

УДК 551.583:634.93

## КЛИМАТОГЕННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ АРИДНОГО ЛЕСОВЫРАЩИВАНИЯ<sup>1</sup>

© 2020 г. М. К. Сапанов<sup>а, \*</sup>, М. Л. Сиземская<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт лесоведения РАН,  
ул. Советская, 21, с. Успенское, Одинцовский район, Московская обл., 143030 Россия

\*E-mail: sapanovm@mail.ru

Поступила в редакцию 24.01.2019 г.

После доработки 26.03.2019 г.

Принята к публикации 08.10.2019 г.

Создание защитных лесных насаждений особо затруднительно в аридных регионах России, при этом потепление климата может менять условия их сохранности во времени. Рассматривались климатогенные изменения условий лесовыращивания в Северном Прикаспии, с учетом того, что функционирование древостоев лимитируется на исконно безлесных автоморфных мелиорированных солонцах и светло-каштановых почвах — дополнительной влагозарядкой за счет метелевого снегонакопления и степенью увлажненности вегетационного сезона; на интразональных гидроморфных лугово-каштановых почвах локальных мезопонижений рельефа — неистощительностью пресных линз в засоленных грунтовых водах за счет периодического их пополнения в процессе весеннего поверхностного стока через каждые 2–4 г. Для насаждений, созданных на автоморфных типах почв, наиболее опасным оказался длительный период с повторяющимися из года в год засухами и теплыми зимами, ухудшившими метелевое переотложение снега в лесополосы. В этот период отмечалась массовая гибель деревьев и распад многих древостоев. Для лесонасаждений, созданных на гидроморфных почвах, наиболее неблагоприятным оказался этот же период из-за отсутствия в течение 15 лет поверхностного стока весенних талых вод. Выявленный климатогенный сценарий длительного ухудшения условий лесовыращивания в Северном Прикаспии аналогичен совершенно нелесопригодным территориям более южных регионов России с изначально неустойчивым снеговым покровом и ежегодными засухами.

*Ключевые слова:* лесонасаждения, потепление климата, коэффициент увлажнения, метелевое снегонакопление, поверхностный сток.

DOI: 10.31857/S0024114820010131

Лесоразведение на исконно безлесных территориях имеет более чем вековой опыт. Наиболее грандиозные и непревзойденные по масштабу лесокультурные работы проводились в 1950-х гг. по так называемому “плану преобразования природы”. Были созданы миллионы гектар лесных культур, значительная часть которых погибла в первые же годы выращивания из-за ошибок в лесокультурных технологиях: неправильном выборе ассортимента видов древесной и кустарниковой растительности и схем их смешения, посадок на нелесопригодных площадях, несоблюдении сроков проведения агротехнических уходов.

Наиболее устойчивыми оказывались защитные насаждения, созданные на гидроморфных интразональных типах почв с доступными грунтовыми водами. При этом, не вызывает сомнений

огромная польза лесокультурных работ на исконно безлесных территориях (Колданов, 1967; Инструктивные ... 1983; Кулик и др., 2017).

Для большинства существующих защитных лесонасаждений, особенно в аридных регионах России, требуется проведение восстановительных и возобновительных мероприятий, так как культуры находятся в неудовлетворительном состоянии, подвержены дальнейшему усыханию и распаду. Ухудшение состояния древостоев связано не только с увеличением возраста, но и с изменением климата, влияние которого на искусственно созданные насаждения до сих пор малоизученно. В этой связи, рассмотрим особенности функционирования защитных лесонасаждений, созданных в начале 1950-х гг. в засушливых условиях глинистой полупустыни Северного Прикаспия, где за полувековой период произошло потепление климата более чем на 2°C (Сапанов, 2018б).

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (18-04-00246).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Изучено изменение во времени влияния на лесонасаждения лимитирующих факторов среды, вызванных флуктуациями климата. Работы проводились на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН, расположенном в междуречье Волги и Урала в 30 км к северу от оз. Эльтон. Ежегодные наблюдения за общим состоянием и особенностями развития деревьев и кустарников, посаженных в начале 1950-х гг., проводились на разных типах почв. На автоморфных мелиорированных солонцах и светло-каштановых почвах наблюдения велись за выращиваемыми здесь засухоустойчивыми видами: вязом приземистым, ясенем пенсильванским, жимолостью татарской и др. Отличительной особенностью этих условий местопроизрастания является наличие солевого экрана на глубине 1.5–2.0 м, образовавшегося за счет мелиоративного выщелачивания легкорастворимых солей из верхних горизонтов почв (Сиземская, 2013). Поэтому деревья и кустарники здесь имеют поверхностную корневую систему и не используют грунтовые воды.

На интразональных гидроморфных лугово-каштановых почвах локальных понижений рельефа изучались высокоствольные древостои, в состав которых входят дуб черешчатый, разные виды тополей, яблони, груши и др. Здесь почвенно-грунтовая толща отмыта от легкорастворимых солей, и на глубине 5–7 м залегает пресная линза, сформированная за счет периодической инфильтрации весенних талых вод. Можно считать, что эта линза “вдавлена” в зеркало региональных засоленных вод и имеет с ним общий уровень. Деревья используют воду из пресных линз на десукцию (Киссис, 1963; Оловяннаякова, 1977; Сапанов, 2000, 2003).

