

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ ПРИКАСПИИ¹

© 2018 г. М.К. Сапанов

Институт лесоведения РАН

Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21. E-mail: sapanovm@mail.ru

Поступила 23.03.2017

Показаны результаты мониторинга с середины XX в. природно-климатических условий полупустыни на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН, Северный Прикаспий. Целью наблюдений было определение влияния изменения климата на среду обитания, динамику и состояние живой природы компонентов экосистем. Исследованиями коллектива стационара выявлено повышение среднегодовой температуры воздуха на 2.20°C, отмечена периодичность в увлажненности территории за счет изменения количества атмосферных осадков. При этом, в период повышенной увлажненности (1980-1994 гг.), произошло повышение уровней грунтовых вод и уровней воды в водоемах, увеличилась продуктивность травяных сообществ, повысилась урожайность зерновых культур и увеличилась численность диких копытных животных (сайгаков). В последующий засушливый период (1995-2009 гг.) снизился сток весенних талых вод, мелели и пересыхали водоемы, повторялись засухи из года в год, что отрицательно сказалось на развитии компонентов экосистем. В целом, климатические изменения не нарушили динамически-равновесного состояния естественных экосистем (например, продуктивности целинных фитоценозов, поголовья диких животных), однако длительные периоды засух вызвали необратимое ухудшение состояния и гибель лесных посадок, а также многолетние неурожаи зерновых культур на зональных типах почв, нарушая стабильность получения сельскохозяйственной продукции. Полученные результаты исследования указывают на необходимость применения адаптивной технологии мелкоконтурного (так называемого «очагового») земледелия, максимально приспособленного к природно-климатическим условиям этого региона.

Ключевые слова: потепление климата, аридные экосистемы, травяные сообщества, поголовье сайгаков, лесные культуры.

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. Прогнозируются необратимые катастрофические природные явления: затопление освоенных территорий, таяние вечной мерзлоты, сдвиг географических природных зон. В изначально засушливых регионах ожидается усиление процессов аридизации и климатического опустынивания, более того, в некоторых прибрежных государствах предостерегается невозможность проживания населения вследствие повышения относительной влажности воздуха до опасного уровня, при котором затрудняется испарение с поверхности кожи. (Барталев и др., 2008; Золотокрылин, Титкова, 2010; Аненхонов, 2012; Chen, Weber, 2014; Liu et al., 2014; Han et al., 2015; Christoph, 2015).

К сожалению, значительная часть научных публикаций имеет прогнозный характер. При этом, пороговой величиной возникновения необратимых процессов в экосистемах принято считать повышение среднегодовой температуры воздуха выше 2°C (Lewin, 1985; Логофет и др., 2005;

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Программы «Биоразнообразие природных систем. Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга». Автор благодарен к.б.н. А.В. Колесникову за помощь в организации полевых работ и сборе материала.

Голубятников, Денисенко, 2007; Черенкова, Золотокрылин, 2012; Zeppel et al., 2014). Между тем, в некоторых регионах России с середины XX в. такое потепление климата уже произошло, например, в Северном Прикаспии, междуречье Волги и Урала (Сапанов, Сиземская, 2010, 2015).

Цель данной работы – на основе 60-летних инструментальных наблюдений показать общий сценарий развития и динамики естественных экосистем и рукотворных сельскохозяйственных ландшафтов Прикаспийского региона под влиянием изменения климата.

Объекты и методы исследований

Работа выполнена на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН (49° 23' с.ш. и 46° 47' в.д.), который расположен вблизи оз. Эльтон, где с середины XX в. ведется постоянный мониторинг природно-климатических условий и опубликовано более 800 научных работ, значительная часть которых посвящена особенностям функционирования природных экосистем (Сапанов и др., 2012).

Территория стационара репрезентативна для ландшафтов суббореальных полупустынь Северного Прикаспия и представляет собой почти идеальную равнину с тяжелосуглинистыми отложениями и разреженной гидрографической сетью небольших рек и озер. Основная часть территории представлена трехчленным комплексным почвенным покровом, в котором значительная часть всей площади приурочена к автоморфным микроповышениям рельефа (~75%) и занята солончаковыми солонцами и слабозасоленными светло-каштановыми почвами, на которых, соответственно, произрастают низкопродуктивные полукустарничковые и злаково-полукустарничковые сообщества. Остальная площадь (~25%) – это локальные блюдцеобразные понижения (так называемые, западины и падины), занятые незасоленными полугидроморфными лугово-каштановыми почвами с богатой разнотравно-злаковой растительностью (Роде, Польский, 1961). В данной работе рассматриваются именно эти сообщества западин, как наилучший индикатор динамики растительного покрова этой территории.

Засоленные грунтовые воды (5-10 г/л) залегают на глубине около 5.5 м в пределах материнской породы тяжелосуглинистого состава при мощности капиллярной каймы менее 3 м. Под локальными понижениями рельефа имеются пресные воды линзового характера. Они периодически образуются вследствие инфильтрации талых вод во время весеннего снеготаяния. Эти линзы как бы «плавают» на поверхности более тяжелой соленой воды. Их размеры зависят от размеров понижений. Грунтовые воды застойные вследствие равнинности территории и отсутствия разгрузки в гидрографическую сеть. Поэтому отмечается зеркальная мозаичность типов почв и минерализации грунтовых вод под ними (Распопов, 1956; Роде, Польский, 1961; Киссис, 1963).

В работе рассматриваются особенности динамики уровня воды в Каспийском море и небольшом оз. Челкар. Эти водоемы были выбраны нами в связи с наличием данных по динамике их уровней во времени. Каспийское море является самым крупным водоемом в мире, расположено в замкнутом понижении на стыке Европейского и Азиатского континентов и лежит на 27 м ниже уровня мирового океана. Длина моря около 1030 км, максимальная ширина – 435 км, минимальная – 196 км. Глубина более 1000 м (в южной части), водосборная площадь – свыше 3.1 млн. км². Вся территория Прикаспийской низменности относится к водосборной площади Каспия.

Бессточное оз. Челкар (50° 33' с.ш. и 51° 41' в.д.) имеет средний диаметр около 16 км при средней глубине 5 м и располагается выше уровня Каспийского моря на 43 м. Площадь водосбора – около 4 тыс. км². Вода горько-соленая (Сапанов, 2010). Это озеро, территория Джаныбекского стационара и Каспийское море равноудалены друг от друга на расстояние 350-400 км.

