранспирации экосистем. Их динамика замерялась стандартными хлопущками с 1951 г. еженедельно в стационарных наблюдательных скважинах, расположенных на разных типах почв.

Погодные условия с 1951 г. характеризуются по данным Джаныбекской метеорологической станции Казгидромета. Анализ проводился преимущественно по «гидрологическим годам» с выделением вместо календарных лет холодного (октябрь – март) и теплого (апрель – сентябрь) периодов, а всего года с 1 октября по 30 сентября.

В работе используются данные ежегодной продуктивности фитомассы травянистых экосистем, так называемые «максимальные укосы», которые определялись во время ее максимального сезонного накопления. Наблюдения начались в 1951 г., при этом по тем или иным причинам укосы не проводились в следующие годы: 1953, 1954, 1995, 1997 – 2001 и 2003 гг. (всего 9 лет за все годы). В течение многих десятилетий эта работа проводилась под руководством И.Н. Оловяниковой. Ежегодно на территории с падающим режимом эксплуатации (сенокосных угодьях) определялась максимальная продуктивность по ручным укосам с площадок 1×1 м,

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

КЛИМАТОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

в 8 – 4-х кратной повторности отдельно на разных типах почв. Общая продуктивность территории определялась с учетом распространения отдельных типов почв на местности: солончаковых солонцов, светло-каштановых почв и лугово-каштановых почв в соотношении 2:1:1 соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В своей работе мы отталкиваемся от общеизвестного постулата о постоянстве природной среды, в том числе границ географических зон, типов почв и инвариантности растительных сообществ, которые необратимо изменяются и модифицируются лишь при существенной трансформации внешних условий (Реймерс, 1990). Широко обсуждаемое в обществе глобальное потепление климата также относится к их числу. Выявленные признаки потепления отмечены во многих местах, в том числе в Северном Прикаспии (Сотнева, 2004; Сапанов, 2006, 2007). Интересен ответ на вопрос: насколько это потепление влияет на продуктивность и сукцессии травянистых фитоценозов?

В этой связи рассмотрим изменение состава и продуктивности целинных растительных сообществ, развитых на солончаковых солонцах. Задача облегчается тем, что с начала 1950-х гг. многочисленные публикации зафиксировали флористический состав, особенности распространения, биологию развития видов, формирование сезонной и годичной продукции, транспирации и распространения корневых систем, их зависимость от водно-солевого режима почвогрунтов и погодных условий (Каменецкая, 1952; Гордеева, 1959; Роде, 1963; Гордеева, Ларин, 1965; Оловянная, 1966, 2004; Гильманов, Иващенко, 1990; Сухоруков, 2005).

Особенности динамики климата Северного Прикаспия в приложении к развитию растительных сообществ наиболее подробно были описаны А.А. Роде и Л.Г. Динесманом (Роде, 1959; Динесман, 1960). В дальнейшем коллектив Джаныбекского стационара неоднократно использовал обнаруженные закономерности, дополняя их собственными наблюдениями при анализе механизмов функционирования тех или иных природных процессов.

Изучалось воздействие на отдельные растения и экосистемы сезонной и годовой динамики погодных условий. В частности, было выявлено отрицательное влияние высоких полуденных температур и засухи на фотосинтез и транспирацию травянистых и древесных растений, уменьшение продуктивности фитоценозов в засушливые годы и резкое ухудшение их состояния при повторении таких лет. В работах последних лет выявлена тенденция к устойчивому потеплению климата, главным образом в холодный период года, и увеличению атмосферного увлажнения в теплый период года (Хлебникова, 1958; Сенкевич, Малкина, 2000; Оловянная, 2004; Сотнева, 2004; Сапанов, 2006).