На стационаре с 1951 г. под основными элементами ландшафта ведутся подекадные наблюдения за уровнем грунтовых вод, проводится ежегодная съемка снегового покрова в период его максимальной мощности (перед весенним снеготаянием), отмечаются годы поверхностного стока талых вод. Погодные условия (с 1951 г.) анализируются по данным Джаныбекской метеостанции Казгидромета. Испаряемость рассчитана по формуле Н.Н. Иванова (1962). Материалы обрабатывались с использованием статистической программы Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

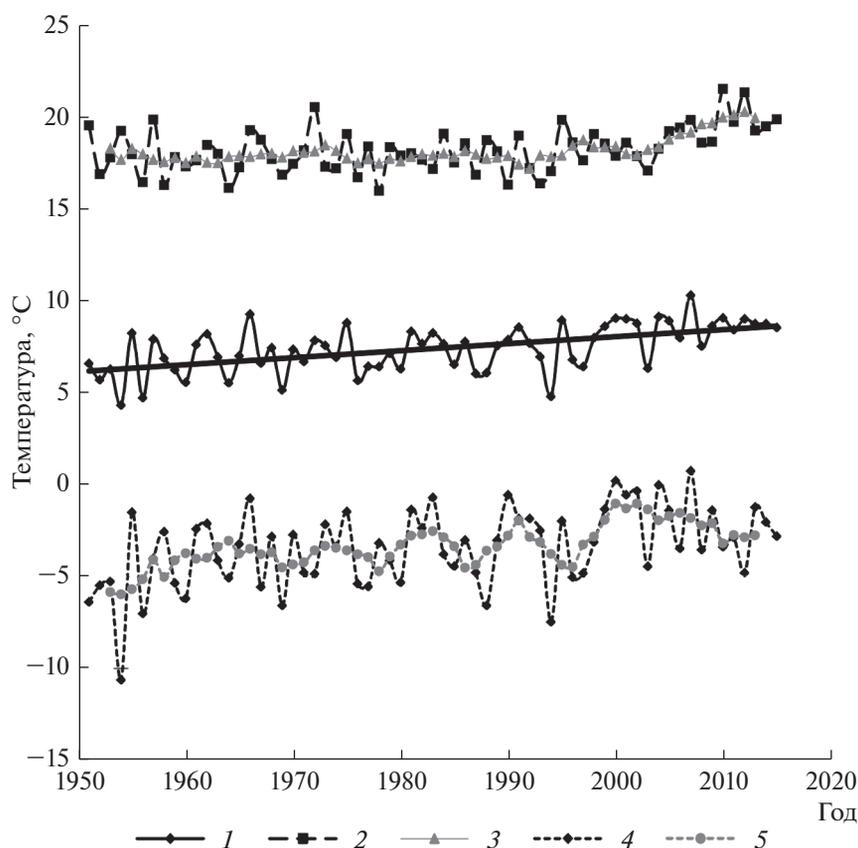
Рассматривается изменчивость природно-климатических условий в рамках ее влияния на состояние и развитие лесных насаждений при их географическом и экологическом несоответствии. Общеизвестно, что функционирование растительных экосистем в значительной степени

зависит от уровня напряженности гидротермических условий вегетационного сезона. Для его характеристики нами используется коэффициент увлажнения, рассчитываемый делением количества осадков за гидрологический год (начинается с 1 октября) на испаряемость за вегетационный сезон (апрель–август). Биологический смысл этого коэффициента заключается в определении истинного количества воды, доступного для растений, и условий его расхода через потенциально возможную эвапотранспирацию по величине испаряемости (Иванов, 1962; Сапанов, 2003).

Осадки холодного периода наиболее важны для растений, так как образуют почвенный запас доступной влаги. Например, именно на этой влаге формируется вся биомасса дерева за счет растворения и перевода в подвижные формы имеющих в почве питательных элементов (Лархер, 1978; Сапанов, 2006а). Осадки вегетационного сезона участвуют в функционировании древостоев в значительной степени опосредовано – снимая напряженность уменьшением температуры и увеличением относительной влажности воздуха, а, следовательно, и уменьшением испаряемости, тем самым снижая риск атмосферной засухи. Отметим, что частота, неустойчивость и интенсивность выпадения весенне-летних осадков не может гарантировать многолетнее выживание деревьев. Например, основная их часть выпадает около 1 мм и даже не промачивает почву (Сапанов, 2006а).

Функционирование лесонасаждений на автоморфных типах почв полностью зависит от весенней влагозарядки корнеобитаемых горизонтов почв. На равнинной территории для обеспечения условий функционирования деревьев до осени необходимо дополнительное количество воды, которое здесь возможно получить только за счет снегонакопления (Сапанов, 2018а). В этой связи в климатическом отношении важно знать изменение условий снегонакопления во времени.