Погодные условия представлены, преимущественно, по данным Джаныбекской метеостанции Казгидромета, которая расположена в 4 км к СВ к ССВ от стационара. Испаряемость вычислялась за каждый месяц вегетационного сезона (апрель-сентябрь) с использованием средних многолетних месячных данных по температуре и относительной влажности воздуха по формуле Н.Н. Иванова (1962).

На стационаре проводятся комплексные наблюдения за многими показателями изменения природных условий: режимом грунтовых вод, ежегодным формированием снежного покрова и особенностями его таяния, максимальной ежегодным формированием фитомассы растительных сообществ, развитием и состоянием лесонасаждений. Эти наблюдения проводятся по стандартным

методикам, которые приняты в экологии и многократно апробированы, в том числе, в приводимой здесь литературе.

Результаты и обсуждение

Динамика температуры воздуха и атмосферных осадков. Климат района исследований резкоконтинентальный с амплитудой температур воздуха 80° (от -40°C зимой до $+40^{\circ}\text{C}$ летом) и засушливый, с преобладанием испаряемости (1002 мм) над годовым количеством осадков (291 мм), более чем в три раза. При этом, изменчивость климата обуславливает возникновение периодов большего и меньшего увлажнения (Роде, 1959; Динесман, 1960; Сапанов, Сиземская, 2015).

Средняя температура воздуха за гидрологический год $+7.4^{\circ}\text{C}$ (амплитуда 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 $+21.0^{\circ}\text{C}$ до $+16.1^{\circ}\text{C}$).

Сравнение данных среднегодовых температур воздуха на Джаныбекском стационаре с аналогичными показаниями расположенных вблизи него метеостанций Росгидромета Александров Гай и Эльтон (150 км и 35 км соответственно), выявляют тесную сопряженность колебаний по годам ($r=0.95$, $r=0.96$ соответственно, $P>0.99$), с некоторым различием по величине среднегодовых температур (6.6°C и 8.4°C соответственно). Это говорит об отсутствии обособленности нашего объекта от прилегающей равнинной территории по температурному режиму воздуха. Отметим, что аналогичная ситуация наблюдается и по количеству выпадающих атмосферных осадков.

Прямолинейный тренд среднегодовой температуры воздуха на стационаре за весь период исследований выявил ее повышение на 2.2°C ($0.035^{\circ}\text{C}/\text{год}$). Это связано, в основном, с постепенным потеплением холодного периода года на 3.1°C ($0.05^{\circ}\text{C}/\text{год}$), а теплого на 1.4°C ($0.023^{\circ}\text{C}/\text{год}$). Средняя температура осенне-зимнего периода повышалась постепенно, и уже в начале 2000-х годов часто была около 0°C , однако затем с 2008 г. началось заметное похолодание. И, наоборот, средняя температура воздуха за весенне-летний период мало изменялась в течение многих десятилетий, и лишь с 2005 г. обозначился ее подъем (рис. 1). Как видим, в конце первого десятилетия 2000-х годов переменялась направленность трендов температур холодного и теплого периодов года. Это указывает на непостоянство сценария регионального потепления климата и затрудняет прогнозы.

Увеличение температуры воздуха в 1966-1995 гг. за зимне-весенний сезон на 1°C на территории Прикаспия и Тургая было отмечено Т.Б. Титковой (2003). Такую особенность потепления она объясняет увеличением влияния Атлантики на термический режим данной территории, особенно в холодный период.

Для нормального функционирования аридных экосистем кроме изменения температурного режима воздуха, большое значение имеет изменение увлажненности территории. Среднее количество осадков здесь составляет 291 мм. На холодный период года приходится 135 мм (с амплитудой 150-498 мм), при месячной норме 18-25 мм. Основная часть этой влаги перераспределяется по площади и депонируется в почвогрунте. На теплый период приходится 156 мм (с амплитудой 44-354 мм), при месячной норме 22-33 мм. Эта влага сразу же участвует в эвапотранспирации наземных экосистем или же испаряется из водоемов. Испаряемость в теплое время года (апрель-сентябрь) многократно превышает количество осадков, достигая в июле максимума – 232 мм.

За все время исследований линейный тренд количества осадков выявил их увеличение за гидрологический год ($0.63^{\circ}\text{мм}/\text{год}$), главным образом, за счет выпадения в весенне-летние месяцы и в определенный период 1987-1994 гг. (рис. 2). Постепенное увеличение осадков в этот период при незначительном изменении температуры воздуха вызвало повышение относительной влажности воздуха и понижение испаряемости (в основном, в апреле – июле и сентябре). Тем самым улучшились климатические условия для жизнедеятельности живых организмов.

Ежегодное состояние вегетационного сезона охарактеризовано нами видоизменным коэффициентом увлажнения (Реймерс, 1990), который отличается от общеизвестного отношением годового количества осадков не к годовой величине испаряемости, а к испаряемости вегетационного сезона (апрель-сентябрь). Коэффициент увлажнения (Реймерс, 1990) вычисляется делением количества доступной воды на эвапотранспирацию наземных экосистем, в том числе, накопленной влаги в почве (мм), на ежегодную испаряемость (мм). Биологический и физический смысл этого коэффициента заключается в выявлении степени увлажненности вегетационного сезона (Реймерс,

1990; Сапанов, 2006, Сапанов, Сиземская, 2010, 2015). Полученные значения этого коэффициента указывают на существенное повышение увлажненности рассматриваемой территории в 1980-1994 гг.