Кратко рассмотрим общий фон природной среды за исследуемые годы. На Джаныбекском стационаре среднегодовая температура воздуха равна 7.2°C, за теплый период – 18.0°C, за холодный – -3.6°C. В то же время ежегодные колебания температуры воздуха указывают на потепление климата, что подтверждается также данными по метеостанции «Алгай» Росгидромета, расположенной в сходных условиях в 150 км на северо-восток (50°24' N, 48°08' E), где период наблюде-

ний (1936 – 2006 гг.) более длителен (рис. 1). При раздельном анализе по месяцам выявляется, что общее годовое потепление происходит за счет повышения температуры воздуха в октябре, ноябре и январе – апреле. В декабре же отмечалось понижение температуры воздуха. В остальные месяцы (с мая по сентябрь включительно) температурный режим был преимущественно неизменным. Таким образом, среднегодовая температура воздуха повысилась в 1951 – 2006 гг. на 1.95°C, в основном за счет потепления холодного периода года на 3.26°C, тогда как теплый период стал жарче всего на 0.66°C (вычисления проведены по уравнениям их линейных трендов).

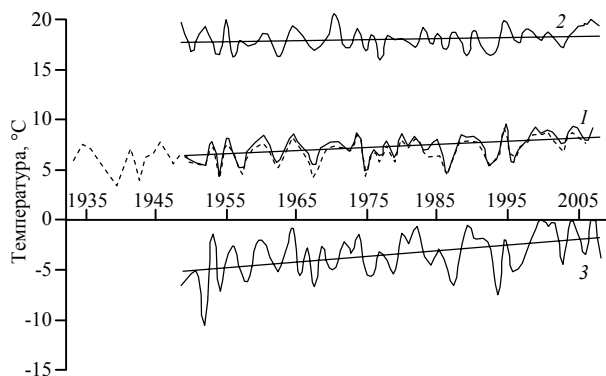


Рис. 1. Динамика средних температур воздуха за год (1), теплое (2) и холодное (3) полугодия и их линейные тренды

В декабре же отмечалось понижение температуры воздуха. В остальные месяцы (с мая по сентябрь включительно) температурный режим был преимущественно неизменным. Таким образом, среднегодовая температура воздуха повысилась в 1951 – 2006 гг. на 1.95°C, в основном за счет потепления холодного периода года на 3.26°C, тогда как теплый период стал жарче всего на 0.66°C (вычисления проведены по уравнениям их линейных трендов).

Прямые вычисления средних периодических температур воздуха по десятилетиям (таблица) выявило, что этот тренд обусловлен в значительной степени повышением температуры воздуха в конце XX – начале XXI в.

Средняя температура воздуха по десятилетиям, С°

Годы	Календарный год	Гидрологический год	Холодный период	Теплый период
1951–1959	6.2	6.3	-5.4	18.1
1960–1969	7.1	7.0	-3.9	17.8
1970–1979	7.2	7.1	-3.8	18.0
1980–1989	7.2	7.3	-3.5	18.0
1990–1999	7.5	7.5	-3.0	18.0
2000–2008	8.6	8.5	-1.4	18.7

Такое изменение климата уменьшило поверхностный сток талых вод, тем самым способствуя увеличению влагонакопления и влагообеспеченности растений на солончаковых солонцах, откуда вода периодически стекала в понижения рельефа. Если до 1995 г. сток происходил через каждые 5 – 6 лет, то после этого года его не было вообще. Как видим, из-за осенне-зимнего потепления состояние и развитие травянистых экосистем может существенным образом измениться.

За изучаемый период среднегодовая сумма осадков составляет 295 мм, за теплый период осадков выпадает 161 мм, за холодный – в 1.2 раза меньше – 134 мм. В многолетней динамике годовых сумм осадков тенденция к их увеличению отмечается в марте – июне и в сентябре, к понижению – в июле и августе, оставаясь неизменной с октября по февраль включительно. Иными словами, количество осадков увеличивалось, главным образом, за теплый период года со скоростью

КЛИМАТОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

1.21 мм/год (рис. 2). При вычислении средних сумм осадков по десятилетним периодам выявляется, что их повышение происходило в основном в конце XX в. (1980 – 1990-е гг.), в 2000-е г. их количество вновь понизилось.