Лесонасаждения на гидроморфных почвах локальных понижений могут создаваться небольшими многорядными куртинами. Такие древостои очень устойчивы и переживают любые климатические флуктуации за счет постоянного использования воды из пресных линз, десуктивный расход из которых может достигать 45–70% от всей эвапотранспирации (более 400 мм) (Киссис, 1963; Оловяннаякова, 1977; Сапанов, 2003). К сожалению, эти линзы под большими падинами имеют небольшую мощность и расходуются массивными насаждениями в течение нескольких десятилетий с одновременным замещением засоленными водами из песчаного межпластового горизонта. Этот процесс может вызывать гибель древостоев (Сапанов, 2005). Лишь в небольшой приопушечной зоне (около 10 м) линза остается



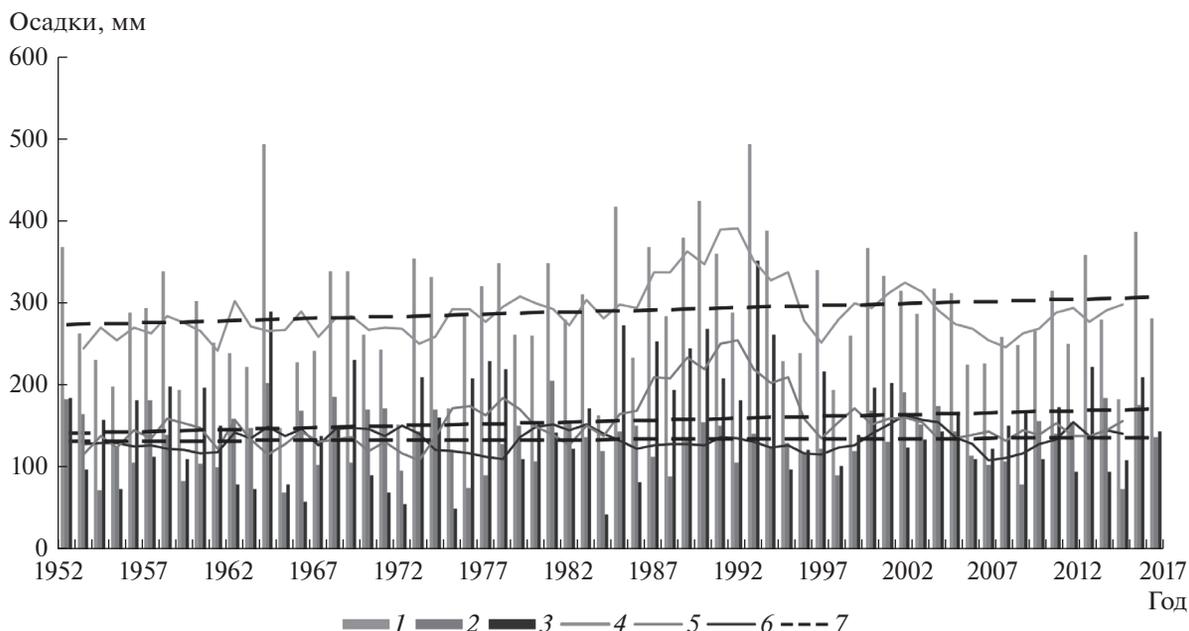
**Рис. 1.** Динамика ежегодной температуры воздуха: 1 – за гидрологический год и ее линейный тренд; 2, 3 – за теплое полугодие и ее 5-летние скользящие; 4, 5 – за холодное полугодие и ее 5-летние скользящие.

постоянно опресненной вследствие бокового подтока воды из-под целинной падины. Как видим, здесь возможна оптимизация площадей насаждений созданием небольших куртин или узких полос. Такие небольшие по площади древо-стои могут сохраняться достаточно долго (более 100 лет). При этом неистощительный водный режим в пресных линзах в такой падине должен обеспечиваться периодическим весенним поверхностным стоком талых вод в эти замкнутые понижения рельефа (Сапанов, 2003). Сток происходит лишь при определенном сочетании факторов погодных условий, которое может изменяться с потеплением климата. Очевидно, пресная линза будет истощаться при долговременном отсутствии такого пополнения.

Таким образом, для выявления влияния климата на искусственные лесные экосистемы в Северном Прикаспии, в первую очередь, необходимо рассмотреть изменение во времени факторов, представляющих наибольшую угрозу для их выживания: степени увлажненности вегетационных сезонов, условий дополнительного снегонакопления в лесополосах и весеннего стока воды в понижения рельефа.

Прежде всего, отмечаем неуклонное возрастание температурного режима воздуха за гидрологический год (рис. 1). Температурный режим теплого периода многие годы оставался в динамически равновесном состоянии, и лишь с 2005 г. наметилась тенденция к положительному тренду, тем самым возросла вероятность возникновения атмосферных засух. Температура воздуха в холодный период года неуклонно повышалась, и с 2000 г. в течение нескольких лет колебалась вблизи нулевой отметки. Теплые зимы продолжались до 2006 г., затем наметилась тенденция постепенного похолодания. Выявленная разнонаправленность трендов температурного режима воздуха теплых и холодных периодов в 2005–2006 гг. указывает на увеличение континентальности климата на фоне продолжающегося общего потепления (Сапанов, 2018б).