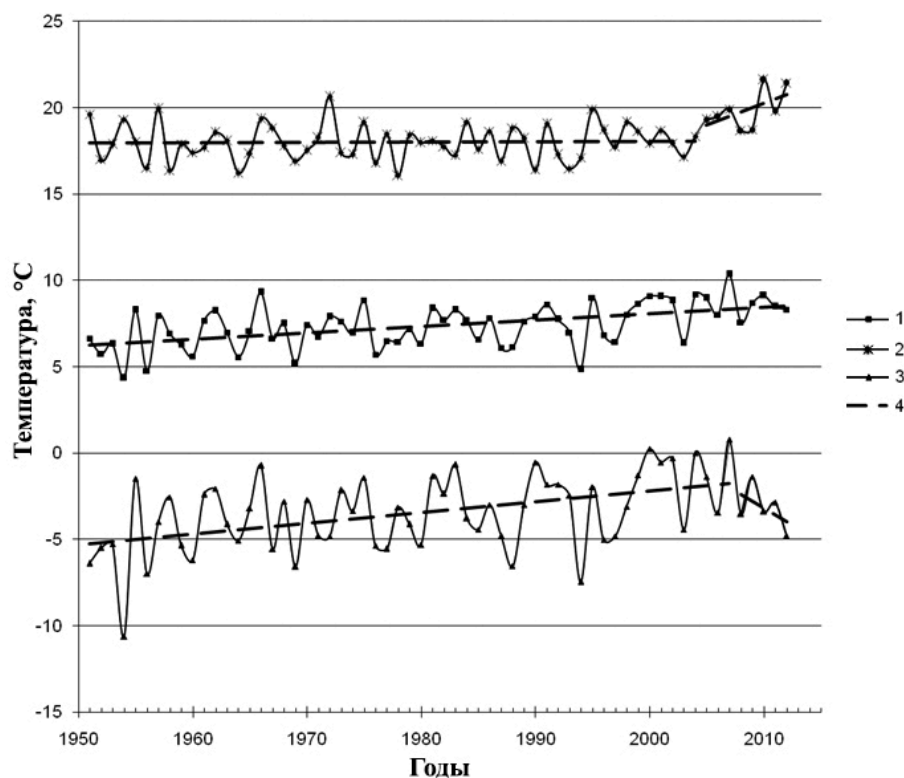


Рис. 1. Динамика среднемесячной температуры воздуха в Северном Прикаспии. Условные обозначения: 1 – за гидрологический год, 2 – за теплый период года, 3 – за холодный период года, 4 – прямолинейные тренды показателей за те же периоды.

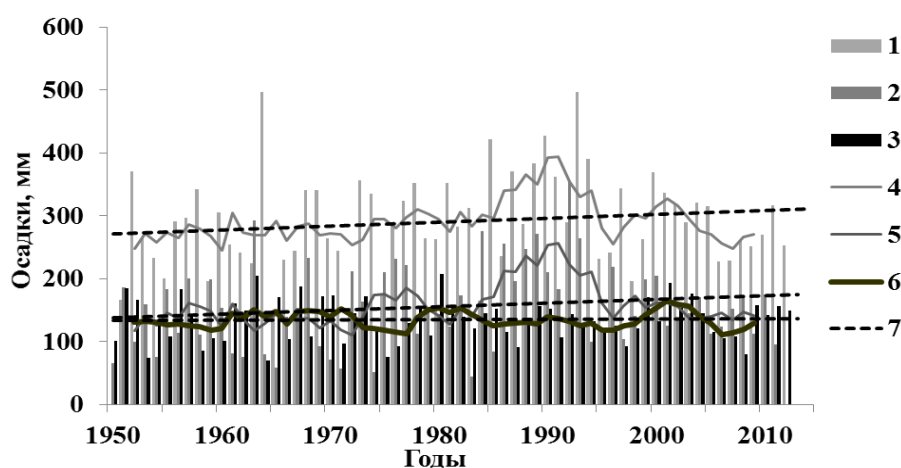


Рис. 2. Динамика сумм осадков в Северном Прикаспии. Условные обозначения: 1-3 – за гидрологический год, за теплый и холодный периоды года, соответственно, 4-6 – те же значения, выровненные методом 5-летних скользящих, соответственно, 7 – прямолинейные тренды тех же значений.

Таким образом, в Северном Прикаспии, за более чем полувековой период произошла существенная трансформация климатических условий, связанная, в значительной степени, с потеплением воздуха на 2.20°C , и возникновением периодичности в увлажненности территории за АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 1 (74)

счет изменения количества осадков. При этом отчетливо выделяется период максимального (1980-1994 гг.) и минимального (2000-е годы) увлажнения, которые и обусловили за время наблюдений наиболее заметные динамические процессы в экосистемах этого региона.

Динамика уровней грунтовых вод и уровней воды в водоемах. Наиболее существенное влияние климат оказал на динамику уровня грунтовых вод в период повышенной увлажненности территории (1980-1994 гг.). Уровень грунтовых вод в это время поднялся более чем на 2 м с глубины 6.5-7 м до отметки 4.4-4.8 м от поверхности земли. Эти динамические явления в застойных грунтовых водах на равнинной территории обусловлены: (а) подъемом его уровня вследствие поступления воды при инфильтрации атмосферных осадков во время снеготаяния и (б) его опусканием из-за физического испарения влаги с поверхности почвы и десукции растительных сообществ (Распопов, 1956; Роде, Польский, 1963; Сапанов, 2006, 2007).

На равнинной территории Северного Прикаспия грунтовые воды пополняются, преимущественно, по локальным понижениям мезо- и микрорельефа (так называемое, потускулярное водоснабжение). Ежегодное приращение уровня (от нескольких до десятка сантиметров) происходит во время снеготаяния при сквозном промачивании почвогрунта. Существенное же приращение происходит в случае заполнения понижений рельефа талыми водами при весеннем поверхностном стоке. Инфильтрация этой влаги в почвогрунт образует водяные купола в несколько метров, которые затем постепенно исчезают с образованием пресных линз, плавающих на соленых грунтовых водах. Как видим, динамический процесс осложнен еще и гидростатическим выравниванием зеркала грунтовой воды.

Заполнение локальных понижений рельефа талыми водами зависит от мощности снежного покрова, глубины промерзания почв и скорости нарастания температуры воздуха при снеготаянии. Обычно весенний поверхностный сток талых вод происходил периодически, через каждые 2-5 лет. Однако после 1994 г. значимого стока не было 15 лет подряд. С этого времени уровень грунтовых вод начал понижаться как за счет уменьшения приходной части баланса, так и вследствие увеличения общей засушливости климата (рис. 3 №№1-3). Сезонное опускание уровня грунтовых вод происходит тем быстрее и ниже, чем жарче и суше было лето. Зимой уровень воды стабилизируется, что еще раз указывает на их застойность и отсутствие процессов интенсивного подземного оттока и/или притока влаги. При этом, мощная толща зоны аэрации в почвогрунте, которая располагается над капиллярной каймой, является своеобразным буфером и ограничивает ежегодное испарение влаги из грунтовых вод (Роде, 1959; Распопов, 1956; Киссис, 1963; Сапанов, 2007, 2010; Барабанов и др., 2012).

В период повышенной увлажненности территории (1980-1994 гг.) не только поднялся уровень грунтовых вод, но и все периодически обсыхающие водоемы на изучаемой территории были всегда заполнены водой. В дальнейшем, отсутствие поверхностного стока вызвало обмеление или даже пересыхание небольших водоемов (особенно, прудов), которые впоследствии заполнились лишь в 2010-2011 гг. Как видим, общая водность территории также обусловлена частотой и мощностью поверхностного весеннего стока талых вод.