Постепенное увеличение количества осадков при постоянной температуре воздуха вызывает повышение относительной влажности воздуха (в основном в апреле – июле и сентябре) и понижение испаряемости (за счет тех же месяцев). Данное явление уменьшает риск атмосферной засухи и тем самым улучшает условия вегетации растительных сообществ (см. рис. 2). Если учесть, что риск почвенной засухи также уменьшается (из-за равномерной весенней инфильтрации воды в отсутствие поверхностного стока), то можно считать, что на солончаковых солонцах условия сдвигаются в сторону их мезофитизации.

Более детальное изменение природных условий характеризуется коэффициентом увлажнения (Реймерс, 1990), который является интегральным показателем степени засушливости климата и рассчитывается как отношение сумм осадков за гидрологический год к испаряемости за теплое полугодие. Биологический смысл этого коэффициента заключается в комбинированном учете количества доступной воды для эпотранспирации экосистем (осадков) на фоне истинной напряженности гидротермических условий года (испаряемости). Использование этого коэффициента показывает, что основное повышение увлажненности территории отмечалось с конца 1970-х гг. до середины 1990-х гг., затем в 2000-е гг. она опять ухудшилась. В это же время происходили постепенное повышение и спад уровня грунтовых вод (рис. 3).

На фоне такой существенной трансформации природных условий рассмотрим изменение состояния травянистых экосистем, произрастающих на солончаковых солонцах. Геоботанические описания прошлых лет указывают на то, что здесь в большинстве случаев распространены прутняково-чернополынные и чернополынно-прутняковые ассоциации, встречаются также типчакково-чернополынные, ромашниково-чернополынные и др. В состав пустынной растительности на солонцах входят также мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), перечник пронзеннолистный (*Lepidium perfoliatum*), бурачок пустынный (*Alyssum turkestanicum*), ромашник,

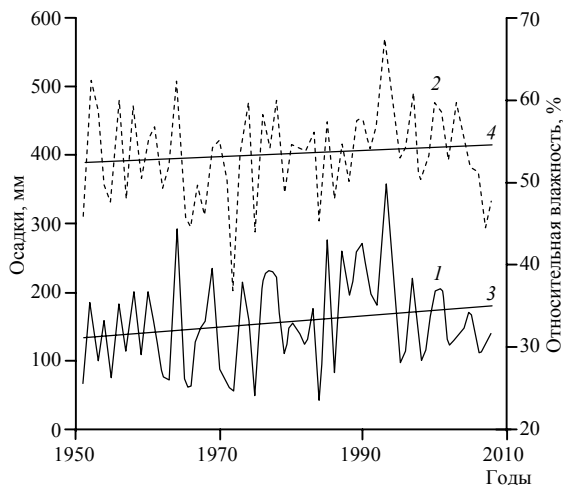


Рис. 2. Динамика сумм осадков за теплое полугодие (1) и средней относительной влажности воздуха за вегетационный сезон (2) и их линейные тренды соответственно (3, 4)

солянка листовичная (*Salsola laricina*), камфоросма монпельская (*Camphorosma monspeliaca*), рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius*) и другие ксерофиты.

Нами рассматривается динамика ежегодной продукции надземной фитомассы растений, которая определялась единожды в срок максимального ее накопления. Этот показатель вполне информативен, поэтому используется достаточно часто, хотя действительная ежегодная величина надземной первичной сезонной продукции может сильно от нее отличаться (Гильманов, Иващенко, 1990).

Средняя валовая продукция растительности за 50 лет прямых наблюдений всего трехчленного солонцового комплекса составляет 15.5 ± 3.1 ц/га, отдельно на солончаковых солонцах – 9.7 ± 3.1 ц/га, светло-каштановых почвах – 13.5 ± 3.5 ц/га и