В ежегодной динамике количества атмосферных осадков также выявлены интересные особенности (рис. 2). Например, отмечается незначительный положительный тренд осадков, главным образом, за счет превышения среднегодового их уровня в теплый период 1985–1994 гг. Выделяется также период уменьшения количества ежегодных



**Рис. 2.** Динамика сумм осадков в Северном Прикаспии: 1–3 – за гидрологический год, теплый и холодный периоды, соответственно, 4–6 – те же значения, выровненные методом 5-летних скользящих, 7 – прямолинейные тренды этих значений.

осадков в течение нескольких лет с 2006 г. за счет осенне-зимних осадков.

Анализ совокупной изменчивости гидротермических условий по динамике коэффициента увлажнения показал, что за 65-летний период исследований выделяются разные по увлажненности периоды, которые существенным образом повлияли на сохранность лесонасаждений на автоморфных типах почв (рис. 3). В период повышенного увлажнения (1980–1994 гг.) состояние насаждений неуклонно улучшалось, гибель деревьев была незначительной и не системной (Сапанов, 2006б). И, наоборот, в период пониженной увлажненности (2006–2010 гг.) с высоким уровнем испаряемости отмечалось повсеместное усыхание деревьев и кустарников, вплоть до полного распада древостоев. Отметим, что для лесных пород наиболее опасны повторяющиеся засухи из года в год. Механизм этого явления, очевидно, связан с тем, что деревья расходуют в эти годы запасные вещества, накопленные ранее, и не имеют возможности их пополнения из-за быстрого окончания сезонного развития во время засухи (Сапанов, 2006а). Особенно это актуально для насаждений, выращиваемых на автоморфных типах почв, тогда как на гидроморфных почвах они функционируют до осени и, очевидно, успевают накопить запасные вещества для дыхания стволов и успешного начала вегетации на следующий год.

Как отмечалось выше, сохранность и состояние лесных культур на почвах с недоступными грунтовыми водами в основном зависит от допол-

нительного метелевого снегонакопления. При этом накопление снеговой массы регулируется не только общим количеством и состоянием выпадающего снега, но и снегосборной площадью, с которой он переносится к препятствию, так как горизонтальное перемещение одной снежинки не превышает 200–500 м (Гришин, 1962). Например, среднее количество воды за счет дополнительного снегонакопления для данной местности с 1953 по 1970 г. составило 14000 мм пог. м<sup>-1</sup> (Сапанов, 2003). При таком количестве воды возможно создание лесных культур только по так называемому “садовому типу”, с обязательным проведением ежегодных агротехнических уходов вблизи растений для снятия конкуренции с травяной растительностью (Годнев, 1973; Рекомендации ..., 1988).

В дальнейшем изменение общего количества снега и механики его метелевого переноса вследствие общего потепления климата существенно изменили влагообеспеченность лесных насаждений. Наиболее примечательно повышение мощности снегового покрова в 1985–1997 гг., которое, по-видимому, наряду с общим повышением увлажненности в этот период, способствовало наилучшей сохранности древостоев за счет дополнительного снегонакопления в лесополосах (рис. 4). Затем, в наиболее теплые зимы с начала 2000-х гг. количество твердых осадков сильно уменьшилось. Очевидно, в этот период существенная часть осадков выпадала в виде дождя и

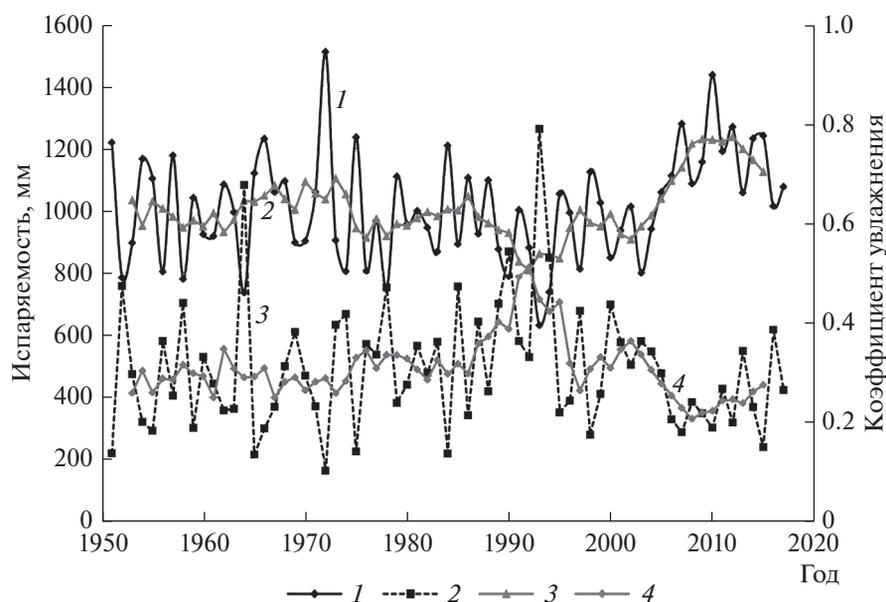


Рис. 3. Динамика испаряемости с открытой водной поверхностью (1), коэффициент увлажнения (3) и их 5-летние скользящие (2, 4).