Нами была проанализирована динамика уровней грунтовых вод на стационаре и уровней воды в озере Челкар и Каспийском море. Выявлена тесная сопряженность современных флуктуаций уровней воды, несмотря на несоизмеримость площадей водосборов рассматриваемых водоемов, их акваторий, объемов речного стока и других параметров (рис. 3, №№ 4-5). Ранее аналогичные выводы были получены А.В. Шнитниковым для всего Волжского бассейна (Шнитников, 1969).

Известно, что уровень воды любого открытого водоема не изменяется при равенстве приходно-расходных статей баланса. В рассматриваемых водоемах суммарная высота необходимого ежегодного приращения слоя воды должна быть соизмерима с величиной естественной ее убыли вследствие испарения (около 1000 мм). Сопряженность динамики уровней воды в оз. Челкар и Каспийском море, очевидно, обусловлена одним механизмом погашения дефицита воды в водоемах. Имеется в виду одновременное их наполнение и обеспечение одинаковой мощности водяного слоя, несмотря на несоизмеримость площадей водосбора и объемов речного стока, а также одинаковая ежегодная толщина испаряющегося слоя воды с поверхности этих водоемов (Сапанов, 2007, 2010).

В Каспийском море и оз. Челкар ежегодный подземный приток-отток воды, как и в грунтовых водах, очевидно, также ничтожно мал и не может обеспечить заметную флуктуацию мощности слоя воды из-за равнинности рельефа территории и отсутствия гидростатического напора. Тенденция к

повышению уровня воды в водоемах возникает при значительном возрастании объема речного стока, увеличении осадков *in situ* и/или уменьшении засушливости теплого периода года. Такая ситуация, очевидно, сложилась в 1980-1994 гг., когда уровни воды в оз. Челкар и Каспийском море поднялись более чем на 2 м. Понижение уровней происходит при снижении поступления воды и/или увеличения засушливости теплого периода года, как это произошло в дальнейшем (Сапанов, 2007, 2010).

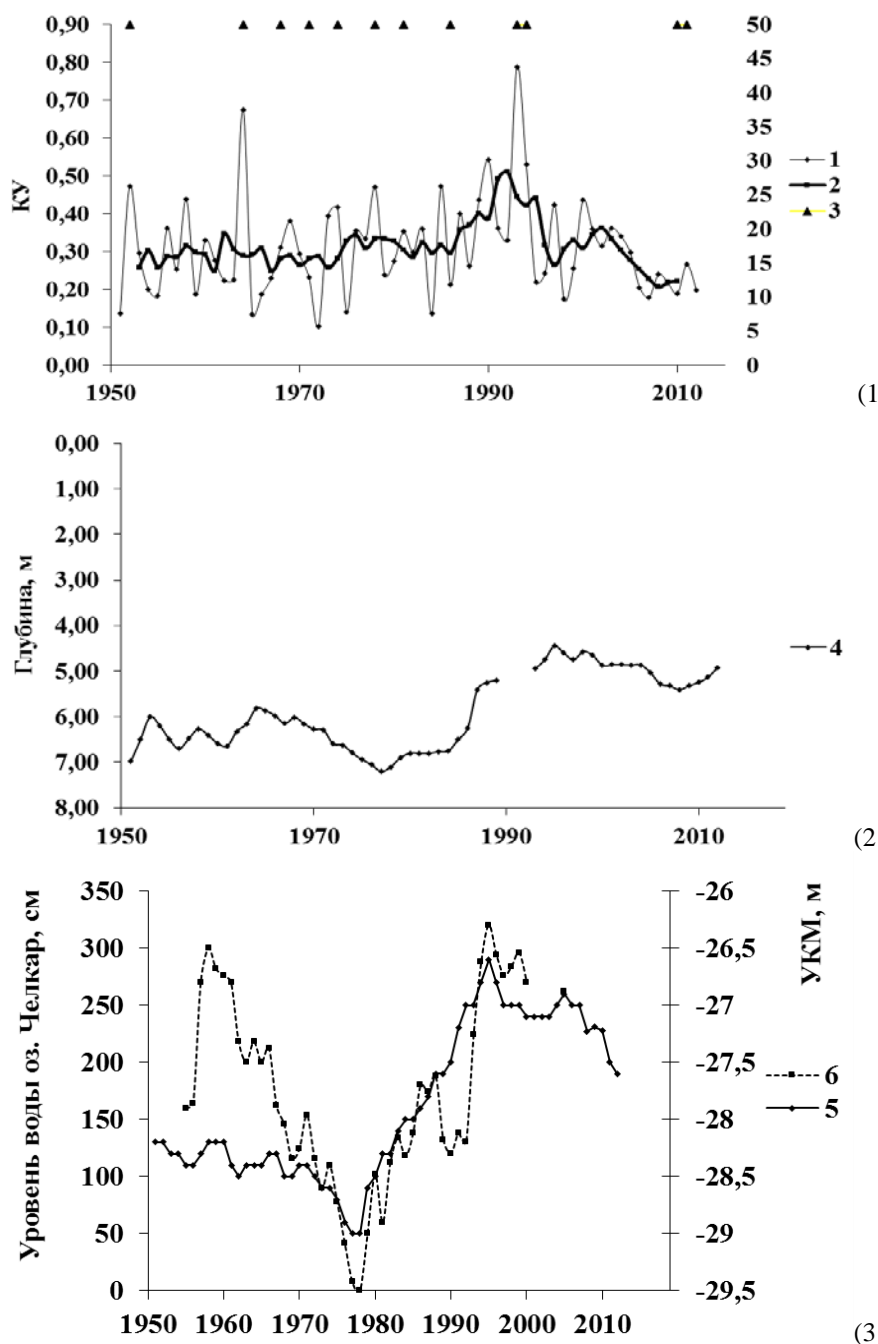


Рис. 3 (1-3). Динамика показателей природной среды. Условные обозначения: 1 – коэффициент увлажнения, 2 – то же, выровненное методом 5-летних скользящих, 3 – годы интенсивного весеннего стока талых вод в понижения рельефа, 4 – глубина залегания уровня грунтовых вод, 5 – абсолютное значение уровня Каспийского моря (УКМ), 6 – уровень оз. Челкар по мерной линейке, 7-9 – продуктивность степных сообществ: значения истинные, вычисленные по линейному уравнению и сглаженные 5-летними скользящими, соответственно, 10-11 – поголовье сайгаков и добытые из него особи, соответственно.

