
**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

**ФЕНОМЕН ПРОНИКНОВЕНИЯ
АЗИАТСКОГО МУССОНА НА СЕВЕР АЗИИ**

© 2014 г. О. М. Покровский

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

E-mail: pokrov_06@mail.ru

Поступила в редакцию 09.01.2014 г.

Показано, что аномальные осадки на водосборе р. Амур в 2013 г. имели муссонную природу. Проведен анализ возникновения и эволюции азиатского муссона (АМ), начиная от области его зарождения в западной части Индийского океана и до проникновения на север Азии. Показано, что индексы диполя Индийского океана, Эль-Ниньо и северо-тихоокеанские индексы находились в фазах, способствующих не только максимизации его интенсивности, но и наискорейшему перемещению АМ от области зарождения через территорию п-ова Индостан, юго-восточной Азии и Китая на Дальний Восток России. Благодаря сложившейся композиции климатических индексов в Индийском и Тихом океанах, переувлажненные массы муссонного воздуха принесли минимально возможные потери осадков на своем пути до достижения конечной области. Усилению выпадения муссонных осадков на обширном водосборе р. Амур способствовало и то обстоятельство, что арктическое колебание находилось в отрицательной фазе, что приводило к забросам холодного арктического воздуха в этот регион. Последнее обстоятельство влияло на усиление осадков через механизм ускорения конденсации во влажном воздухе. Отрицательные значения северо-тихоокеанских индексов способствовали развитию блокирующих ситуаций в зональном токе умеренных широт, что локализовало зону выпадения осадков.

Ключевые слова: азиатский муссон, температура поверхности океана, климатические индексы, арктическое колебание, NCEP/NCAR, Дальний Восток России, Азия

DOI: 10.7868/S0205961414050054

ВВЕДЕНИЕ

Наводнение на Дальнем Востоке в 2013 г. явилось необычным явлением природы, поскольку предыдущее подобное явление произошло около 120 лет назад, в конце 19 в. В то же время в последние годы многие связывают любые аномальные погодные явления с изменениями климата. Возникает вопрос, какой из этих ответов более обоснован с научной точки зрения. Вероятно, одно исключает другое. Действительно, в 19 в. речь еще не могла идти об антропогенных изменениях климата, а аналогичное наводнение тем не менее произошло. Следовательно, необходимо искать иные причины, объясняющие данный феномен.

Длительность и устойчивая локализация осадков в бассейне р. Амур указывает на то, что это были преимущественно нециклонические осадки. Они имели природу, более сходную с муссонными, т.е. сезонными и локализованными, дождями. Чрезвычайная интенсивность дождей указывает на то, в этом регионе действовали дополнительные факторы усиления образования осадков. Все это вызывает необходимость более внимательного и обстоятельного исследования

указанного феномена. Тем более что нельзя быть застрахованными от того, что аналогичное событие не повторится в ближайшие годы. Выявление механизмов формирования данного феномена позволит разработать методы его прогнозирования, которые чрезвычайно востребованы со стороны правительства РФ.

Цель данной работы – исследовать причины зарождения и развития указанного феномена на основе строго научных данных, которыми являются результаты гидрометеорологических и океанографических наблюдений. При этом доминирующим вкладом являются данные спутниковых наблюдений. Нами использовались данные реанализа основных полей и соответствующие временные ряды данных NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). Это среднемесячные поля основных физических параметров атмосферы и океана, представленные на регулярной широтно-долготной сетке с шагом 2.5°. С учетом того, что в основном рассматриваются поля над акваторией океанов, данные реанализа преимущественно основаны на данных спутниковых наблюдений, прежде всего, температуры поверхности океана (см. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/>; [3](http://www.</p></div><div data-bbox=)