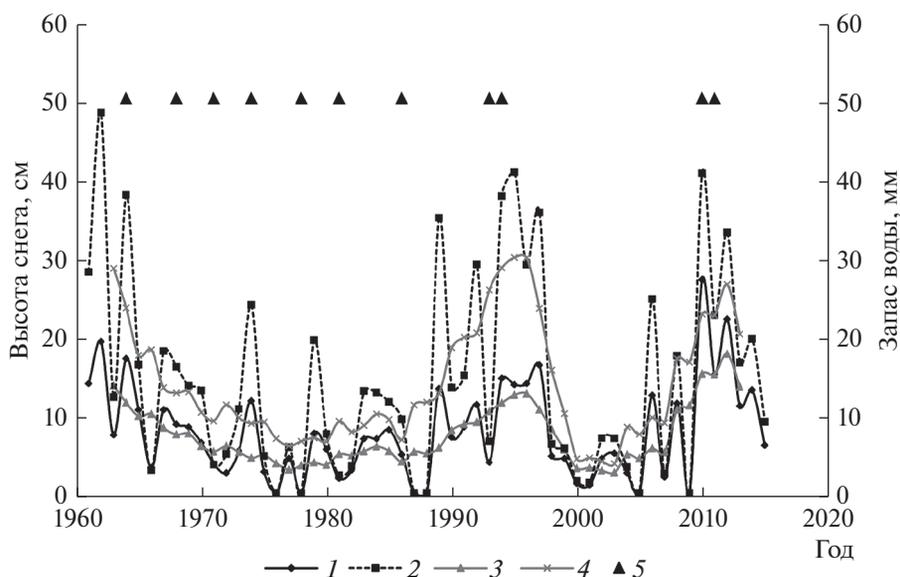
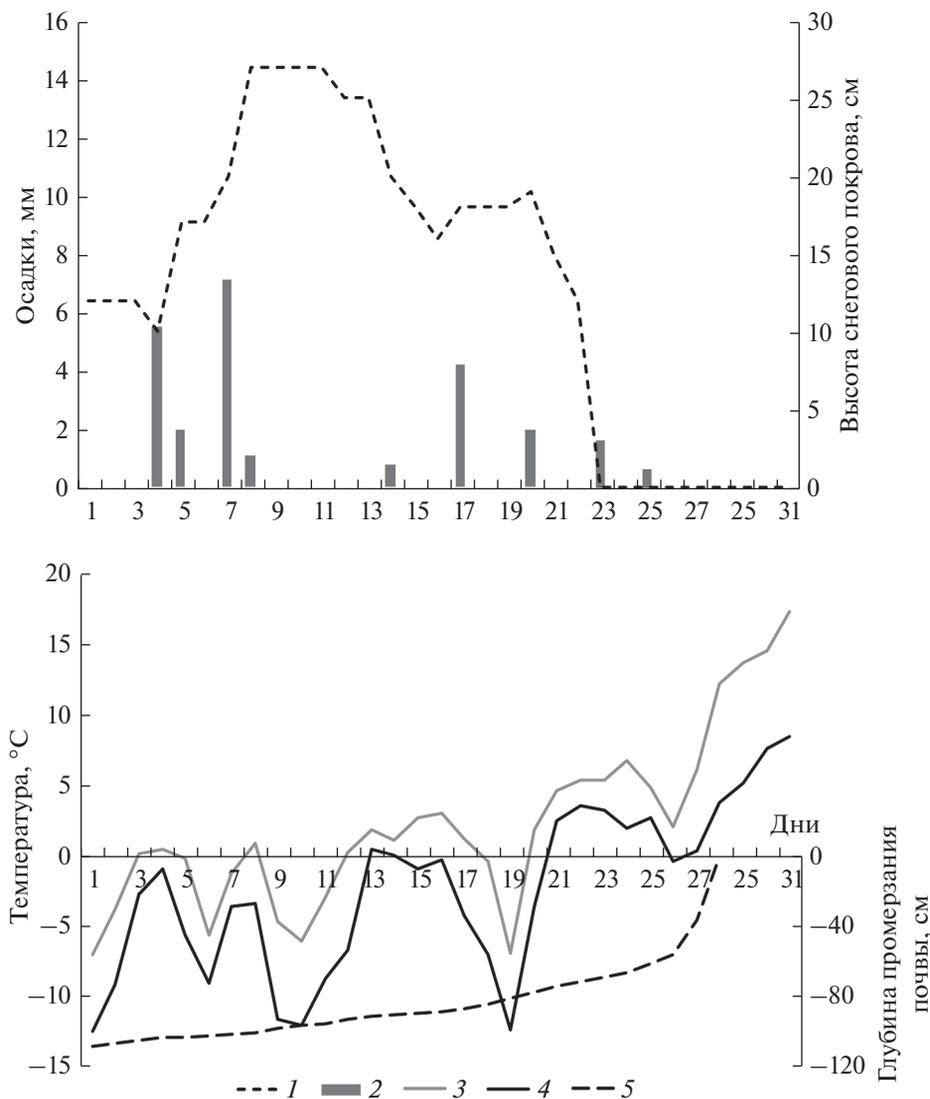


Рис. 4. Максимальная высота снежного покрова перед таянием, запас воды в снеге (1, 2) и их значения, выровненные 5-летними скользящими (3, 4), годы затопления понижений рельефа (5).