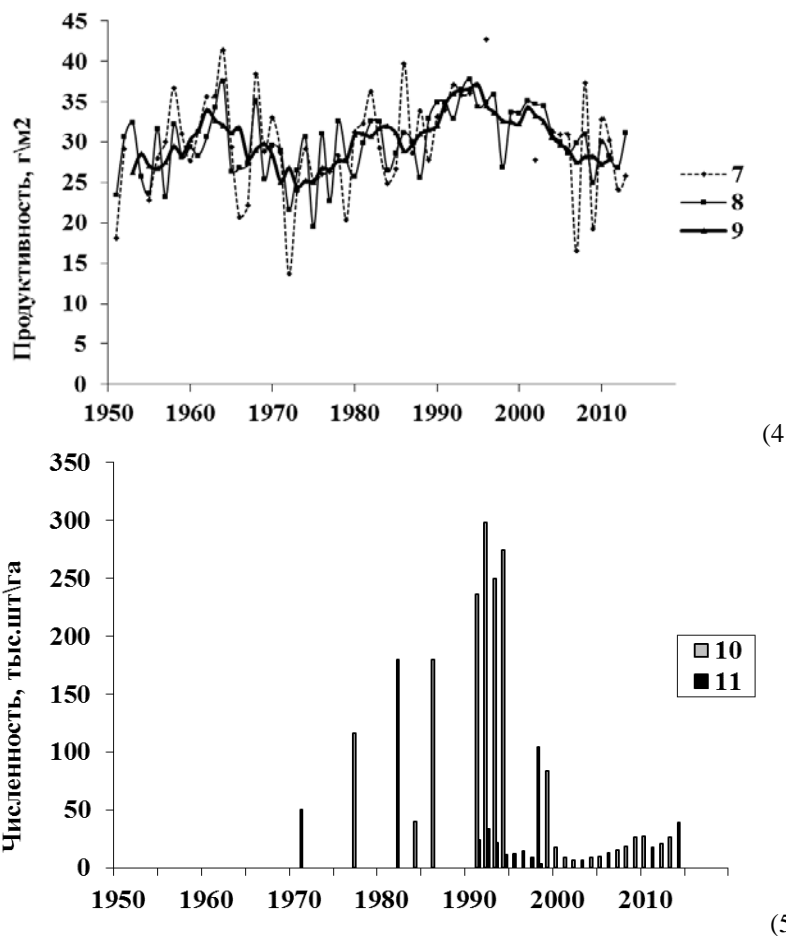


Рис. 3 (4-5). Динамика показателей природной среды. *Условные обозначения:* 3 – годы интенсивного весеннего стока талых вод в понижения рельефа, 4 – глубина залегания уровня грунтовых вод, 5 – абсолютное значение уровня Каспийского моря (УКМ), 6 – уровень оз. Челкар по мерной линейке, 7-9 – продуктивность степных сообществ: значения истинные, вычисленные по линейному уравнению и сглаженные 5-летними скользящими, соответственно, 10-11 – поголовье сайгаков и добытые из него особи, соответственно.

В связи с вышеизложенным, сокращается площадка для дискуссий о причинах «внезапного» долговременного опускания или подъема уровня Каспийского моря. Увлекательный поиск возникновения ежегодной «невязки» в динамике его уровня, при несовершенстве расчетов водного баланса, породил не только множество гипотез, но даже практическое отделение дамбой моря от залива Кара-Богаз-гол (Михайлов, Рычагов, 1998; Апле и др., 2002). Теперь, прежде чем объяснить динамику уровня Каспийского моря не изменением климата, например, а влиянием геологических или антропогенных факторов, необходимо также доказать их влияние на уровни оз. Челкар и на грунтовые воды Прикаспийской низменности, которые, кстати, занимают командное положение относительно уровня моря.

Итак, обоснованно можно считать, что динамика уровня грунтовых вод в глинистых почвогрунтах Северного Прикаспия, и уровней воды оз. Челкар и Каспийского моря, а также общая обводненность региона обусловлены чередованием периодов разной увлажненности на фоне постепенного повышения среднегодовой температуры воздуха. Образно говоря, динамические изменения уровня грунтовых вод Прикаспия и уровней воды в рассматриваемых водоемах можно представить как общее климатогенное «водяное дыхание» огромной территории.

Динамика фитомассы целинной степной растительности. На Джаныбекском стационаре достаточно подробно изучены особенности функционирования целинных травяных сообществ:

биологическое разнообразие, строение корневых систем, формирование годичной и сезонной продуктивности, а также влияние на них многих факторов природной среды, например, водно-солевого режима почв, погодно-климатических условий и др. (Гордеева, 1957; Гильманов, Иващенко, 1990; Оловянная, 2004; Новикова и др., 2004, 2007; Вышивкин, 2010; Сапанов, Сиземская, 2010; 2015; Сиземская, 2013).

Мониторинг ежегодной продуктивности целинной растительности (пустынных, полупустынных и степных сообществ) в течение длительного времени (с 1952 г.) позволил выявить природные факторы, обуславливающие накопление фитомассы и сукцессионные процессы (Оловянная, 2004; Сапанов, Сиземская, 2010, 2015). Удалось вскрыть причины волнообразной динамики продуктивности растительности. При этом, во всех сообществах выявлена достоверная (отрицательная или положительная) корреляционная зависимость ежегодной продуктивности 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).

Например, для сообществ с преобладанием злаков (рис. 3, №№ 7-9) с помощью составленного уравнения с элиминированием значительных амплитуд ежегодных амплитуд продуктивности трав (методом аппроксимации данных 5-летними скользящими) было выявлено, что в совокупном коэффициенте детерминации ($R^2=0.82$) на уровень грунтовых вод приходится 13%, зимние осадки – 37% и весеннюю испаряемость – 32%.

$$Y=41.989-0.017a+0.238b-0.037c, \quad (1)$$

где, Y – продуктивность ($г/м^2$ в год), a – уровень залегания грунтовых вод (см), b – сумма осадков за декабрь-январь (мм), c – испаряемость за май-июнь (мм).

Данное уравнение является вполне рабочим и адекватным, что доказывается тесной связью ($r=0.61$, $P>0.99$) вычисленных значений продуктивности сообщества с преобладанием злаков с используемым в модели коэффициентом увлажнения (Сапанов, Сиземская, 2015).

Как видим, вопреки ожиданиям существенное потепление климата 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 1980-1994 гг. Например, именно в этот период на солончаковых солонцах произошла смена доминирующей полыни черной (*Artemisia pauciflora*) на более мезофильный прутняк (*Kochia prostrata*; Вышивкин, 2010; Сапанов, Сиземская, 2010).