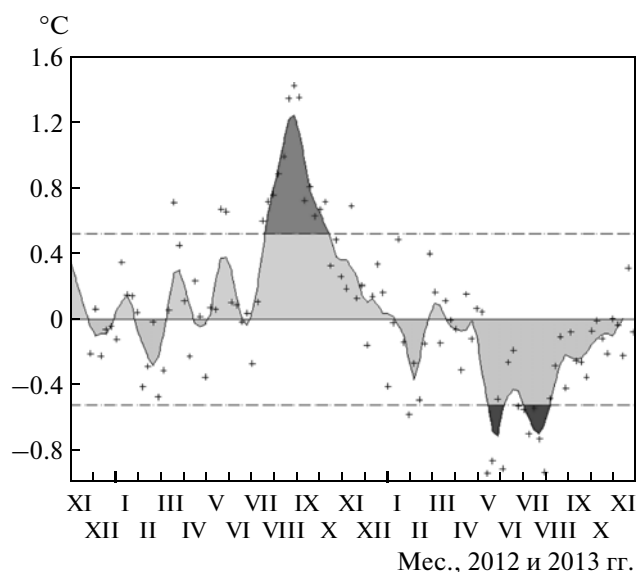


Рис. 1. Внутригодовой ход в 2012–2013 гг. индекса ДИО в Индийском океане (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/>).

[esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/)). Показано, что рассматриваемое явление определяется не локальными, а глобальными факторами. В последующих разделах будут представлены основные этапы развития муссона, начиная с его зарождения в западной части Индийского океана и заканчивая конечной точкой его траектории на территории северной Азии.

Диполь Индийского океана

Азиатский муссон (АМ) берет свое начало в северо-западной части Индийского океана. Его физической основой является бризовая циркуляция атмосферы, когда в летний период вследствие разности температур в системе океан–суша возникает разность атмосферных давлений, приводящая к возникновению воздушного потока в направлении с океана на сушу. Различаются две ветви АМ, возникающие в Арабском море и Бенгальском заливе. Время развития АМ — с июля по сентябрь, направление переувлажненных воздушных масс — с юго-запада на северо-восток. АМ имеет годовую цикличность. Зимой поверхность океана становится теплее суши. В октябре температурный градиент в системе океан–суша меняется на противоположный, что приводит к изменению направления ветров также на противоположное.

В тропической зоне Индийского океана формируются воздушные массы, движущиеся в различных направлениях. Перенос воздушных масс в этой зоне зависит от распределения аномалий температуры поверхности океана (ТПО) и определяется индексом диполя Индийского океана (ДИО),

который связан с разностью средних значений ТПО в двух регионах акватории океана на западе у берегов Африки и на востоке в районе о-вов Индонезии (Yang et al., 2007). При положительных значениях ДИО доминируют ветра, направленные с востока на запад, при отрицательной фазе ДИО преобладают ветра противоположных направлений (Chang et al., 2000). В первом случае воздух в районе восточного берега Африки становится суше и прохладнее, во втором — погода теплее уже в районе Индонезии.

Весной и летом 2013 г. индекс ДИО имел отрицательные значения (рис. 1), а в предшествующем году — противоположный знак. Отрицательное значение индекса ДИО связано с тем, что на западе акватории Индийского океана сформировалась обширная зона малых значений аномалии ТПО (рис. 2), контрастирующей с большими значениями на востоке. Теперь рассмотрим поле средних разностей между полем ТПО за 2013 г. и за три предшествующих года (рис. 3). Здесь можно увидеть, что зона отрицательных значений для аномалий ТПО простиралась с запада акватории Индийского океана до п-ова Индостан и о-ва Суматра на востоке. Это обстоятельство способствовало не только ускорению (по сравнению с предшествующими годами) западно-восточного переноса воздушных масс, но и усилению бризовой циркуляции у берегов Индии и южной Азии. Наряду с этим индексом обычно рассматривается и другой, региональный, юго-западный индекс Индийского океана (ЮЗИО), характеризующий отклонение среднемесячной ТПО от климатических значений в квадрате океана у восточных берегов тропической Африки. В 2013 г. индекс ЮЗИО имел экстремальные отрицательные значения. Соответствующий индекс в восточной части Индийского океана, называемый ЮВИО, принимал положительные значения. Последнее связано с тем, что в регионе индонезийских островов ТПО имело положительную аномалию. На западе Индийского океана возникла область повышенного давления, а на востоке — пониженного, что способствовало увеличению скорости ветра в западно-восточном потоке воздуха. Подобная комбинация аномалий ТПО способствовала ускорению западно-восточного переноса, скорость которого была заметно выше, чем в предшествующем 2012 г. (рис. 4). При таких обстоятельствах основной влагозапас облаков муссона сохранялся на протяжении более длительного пути, и поэтому меньшее, чем обычно, количество осадков выпадало по пути его движения через территорию Индии и стран юго-восточной Азии (Ashok et al., 2001).