мокрого снега, что исключало значительный метелевый снегоперенос.

Как видим, в динамике климата выделяется длительный неблагоприятный период с 2000 г. для нормального функционирования искусственных лесных экосистем на автоморфных типах почв, так как они не приспособлены к одновременному ухудшению годовой увлажненности территории (см. выше) на фоне отсутствия дополнительного снегонакопления.

Рассмотрим условия влагообеспеченности лесных насаждений на гидроморфных почвах, где залогом сохранности древостоев является неиссякаемость пресной линзы. Из рис. 4 видно, что сток талых вод в понижения рельефа в 1960–1994 гг. происходил через каждые несколько лет. По-видимому, именно такая периодичность в стоке воды может исключить вторичное засоление пресной линзы (при оптимальных площадях и породном составе насаждений). Однако из-за потепления кли-



**Рис. 5.** Метеорологические условия во время стока талых вод в понижения рельефа (2010 г.): мощность снегового покрова (1), осадки (2), суточные максимальные и средние температуры воздуха (3, 4), скорость оттаивания почвы (5).

мата весеннего стока воды в большие падьины не было в последующие 15 лет (1995–2009 гг.). Это связано с тем, что поверхностный сток происходит только при достаточном количестве снега, наличии промерзшей почвы и быстром нарастании среднесуточных положительных температур воздуха (Сапанов, 2003). Очевидно, в годы с теплыми зимами вероятность возникновения таких условий была крайне мала.

Ситуация изменилась лишь в 2010 г., когда произошло благоприятное сочетание всех природных факторов, способствующих поверхностному стоку талых вод (рис. 5). Низкие осенне-зимние температуры (–3.4°C) промерозили почвенную толщу до глубины 110 см, выпало большое количество снега, весна была поздней с мед-

ленным оттаиванием почвы до 27 марта. Основное таяние снега происходило с 21 марта по еще мерзлой почве в результате резкого перехода средней ежедневной температуры воздуха через 0°C. Как видим, неистощительный водный режим пресных линз педин, занятых лесонасаждениями, может нарушаться в результате периодического потепления осенне-зимнего периода и восстанавливаться при похолодании.

Таким образом, климатогенная угроза сохранности искусственных лесных экосистем в Северном Прикаспии на фоне общего потепления в значительной степени обусловлена повторяющимися из года в год засухами, возникновением длительных периодов отсутствия снегопереноса в насаждения и поверхностного стока талых вод в

понижения рельефа. Оптимальные погодно-климатические условия для функционирования лесонасаждений сложились в 1980–1994 гг. из-за повышения увлажненности вегетационного периода и увеличения количества снега в осенне-зимний период. Ухудшение условий лесовыращивания отмечено в 2000–2009 гг. из-за теплых зим, повторяющихся засух, уменьшения общего количества снега и ухудшения условий его переноса в лесополосы, длительного отсутствия поверхностного стока талых вод. По нашим наблюдениям, в рассматриваемые годы отмечалось массовое усыхание лесных культур не только в пределах Северного Прикаспия, но и всего юга Европейской части России.

**Заключение.** Изучались условия функционирования и состояние защитных лесных насаждений в глинистой полупустыне Северного Прикаспия в связи с потеплением климата. На этой исконно безлесной территории в естественном виде могут произрастать лишь травяные фитоценозы, максимально приспособленные к сезонному дефициту влаги и летним засухам. Для лесных насаждений, чтобы продлить период вегетации, необходимо дополнительное количество воды, которое здесь можно получить лишь перераспределением снега. Именно снег является основным источником дополнительного увлажнения как в виде метелевого накопления в лесополосах, так и поверхностного стока воды в понижения рельефа при снеготаянии.

Наиболее опасным было возникновение периода теплых зим с незначительным количеством снега и его слабым метелевым переносом, а также отсутствием весеннего поверхностного стока талых вод в понижения рельефа (2000–2009 гг.). Этот период совпал с повторяющимися из года в год атмосферными засухами, (с 2006 гг.), что вызвало повсеместное усыхание и распад лесонасаждений на зональных автоморфных мелиорированных солонцах и светло-каштановых типах почв. В эти же годы был нарушен неистощительный водный режим лесонасаждений, которые были созданы на интразональных гидроморфных лугово-каштановых почвах локальных понижений рельефа вследствие отсутствия периодического пополнения пресных линз талыми водами. Поверхностный сток талых вод восстановился с похолоданием осенне-зимнего периода с 2010 г. Таким образом, потепление климата может существенным образом ограничить создание лесных культур за счет понижения степени увлажненности вегетационных сезонов, ухудшения условий дополнительного снегонакопления в лесополосах и весеннего стока воды в понижения рельефа.