Таким образом, выявленная цикличность и положительный линейный тренд изменения продуктивности естественных степных сообществ травянистых растений объясняется разными периодами увлажненности территории на фоне потепления климата. При этом, общее повышение температуры воздуха более чем на $2^{\circ}C$ не нарушает динамически-равновесного состояния и функционирования этих экосистем, и не способствует проникновению новых видов растений.

Динамика численности диких копытных животных на примере сайгака (Saiga tatarica L.). Поголовье сайгаков в междуречье Волги и Урала, как наиболее чувствительного индикатора состояния природной среды, колеблется в значительных пределах: от сотен тысяч до нескольких тысяч голов. При этом до сих пор остается дискуссионным вопрос о саморегуляции их численности во времени. Во многих случаях динамику их поголовья связывают со сменой внутривидовой структуры соотношения полов, вспышками болезней и хищников, возникновением зимних джудов, изменением видового разнообразия кормовых угодий, прямыми и косвенными антропогенными воздействиями (Милнер-Гулланд, 2009; Неронов и др., 2013; Buuveibaatar et al., 2013; Абатуров, Джапова, 2015; Сапанов, 2015).

Анализ динамики численности сайгаков, мигрирующих в пределах Волго-Уральского междуречья, проводится по результатам ежегодного учета, которые публикуются сотрудниками Института зоологии Казахстана, начиная с 1990-х годов (Грачев и др., 2009; Грачев, 2011, и др.). До этого времени известны лишь отрывочные данные. Обращает на себя внимание, что в 1980-1994 гг. насчитывались сотни тысяч животных. Именно на это время приходится промышленный отстрел

животных (1991-1998 гг.). С 1995 г. численность начала снижаться, даже несмотря на запрет на их добычу, и уже в 2000 г. сайгаков было всего 17.5 тыс. шт. Меньше всего их стало в 2002-2003 гг. (6.9 и 6.5 тыс. шт. соответственно). В дальнейшем поголовье опять начало увеличиваться (рис. 3 №№ 10, 11). Как видим, условно можно выделить три периода: высокой численности животных (1991-1994 гг.), постепенного уменьшения их количества (1995-1999 гг.) и стабильно малочисленного поголовья (с 2000 г.). Аналогичная динамика численности сайгаков наблюдалась и в других группировках Казахстана и России (Абатуров, 2007; Неронов и др., 2013).

Проведенный анализ состояния природно-климатических условий мест обитания сайгаков предоставляет возможность выявления причин изменения их численности во времени. Прежде всего, обращает на себя внимание то, что наибольшее количество животных в сотни тысяч особей насчитывалось в период повышенной увлажненности региона с высокой продуктивностью сообществ травянистых растений и наполненностью водоемов (1980-1994 гг.). И наоборот, сокращение численности животных началось вслед за ухудшением условий мест их обитания. Эти закономерности указывают на то, что периодичность в изменении численности животных, по-видимому, обусловлена климатогенным изменением кормовых и водных ресурсов региона. К.С. Ходашова (1960) также считала, что распространение сайгаков зависит от размещения пастбищ и мест их водопоя.

Отметим, что статистическое сравнение динамики численности сайгаков с изменениями природно-климатических условий затруднено многофакторностью и нелинейностью связей, а также незначительным количеством лет наблюдений за их поголовьем (25 лет). Тем не менее, проведенный корреляционный анализ показал достоверную зависимость (при $P > 0.05$) численности сайгаков от количества осадков за теплое полугодие ($r=0.49$), температуры воздуха за весь год ($r=-0.50$), относительной влажности воздуха и испаряемости весенне-летнего сезона ($r=0.48$, $r=-0.51$, соответственно). Иными словами, на жизнедеятельность сайгаков благоприятно влияет увлажненность теплого полугодия и уменьшение континентальности климата, что подтверждается также достоверной связью численности животных с интегральным коэффициентом увлажнения ($r=0.53$) и годичной продукцией надземной фитомассы сообществ злаков в локальных понижениях рельефа ($r=0.40$). Интересно, что прослеживается достоверное положительное влияние ($r=0.54$) на численность сайгаков запасов воды в снеге. Очевидно, это связано с тем, что в зимний период снег для этих животных является единственным источником воды (Сапанов, 2016).

Как видим, тренд динамики поголовья животных совпадает с характерным изменением климата, влияющим как на продуктивность растительного покрова (насыщенность кормовой базы), так и на водность территории (количество мест водопоя). Иными словами, по-видимому, именно эти показатели природных условий регулируют размножение и сохранность сайгаков.

Особенности выращивания культурных растений. На рассматриваемой территории широко распространены посадки древесно-кустарниковых культур и посевы зерновых культур.

Лесные культуры. В Северном Прикаспии на автоморфных типах почв нормальное состояние древостоев возможно лишь при дополнительном почвенном водоснабжении, необходимом для обеспечения транспирации деревьев в течение всего вегетационного сезона. Летние осадки лишь улучшают условия вегетации, смягчая атмосферную засуху (Сапанов, 2003).

На равнинных территориях дополнительное накопление влаги в почве возможно только за счет перераспределения снега в пользу лесонасаждений. Поэтому тенденция потепления холодного периода года отрицательно сказывается на количестве твердых осадков, а также увеличивает вероятность выпадения мокрого снега, который не переносится при метелях (Сапанов, 2003, 2006).

Наилучшие условия для развития лесонасаждений сложились в период повышенной увлажненности территории (1980-1994 гг.), когда усыхание деревьев в лесонасаждениях было минимальным или его не было вовсе. До этого периода и после него ухудшение состояния лесных культур наблюдалось достаточно часто. Процесс усыхания деревьев усиливается в экстремально засушливые годы (например, в 1972 г.), наибольшая массовая гибель и распад древостоев происходит при повторении засухи из года в год (например, в 2006-2007 гг.). На автоморфных типах почв такие погодные условия не дают деревьям нормально завершить сезонный цикл развития и накопить запас питательных веществ для следующего года (Сапанов, 2005, 2006).

Нормальная жизнедеятельность лесонасаждений возможна лишь при наличии доступных

грунтовых вод (на гидроморфных лугово-каштановых почвах понижений рельефа). Но даже здесь необходимо применять особые технологии лесокультурных работ (по ассортименту видов и размещению древостоев на территории) для минимизации транспирационных расходов деревьев и кустарников с целью исключения вертикального межпластового водообмена с нижележащими засоленными подземными водами. Только при соблюдении этих условий древостои могут существовать здесь неопределенно долго (Сапанов, 2003, 2005, 2006).