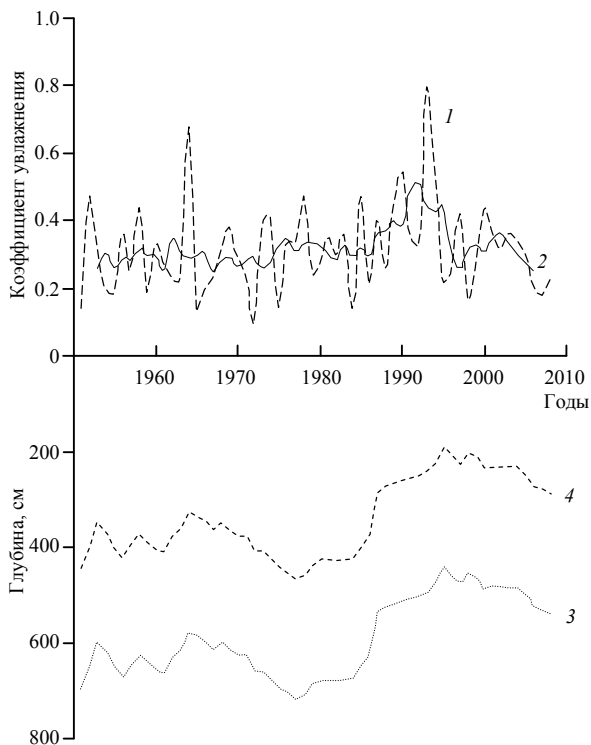


Рис. 3. Динамика истинных значений коэффициента увлажнения (1), тренда 5-летних скользящих значений (2), уровня грунтовых вод (3) и верхней границы капиллярной каймы (4)

Новикова и др., 2004). В настоящее время она заметна даже визуально как по изменению летнего аспекта, так и по количеству экземпляров: например, на некоторых участках взрослая черная полынь встречается единично (см. рис. 4).

Сравнение годичной продукции надземной фитомассы с абиотическими факторами показало ее статистически достоверную отрицательную зависимость от

лугово-каштановых почвах – 29.7 ± 6.4 ц/га.

Динамика общей продукции надземной фитомассы сообществ, приуроченных к солончаковым солонцам, имеет волнообразный характер с «провалом» в 1970-х гг., при этом наблюдается постепенное повышение его линейного тренда со временем (рис. 4). Как видим, отмечается их сопряженное соответствие рассмотренным выше изменениям природных условий.

При этом динамически равновесное состояние в первичной продуктивности экосистем поддерживается сменной фитоценотической роли доминантных видов: ксерофитной полыни черной более мезофитным прутняком, совокупная биомасса которых составляет большую часть общего урожая. Такая смена отмечена во многих работах (Каменецкая, 1952; Гордеева, 1957, 1959; Гордеева, Ларин, 1965; Оловянникова, 2004;

КЛИМАТОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

глубины расположения грунтовых вод ($r = -0.34$, $P > 0.05$). Связь общей годичной продукции с показателями погодных условий малозаметна, очевидно, по причине суммирования биомасс сменяющих друг друга доминантных видов, отличающихся своим набором лимитирующих развитие абиотических факторов. По существу, наличие такого противоречия делает некорректным любые дальнейшие статистические расчеты.

Это противоречие можно элиминировать, если при анализе ограничиться периодом доминирования одного вида; такая ситуация была до начала 1980-х гг., когда полынью господствовала в растительных сообществах на солончаках. При таком изучении обнаруживаются достоверные зависимости (при $P > 0.05$) общей про-

дукции от многих факторов за май: температуры воздуха ($r = -0.45$), относительной влажности воздуха ($r = 0.49$) и испаряемости ($r = -0.51$). Это свидетельствует о том, что именно май является определяющим месяцем в формировании биомассы сообществ, где доминирует полынью, поскольку, чем прохладнее, тем больше ее продукция. Также отмечается положительное воздействие осадков за август предыдущего года ($r = 0.38$), что, кстати, показывает доминирование биомассы черной полыни в общем запасе, так как известно, что в это время полынью может выйти из периода летнего покоя (Гордеева, 1957). Отметим, что грунтовые воды в это время залегают глубоко (до 1980 г.), очевидно поэтому связь продуктивности с ними не прослеживается, так как полынью имеет поверхностную корневую систему (Гордеева, 1957; Гордеева, Ларин, 1965).