Выявленный сценарий потепления климата в Северном Прикаспии, обусловленный периодическим многолетним понижением степени увлаж-

ненности вегетационных сезонов, ухудшением условий дополнительного снегонакопления в лесополосах и весеннего стока талых вод в понижения рельефа, объясняет причины существенного ухудшения состояния и сохранности лесных культур в такие годы. Продолжительное ухудшение условий их местопроизрастания приближает природные особенности Северного Прикаспия к нелесоприспособленным территориям более южных регионов России с изначально неустойчивым снеговым покровом и ежегодными засухами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Годнев Е.Д.* Повышение устойчивости насаждений дуба и вяза мелколистного в степных районах Юго-Востока РСФСР. М.: ЦБНТИ Гослесхоза, 1973. 36 с.
- Гришин И.С.* Особенности переноса и накопления снега в условиях Западного Казахстана // Лесное хоз-во. 1962. № 12. С. 30–32.
- Иванов Н.Н.* Показатель биологической эффективности климата // Изв. Всесоюзного географического общества. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 94. Вып. 1. С. 65–70.
- Инструктивные указания по агролесомелиоративному устройству защитных насаждений на землях сельскохозяйственных предприятий. М.: Колос, 1983. 54 с.
- Киссис Т.Я.* Водный режим темноцветной черноземовидной почвы большой падины под древесным насаждением // Водный режим почв полупустыни. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 84–126.
- Колданов В.Я.* Степное лесоразведение. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 222 с.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Ткаченко Н.А.* Изменения климата и агролесомелиорация // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2(46). С. 58–67.
- Лархер В.* Экология растений. М.: Мир, 1978. 186 с.
- Оловянная И.Н.* Баланс влаги в черноземовидной почве под насаждением вяза мелколистного // Почвоведение. 1977. № 12. С. 77–87.
- Рекомендации по защитному лесоразведению и лесной мелиорации в глинистой полупустыне Северного Прикаспия. М.: ЦБНТИ Гослесхоза, 1988. 68 с.
- Сапанов М.К.* Оценка десукции лесных культур на разных типах почв Северного Прикаспия // Почвоведение. 2000. № 11. С. 1318–1327.
- Сапанов М.К.* Экология лесных насаждений в аридных регионах. Тула: Гриф и К°, 2003. 248 с.
- Сапанов М.К.* Причины усыхания культур дуба черешчатого на гидроморфных лугово-каштановых почвах Северного Прикаспия // Лесоведение. 2005. № 5. С. 10–17.
- Сапанов М.К.* Роль атмосферных осадков и грунтовых вод в жизнедеятельности лесных насаждений аридных регионов // Лесоведение. 2006а. № 4. С. 12–20.
- Сапанов М.К.* Условия выращивания защитных лесных насаждений в полупустыне Северного Прикаспия в свя-

зи с изменением климата во второй половине XX в. // Лесоведение. 2006б. № 6. С. 45–51.

Сапанов М.К. Метелевое переотложение снега как основной фактор регулирования влагообеспеченности лесных культур в степных условиях // Поволжский экологический журн. 2018а. № 3. С. 327–339.

Сапанов М.К. Экологические последствия потепления климата в Северном Прикаспии // Аридные экосистемы, 2018б. Т. 24. № 1(74). С. 18–28.

Сиземская М.Л. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 276 с.

## Klimatogenic Limitations of Arid Forestry

M. K. Sapanov<sup>1, \*</sup> and M. L. Sizemskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Forest Science, Sovetskaya st. 21, Uspenskoe, Moscow region, 143030 Russia

\*E-mail: sapanovm@mail.ru

Received 24 January 2019

Edited 26 March 2019

Accepted 8 October 2019

The creation of protective forests is especially difficult in arid regions of Russia, and the global warming can further affect their ability to persist. In this study climatogenic changes in forests growing conditions were examined in Northern Caspian region, taking into account that the functioning of forest stands is limited on historically treeless lands: authomorphic meliorated solonetz soils and calcisoles (by the extra moisture of winter snowfalls and the humidity levels during the vegetational period) as well as intrazonal hydromorphic gleyic kastanozems of the local relief depressions (by the inexhaustibility of fresh water lenses in salty subterranean waters based on its periodic resupply by the spring surface flow every 2–4 years). For forest stands, established on automorphic soils, a prolonged period of annual draughts and mild winters with little snow deposits in forest lands proved to be the most dangerous. During such periods, large-scale death of trees was observed and many forest stands were ruined. For the forest stands on hydromorphic soils such periods proved to be just as dangerous, because of 15-years long absence of spring surface flow. Such climatogenic scenario of long-termed deterioration of forest-growing conditions in Northern Caspian region is similar to the southernmost regions of Russia that are currently totally unable to sustain forests, with unstable snow cover and frequent draughts.

*Keywords:* forest stands, climate warming, humidity index, snowfall deposits, surface water flow.