Как видим, современное масштабное лесовыращивание на зональных типах почв в аридных регионах России, очевидно, малоперспективно вследствие вероятного дальнейшего ухудшения условий влагообеспеченности в результате потепления климата. В то же время, возможно создание максимально адаптированных небольших локальных лесоаграрных оазисов для нужд фермерских хозяйств (Сапанов и др., 2015).

Сельскохозяйственные культуры. В Северном Прикаспии зерновое направление было развито повсеместно, хотя данная территория считается зоной рискованного земледелия (Большаков и др., 1983; Сапанов и др., 2015). Это было возможно потому, что данное направление дотировалось государством. В некоторые годы засуха полностью губила посевы на корню (например, в 1972 г. и 1975 г.). Наибольший урожай зерновых был собран в 1978 г., урожаи были стабильными и выше средних значений в годы повышенного увлажнения (1980-1994 гг.). В годы последующих засух урожаи зерновых были настолько малы, что почти все зерноводческие хозяйства разорились. Сохранились лишь предприятия племенного животноводства, которые до сих пор поддерживаются государством, что позволяет им выращивать немного зерновых культур в качестве своего страхового фонда. Основная часть сельскохозяйственных полей заброшена. Появляющиеся небольшие частные фермерские хозяйства посевами зерновых культур не занимаются (Сапанов и др., 2015).

Таким образом, в рассматриваемом регионе выращивание в промышленных масштабах лесных насаждений и зерновых культур малоперспективно не только вследствие их экологического несоответствия условиям местопроизрастания, но и циклической изменчивости климатических условий, что не позволяет дотировать из года в год эти производства государством в течение длительных засушливых периодов. На наш взгляд, наиболее перспективным здесь является фермерское самокупаемое животноводческое направление с обустройством небольших социально значимых лесоаграрных оазисов для личных нужд.

Заключение

В полупустынном междуречье Волги и Урала в Северном Прикаспии с середины XX века произошло постепенное повышение ежегодной средней температуры воздуха на 2.2°C, в большей степени, за счет холодного периода года. На этом фоне выявлены сменяющие друг друга периоды снижения депрессий снижения и подъема общей увлажненности территории за счет колебания сумм летних атмосферных осадков и повторяемости поверхностного стока весенних талых вод.

Климатические изменения обусловили периодичность в уровнях залегания грунтовых вод и в уровнях воды водоемов во времени, а также определили состояние и особенности трансформаций компонентов природных экосистем. При этом, продуктивность естественных травяных сообществ и численность диких копытных животных (сайгаков) остаются в динамически-равновесном состоянии, тогда как искусственные образования (лесопосадки и сельскохозяйственные культуры) оказались неустойчивыми из-за периодов засух, вызывающих необратимое ухудшение состояния и гибель лесонасаждений, а также многолетние неурожаи зерновых культур. Именно поэтому в регионе отмечается переход на животноводческое направление, которое легче приспосабливается к резким колебаниям условий влагообеспеченности.

Устойчивое потепление климата в течение пяти десятилетий дает основание предполагать и дальнейший рост температуры воздуха, однако изменение в последние годы его сценария (повышения за счет теплого периода года, а не холодного) указывает на эфемерность любых долгосрочных прогнозов. По-видимому, на современном этапе крайне сложно определить особенности дальнейшего изменения природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатуров Б.Д. 2007. Популяция сайгака в России и проблемы ее сохранения // Вестник РАН. Т. 77. № 9. С. 785-793.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 1 (74)

- Абатуров Б.Д., Джапова Р.Р.* 2015. Кормовая обеспеченность и состояние сайгаков на степных пастбищах с разным соотношением злаков и разнотравья // Известия РАН. Серия биологическая. № 2. С. 207-214.
- Аненхонов О.А.* 2012. Изучение климатогенной динамики растительного покрова: предпосылки, подходы, перспективы // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». Т. 5. № 3. С. 3-7.
- Апле К., Спорышев П.В., Семенов В.А., Бенгтссон Л., Голицын Г.С., Елисейев В.А., Мелешко В.П., Меццарская А.В., Мохов И.И.* 2002. Исследование причин колебаний уровня Каспийского моря с помощью моделей общей циркуляции атмосферы // Изменения климата и их последствия. С.-Пб.: Наука. С. 165-179.
- Барabanов А.Т., Балычев Р.Д., Смирнов Р.Е.* 2012. Регулирование стока талых вод путем воздействия на снегоотложение и характер промерзания почв // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Агрономия и лесное хозяйство. № 1 (25). С. 1-4.
- Барталев С.А., Жижин М.Н., Лупян Е.А., Матвеев М.Ю., Матвеев А.М., Медведева М.А., Савин И.Ю., Толпин В.А.* 2008. Возможности исследований влияния изменений климата на состояние растительного покрова: концепция проекта CLIVT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 5. № 2. С. 272-278.
- Большаков А.Ф., Эрперт С.Д., Шейнин Л.Б.* 1983. Пути сельскохозяйственного освоения полупустыни. М.: Наука. 72 с.
- Вышивкин А.А.* 2010. Изменение растительности солонцового комплекса Северного Прикаспия вследствие флуктуации климата и прекращения выпаса // География и природные ресурсы. № 1. С. 78-82.
- Гильманов Т.Г., Иващенко А.И.* 1990. Первичная продуктивность экосистем солонцового комплекса глинистой полупустыни Северного Прикаспия // Известия АН СССР. Серия биологическая. № 4. С. 600-611.
- Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А.* 2007. Модельные оценки влияния изменений климата на ареалы зональной растительности равнинных территорий России // Известия РАН. Серия биологическая. № 2. С. 212-228.
- Гордеева Т.К.* 1959. Динамика естественной растительности в полупустыне (на примере Джаныбекского стационара) // Ботанический журнал. Т. 44. № 9. С. 1238-1248.
- Грачев Ю.А.* 2011. Результаты авиаучетов сайгака в Казахстане в 2011 году // Saiga news. Вып. 13. С. 5.
- Грачев Ю.А., Мелдебеков А.М., Бекенов А.Б.* 2009. Численность, структура и воспроизводство популяций сайгака в Казахстане // Степной бюллетень. № 27. С. 47-50.
- Динесман Л.Г.* 1960. Изменение природы северо-запада Прикаспийской низменности. М.: Издательство АН СССР. 159 с.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* 2010. Климатообусловленная динамика лесостепной, степной и полупустынной растительности России и Казахстана // Известия РАН. Серия географическая. № 2. С. 40-48.
- Иванов Н.Н.* 1962. Показатель биологической эффективности климата // Известия Всесоюзного географического общества. Т. 94. Вып. 1. С. 65-70.
- Киссис Т.Я.* 1963. Водный режим темноцветной черноземовидной почвы большой падины под древесным насаждением // Водный режим почв полупустыни. М.: АН СССР. С. 84-126.
- Логофет Д.О., Денисенко Е.А., Голубятников Л.Л.* 2005. Сукцессии в лесостепи в условиях изменения климата: модельный подход // Журнал общей биологии. Т. 66. № 2. С. 136-145.
- Милнер-Гулланд Э.Дж.* 2009. Оценка данных динамики циклов в популяции сайгаков // Saiga news. Вып. 9. С. 9-10.
- Михайлов В.Н., Рычагов Г.И., Повалишников Е.С.* 1998. Являются ли недавний подъем уровня Каспийского моря и его последствия природной катастрофой? // Вестник РФФИ. № 4 (14). С. 51-60.
- Неронов В.М., Арылов Н.Ю., Дубинин М.Ю., Каримова Т.Ю., Луцкекина А.А.* 2013. Современное состояние и перспективы сохранения сайгака в Северо-Западном Прикаспии // Аридные экосистемы. Т. 18. № 2 (55). С. 5-14.
- Новикова Н.М., Волкова Н.А., Хитров Н.Б.* 2004. Растительность Джаныбекского научного стационара // Аридные экосистемы. Т. 10. № 22-23. С. 9-18.
- Новикова Н.М., Хитров Н.Б., Вышивкин А.А., Волкова Н.А., Григорьева Ю.В.* 2007. Оценка изменения растительности на основании крупномасштабного картографирования // Геоботаническое картографирование. С.-Пб.: БИН РАН. С. 30-44.
- Оловяникова И.Н.* 2004. Динамика продуктивности растительного покрова в Заволжской глинистой полупустыне // Ботанический журнал. Т. 89. С. 1122-1137.
- Распопов М.П.* 1956. Опыт расчета баланса грунтовых вод целинных и залежных земель комплексной глинистой северо-западной части Прикаспийской низменности // Вопросы гидрологии целинных и залежных земель. М.: Госгеолтехиздат. С. 32-110.
- Реймерс Н.Ф.* 1990. Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль. 637 с.
- Роде А.А.* 1959. Климатические условия района Джаныбекского стационара // Сообщения лаборатории лесоведения. М.: Издательство АН СССР. Вып. 1. С. 3-40.
- Роде А.А., Польский М.Н.* 1961. Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение,