Данные рис. 4 показывают, что на окраине юго-восточной Азии воздушная масса муссона поворачивает на север в сторону Китая. Более того, отсюда видно, что навстречу воздушному по-

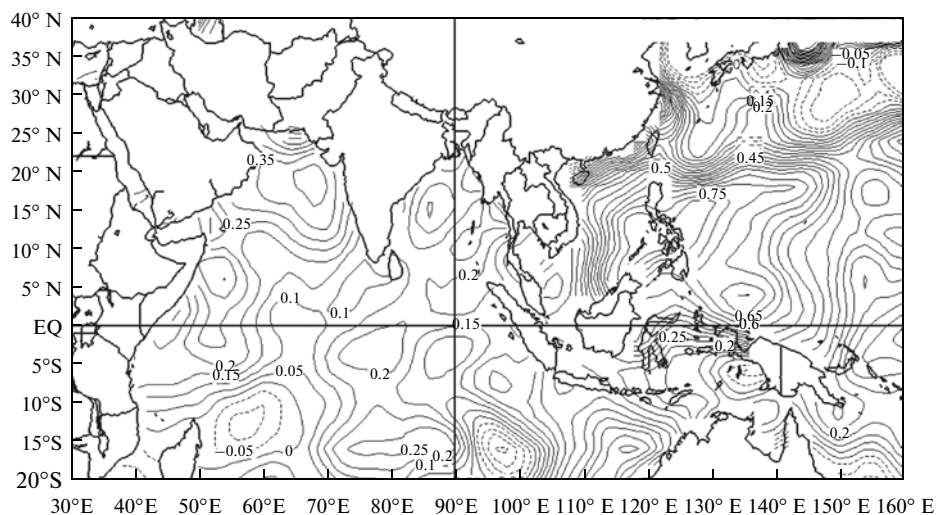


Рис. 2. Поле аномалий ТПО в Индийском океане для марта–мая 2013 г. (ре-анализ NCEP/NCAR).

току муссона на границе Индийского и Тихого океанов движется мощная воздушная масса противоположного направления со стороны Тихого океана, с востока на запад. Последняя воздушная масса определяется влиянием феномена Эль-Ниньо. Следует полагать, что именно наличие этого природного феномена определяет направление и скорость дальнейшего пути АМ (Huang, Wu, 1989).

Роль Эль-Ниньо

Индекс ДИО тесно связан с развитие феномена Эль-Ниньо в тропической зоне Тихого океана. Более точно – это явление называется Эль-Ниньо Южное Колебание (ЭНЮК). С одной стороны, ЭНЮК определяется влиянием океанического течения переменной температуры, которое

распространяется в тропической зоне Тихого океана с востока на запад от берегов Южной Америки в районе Перу. С другой стороны, ЭНЮК зависит от температуры поднимающихся глубинных океанических вод (при апвеллинге) для восходящей ветви глобального океанического конвейера у берегов Перу, с третьей – на ЭНЮК влияют воды холодного перуанского течения (Гумбольдта), приходящего со стороны Антарктиды. Указанные обстоятельства объясняют сложность физического механизма формирования ЭНЮК, которое интересует метеорологов прежде всего с позиции разности атмосферных давлений на западе и востоке тропической зоны Тихого океана. Эта величина называется южным колебанием (ЮК). В свою очередь ЮК зависит от разности значений ТПО по обе стороны Тихого