Какие абиотические факторы лимитируют развитие полыни и прутняка, мы увидим, если проанализируем их годовую продукцию надземной фитомассы отдельно за весь изучаемый период. При таком анализе выявляется, что уровни грунтовых вод воздействуют на продукцию полыни и прутняка достоверно ($P > 0.05$) и разнонаправленно ($r = 0.39$ и $r = -0.65$ соответственно). Иными словами, чем ближе к поверхности располагается уровень грунтовых вод, тем лучше растет прутняк и хуже – полынью, и наоборот. Следовательно, произошедший в конце XX в. подъем уровня грунтовых вод, вызвав смещение капиллярной каймы к поверхности почвы более чем на 2 м, существенно улучшил условия для развития прутняка в ущерб

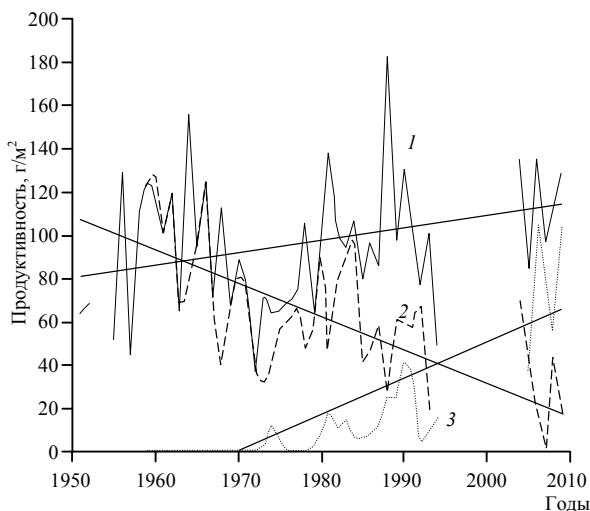


Рис. 4. Продуктивность травянистой растительности, произрастающей на солончаковом солонце: 1 – общая, 2 – черной полыни, 3 – прутняка

полыни, которая имеет поверхностную корневую систему и не использует воду из глубинных слоев почвогрунта. Поэтому можно достаточно обоснованно утверждать, что исход полыни произошел в результате межвидовой конкуренции за счет разрастания прутняка, а не за счет непосредственного физического отрицательного влияния на него поднимающегося уровня грунтовых вод. Кстати, этот тезис подтверждается отсутствием связи общей продукции (когда в экосистемах господствовала полынь) с уровнем грунтовых вод при их глубоком залегании (см. выше).

При раздельном анализе выявляется также достоверное повышение продукции надземной фитомассы полыни ($r = -0.44$, $P > 0.05$), если предшествующий гидрологический год был более прохладным, т.е. выход полыни из летнего покоя в предыдущий год (что происходит не всегда) улучшает ее состояние на следующий. У прутняка же отмечается достоверная обратная зависимость ($P > 0.05$) от температурного режима воздуха за весь предшествующий и настоящий год наблюдений ($r = 0.39$ и $r = 0.38$ соответственно).

Последняя зависимость как бы указывает на то, что прутняк развивается лучше в засушливые годы. По-видимому, эта парадоксальная связь обусловлена тем, что именно в такие годы продуктивность прутняка может повышаться за счет эффективного использования доступных грунтовых вод, в то время как полынь в это время находится в состоянии покоя. Иными словами, повышение температуры воздуха на фоне близкого залегания уровня грунтовых вод дает преимущество в разрастании прутняка.

Из всего вышесказанного следует, что в составе сообществ, развитых на солончаковых солонцах, всегда присутствуют полынь черная и прутняк. При этом доминирование одного из этих видов над другим обусловлено изменением условий внешней среды. Их непосредственный антагонизм и межвидовая конкуренция за жизненное пространство косвенно подтверждается также разнонаправленной динамикой ежегодной продуктивности ($r = -0.61$, $P > 0.01$).