- механический и химический состав и физические свойства // Труды Почвенного Института им. В.В.Докучаева. Т. 56. С. 3-214.
- Сапанов М.К.* 2003. Экология лесных насаждений в аридных регионах. Тула: Гриф и К. 248 с.
- Сапанов М.К.* 2005. Причины усыхания культур дуба черешчатого на гидроморфных лугово-каштановых почвах Северного Прикаспия // Лесоведение. № 5. С. 10-17.
- Сапанов М.К.* 2006. Условия выращивания защитных лесных насаждений в полупустыне Северного Прикаспия в связи с изменением климата во второй половине XX века // Лесоведение. № 6. С. 45-51.
- Сапанов М.К.* 2007. Синхронность изменения уровней Каспийского моря и грунтовых вод в Северном Прикаспии во второй половине XX века // Известия РАН. Серия географическая. № 5. С. 82-87.
- Сапанов М.К.* 2010. Влияние изменения климата на обводненность Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 16. № 5. С. 25-30.
- Сапанов М.К.* 2015. Состояние поголовья и причины гибели сайгаков в Северном Прикаспии // SELEVINIA. Казахский зоологический ежегодник. Т. 23. С. 194-197.
- Сапанов М.К.* 2016. Влияние природно-климатических факторов на численность сайгаков (*Saiga tatarica* Pall.) в Волго-Уральском междуречье // Поволжский экологический журнал. № 4. С. 445-454.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л.* 2010. Климатогенные изменения травянистой растительности на солончаковых солонцах Северного Прикаспия // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 185-194.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л.* 2015. Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 307-320.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л., Ахмеденов К.М.* 2015. Этапы освоения и современное использование засушливых земель Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 21. № 3 (64). С. 84-91.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л., Колесников А.В.* 2012. Научное наследие Джаныбекского стационара М.: Товарищество научных изданий КМК. 97 с.
- Сиземская М.Л.* 2013. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 276 с.
- Титкова Т.Б.* 2003. Изменение климата полупустынь Прикаспия и Тургая в XX веке // Известия РАН. Серия географическая. № 1. С. 106-112.
- Ходашова К.С.* 1960. Природная среда и животный мир глинистых полупустынь Заволжья. М.-Л.: Издательство АН СССР. 131 с.
- Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н.* 2012. Модельные оценки динамики увлажнения равнин России к середине XXI века // Метеорология и гидрология. № 11. С. 29-37.
- Шнитников А.В.* 1961. Современное состояние юго-востока европейской части СССР с точки зрения внутривековых колебаний климата и его общей увлажненности // Малые водоемы равнинных областей СССР и их использование. М.: Издательство АН СССР. С. 23-31.
- Buuveibaatar B., Young ., Berger J., Fine A., Lkhagvasuren B., Zahler P., Fuller T.* 2013. Factors affecting survival and cause-specific mortality of saiga calves in Mongolia // Journal of mammalogy. Vol. 94. Is. 1. P. 127-136.
- Christoph S.* 2016. Climate extremes heat waves to come // Nature Climate Change. Vol. 6. P. 128-129.
- Chen F., Weber K.* 2014. Assessing the impact of seasonal precipitation and temperature on vegetation in a grass-dominated rangeland // Rangeland Journal. Vol. 36. Is. 2. P. 185-190.
- Han F., Zhang Q., Buyantuev A., Niu J., Liu P., Li X., Kang S., Zhang M., Li Y.* 2015. Effects of climate change on phenology and primary productivity in the desert steppe of Inner Mongolia // Journal of arid land. Vol. 7. Is. 2. P. 251-263.
- Lewin R.* 1985. Plant communities resist climatic change // Science. Vol. 228. P. 165-166.
- Liu Y., Yu D., Su Y., Hao R.* 2014. Quantifying the effect of trend, fluctuation, and extreme event of climate change on ecosystem productivity // Environmental monitoring and assessment. Vol. 186. Is. 12. P. 8473-8486.
- Zeppel M., Wilks J., Lewis J.* 2014. Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in precipitation on plants // Biogeosciences. Vol. 11. Is. 11. P. 3083-3093.