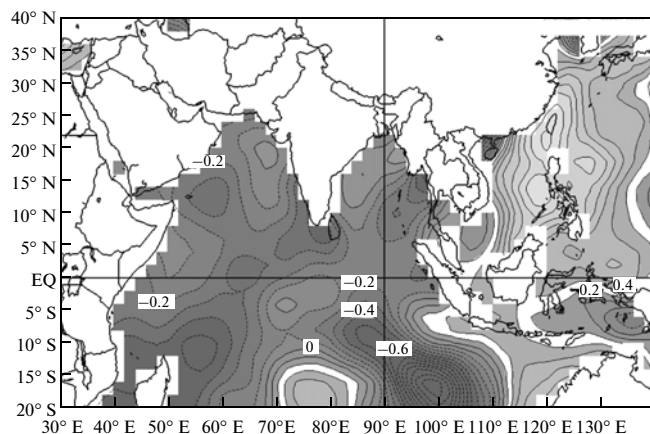


Рис. 3. Поле средних разностей аномалий ТПО в Индийском океане для марта–мая 2013 г. и соответствующих аномалий за 2010–2012 гг. (ре-анализ NCEP/NCAR).

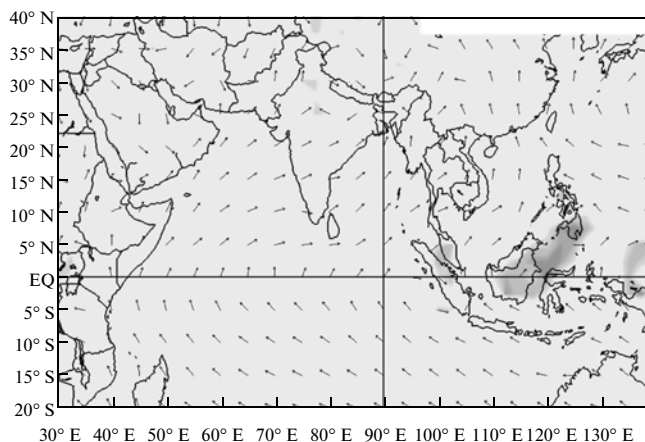


Рис. 4. Поле приземного ветра в июне–июле 2013 г. (ре-анализ NCEP/NCAR).

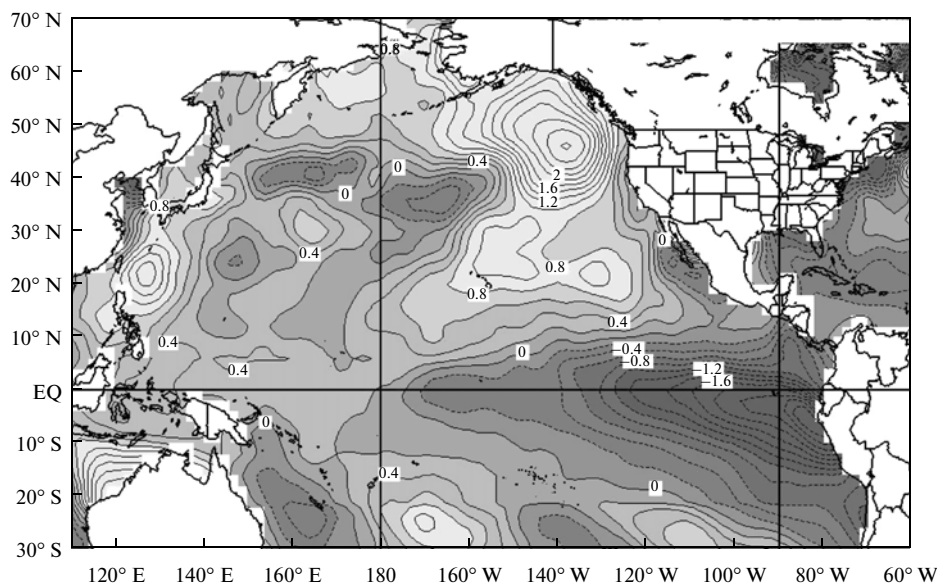


Рис. 5. Поле средних разностей аномалий ТПО в Тихом океане для июня—августа 2013 г. и соответствующих аномалий за 2012 г. (ре-анализ NCEP/NCAR).

океана (Halpert, Ropelewski, 1992). Данные рис. 5 показывают, что летом 2013 г. контраст указанных температур в тропической зоне Тихого океана заметно увеличился. Это означает, что механизм ЭНЮК в 2013 г. дополнительно усиливал разворот и распространение АМ на север от тропиков.