Необходимо указать, что наиболее полно взаимоотношение полыни и прутняка во времени показано в обобщающей работе И.Н. Оловянниковой (2004), наш анализ выявляет лишь некоторые конкурентные механизмы, регулирующие их продуктивность на фоне потепления климата и подъема уровня грунтовых вод. Понижение уровня грунтовых вод, которое отмечается в последние годы, очевидно, изменит направленность их взаимоотношений, ухудшив состояние прутняка, жизненная стратегия которого предполагает десуктивное использование влаги из глубоких слоев почвогрунта.

Таким образом, значительное устойчивое потепление осенне-зимнего периода и увлажнение вегетационного сезона за более чем полувековой период не вызвало в динамике продуктивности пустынных ассоциаций на солончаковых солонцах необратимых изменений и не изменило существующий облик сообществ. Эти экосистемы остаются в динамически равновесном состоянии, флуктуация их биомассы не выходит за рамки природной инвариантности, а происходящие сукцессии носят обратимый характер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Северном Прикаспии наблюдениями за более чем полувековой период отмечена общая тенденция потепления климата, характеризуемая увеличением температуры воздуха за холодный период года и количества атмосферных осадков за теплый период года. Данные процессы способствуют общей мезофитизации региона, при этом самое существенное увеличение увлажненности территории произошло в 1978 – 1995 гг., что вызвало повышение уровня грунтовых вод более чем на 2 м.

На этом фоне динамика годичной продукции надземной фитомассы и смена доминантных видов пустынных травянистых сообществ, приуроченных к солончаковым солонцам, представляет собой волнообразный процесс, сопряженный с динамикой экологических факторов, таких как погодные условия и уровень грунтовых вод. В частности, именно подъем уровня грунтовых вод вызвал смену доминирующей здесь полыни черной на прутняка. Выявленные достоверные связи годичной продукции надземной фитомассы всего сообщества и отдельных видов (полыни черной и прутняка) с факторами погодных условий подтверждают ранее известные механизмы их функционирования и зависимость от температурного режима воздуха и увлажненности. Таким образом, наблюдаемые смены доминирования и динамические изменения в ежегодно производимой надземной фитомассе растительных сообществ в Северном Прикаспии носят обратимый характер и обусловлены потеплением климата.

Авторы благодарят научного сотрудника, кандидата биологических А.В. Колесникова (Институт лесоведения РАН) за помощь в организации полевых работ и сборе материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программ Президиума РАН «Биологическое разнообразие» и ОБН РАН «Биологические ресурсы России: Фундаментальные основы рационального использования», а также Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-04-00030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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.
- Гордеева Т.К. К биологии полыни черной // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. III. 1957. Вып. 11. С. 88 – 117.
- Гордеева Т.К. Динамика естественной растительности в полупустыне (на примере Джаныбекского стационара) // Ботан. журн. 1959. Т. 44, № 9. С. 1238 – 1248.
- 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.
- Каменецкая И.В. Естественная растительность Джаныбекского стационара // Тр. Компл. экспедиции по полезному лесоразведению АН СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. Т. 2, вып. 3. С. 101 – 162.

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.

Оловянная 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.

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

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

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

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.

Сапанов М.К. Условия выращивания защитных лесных насаждений в полупустыне Северного Прикаспия в связи с изменением климата во второй половине XX в. // Лесоведение. 2006. № 6. С. 45 – 51.

Сапанов М.К. Синхронность изменения уровней Каспийского моря и грунтовых вод в Северном Прикаспии во второй половине XX в. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2007. № 5. С. 82 – 87.

Сенкевич Н.Г., Малкина И.С. Особенности ассимиляции и транспирации вяза мелколистного как факторы его экологической пластичности // Лесоведение. 2000. № 6. С. 9 – 16.

Сотнева Н.И. Динамика климатических условий второй половины XX в. 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.

Хлебникова Н.А. Транспирация и фотосинтез древесных и кустарниковых пород в условиях Прикаспийской низменности // Тр. Ин-та леса АН СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958. Т. 38. С. 110 – 160.

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