**Acknowledgements:** This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (18-04-00246).

## REFERENCES

Godnev E.D., *Povyshenie ustoichivosti nasazhdenii duba i vyaza melkolistnogo v stepnykh raionakh Yugo-Vostoka RSFSR (Increase in sustainability of oak and Chinese elm stands in steppe regions of South-Eastern RSFSR)*, М.: TsBNTI Gosleskhoza, 1973, 36 p.

Grishin I.S., *Osobennosti perenosa i nakopleniya snega v usloviyakh Zapadnogo Kazakhstana (Certain features of transport and accumulation of snow in Western Kazakhstan)*, *Lesnoe khoz-vo*, 1962, No. 12, pp. 30–32.

*Instruktivnye ukazaniya po agrolesomeliorativnomu ustroystvu zashchitnykh nasazhdenii na zemlyakh sel'skokhozyaistvennykh predpriyatii (Instructions and regulations for forest and agricultural meliorative arrangement of protective forest stands on agricultural lands)*, М.: Kolos, 1983, 54 p.

Ivanov N.N., *Pokazatel' biologicheskoi effektivnosti klimata (Index of climate's biological efficiency)*, *Izv. Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*, 1962, Vol. 94, No. 1, pp. 65–70.

Kissis T.Y., *Vodnyi rezhim temnotsvetnoi chernozemoidnoi pochvy bol'shoi padiny pod drevsnym nasazhdeniem (Water regime of dark chernozem-like soil of a big wooded*

*gully)*, In: *Vodnyi rezhim pochv polupustyni*. М.: Izd-vo AN SSSR, 1963, pp. 84–126.

Koldanov V.Y., *Stepnoe lesorazvedenie (Steppe forests growing)*, М.: Lesn. prom-st', 1967, 222 p.

Kulik K.N., Rulev A.S., Tkachenko N.A., *Izmeneniya klimata i agrolesomelioratsiya (The Changing Climate and Agroforest Amelioration)*, *Izv. Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2017, No. 2(46), pp. 58–67.

Larkher V., *Ekologiya rastenii (Plant Ecology)*, М.: Mir, 1986, 186 p.

Olovyannikova I.N., *Balans vlagi v chernozemovidnoi pochve pod nasazhdeniem vyaza melkolistnogo (Water balance in chernozem-like soil of Chinese elm stand)*, *Pochvovedenie*, 1977, No. 12, pp. 77–87.

*Rekomendatsii po zashchitnomu lesorazvedeniyu i lesnoi melioratsii v glinistoi polupustyne Severnogo Priskaspiya (Recommendations for protective forests growing and forest melioration in the clayey semi-desert of Northern Caspian Region)*, М.: TsBNTI Gosleskhoza, 1988, 68 p.

Sapanov M.K., *Ekologicheskie posledstviya potepleniya klimata v Severnom Priskaspii (Environmental Implications*

- of Climate Warming for the Northern Caspian Region), *Aridnye ekosistemy*, 2018b, Vol. 24, No. 1(74), pp. 18–28.
- Sapanov M.K., *Ekologiya lesnykh nasazhdenii v aridnykh regionakh* (Ecology of wood plantings in arid regions), Tula: Grif i K, 2003, 248 p.
- Sapanov M.K., *Metel'voe pereotlozhenie snega kak osnovnoi faktor regulirovaniya vlogoobespechennosti lesnykh kul'tur v stepnykh usloviyakh* (Snow-drift Redistribution as the Main Factor of Regulation of Water Availability for Forest Cultures in Steppe Conditions), *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*, 2018a, No. 3, pp. 327–339.
- Sapanov M.K., *Otsenka desuktsii lesnykh kul'tur na raznykh tipakh pochv Severnogo Prikaspiya* (Water Uptake by Trees on Different Soils in the Northern Caspian Region), *Pochvovedenie*, 2000, No. 11, pp. 1318–1327.
- Sapanov M.K., *Prichiny usykhaniya kul'tur duba chereschatogo na gidromorfnykh lugovo-kashtanovykh pochvakh Severnogo Prikaspiya* (Causes of drying up of *Quercus robur* plantations on hydromorphic meadow-chestnut soils in the Northern Caspian Sea region), *Lesovedenie*, 2005, No. 5, pp. 10–17.
- Sapanov M.K., *Rol' atmosferykh osadkov i gruntovykh vod v zhiznedeiatel'nosti lesnykh nasazhdenii aridnykh regionov* (The role of atmospheric precipitation and groundwater in growth of forest plantations in arid regions), *Lesovedenie*, 2006a, No. 4, pp. 12–20.
- Sapanov M.K., *Usloviya vyrashchivaniya zashchitnykh lesnykh nasazhdenii v polupustyne Severnogo Prikaspiya v svyazi s izmeneniem klimata vo vtoroi polovine XX v.* (Conditions for growth of forest shelter belts in the Northern Caspian Sea semi-desert region related to climate changes in the late twentieth century), *Lesovedenie*, 2006b, No. 6, pp. 45–51.
- Sizemskaya M.L., *Sovremennaya prirodno-antropogennaya transformatsiya pochv polupustyni Severnogo Prikaspiya* (Recent soil alterations in northern Caspian region under natural and human impacts), Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2013, 276 p.