Положительные значения ЮК соответствуют восточно-западному направлению ветров в тропической зоне Тихого океана, когда атмосферное давление у берегов Перу выше, чем в районе Индонезийского архипелага. А это значит, что ТПО у берегов Южной Америки имеет отрицательную аномалию. Соответствующий индекс, характеризующий среднее по квадрату ТПО, именуется Niño 1, 2. Аналогичный индекс ТПО в западной части Тихого океана называется Niño 3, 4. Поведение одного из этих индексов за последнее время представлено на рис. 6.

ЭНЮК влияет на развитие АМ в значительной мере через механизм ДИО (Torrance, Webster, 1999). При положительной фазе ЭНЮК (Эль-Ниньо) наблюдается ослабление АМ над Индией, при отрицательной фазе (Ла-Ниньо) происходит усиление АМ по всему пути. Существует согласие между фазами ЭНЮК и ДИО. Отрицательной фазе ЭНЮК и положительной фазе ЮК соответствует отрицательная фаза ДИО и наоборот (Yang et al., 2007). В настоящее время имеет место именно первый случай. Поэтому АМ в 2013 г. набирал силу благодаря сочетанию отрицательных фаз океанических индексов обоих океанов.

Следует отметить, что фаза ЭНЮК влияет на формирование поля атмосферного давления к северу от тропической зоны Тихого океана и, прежде всего, в западной части его акватории. Здесь

формируется обширная область аномалии атмосферного давления. В случае зимнего Эль-Ниньо, в последующий летний сезон формируется антициклоническая зона в указанной части океана, а после зимнего Ла-Ниньо возникает область пониженного давления у берегов Китая. Исследования (Huang, Wu, 1989; Meehl, 1987) показали, что в случае антициклонической циркуляции над акваторией океана, на суше, на территории Китая в районе рек Янтцзы и Хуанхе начинаются интенсивные осадки, приводящие к частым наводнениям. Таким образом, именно положительная фаза Эль-Ниньо провоцирует наводнения в Китае.

Важная глобальная роль ЭНЮК связана с тем, что течение Эль-Ниньо стоит у истоков трех крупных океанских течений. Одно из них проходит через острова юго-восточной Азии и далее пересекает Индийский океан, а два других направляются в северную и южную часть Тихого океана.

Северо-Тихоокеанское колебание

Нас будет интересовать теплое течение Куро-сио, которое направляется на север вдоль берегов Азии. Это течение определяет в значительной мере ТПО в северной части Тихого океана, а также режим атмосферной циркуляции над ее акваторией. После изменения температуры вод в течении Эль-Ниньо при переходе от положительной фазы к отрицательной соответствующие изменения в водах Куро-сио происходят не сразу, а лишь спустя некоторое время (Zhang, Iwasaka, 1996; Trenberth, Hurrell, 1994). Навстречу Куро-сио с северо-востока из района Аляски, огибая северо-восток Азии, идет холодное течение Ойосио. По-

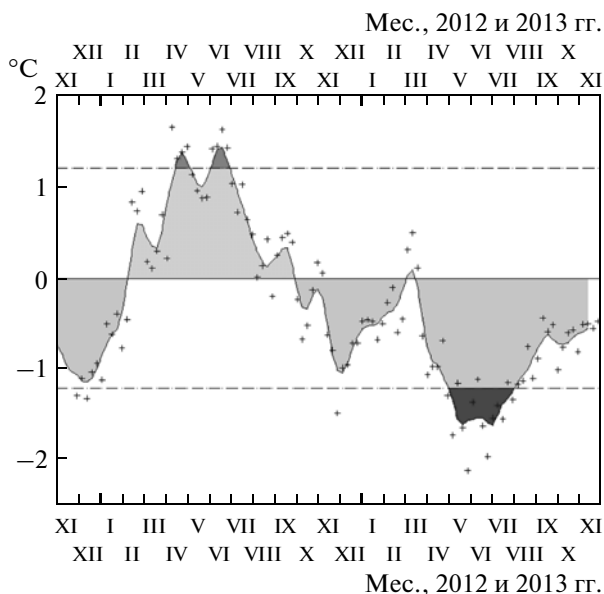


Рис. 6. Внутригодовой ход в 2012–2013 гг. индекса ЭНЮК в тропиках Тихого океана Niño 1, 2 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/>).

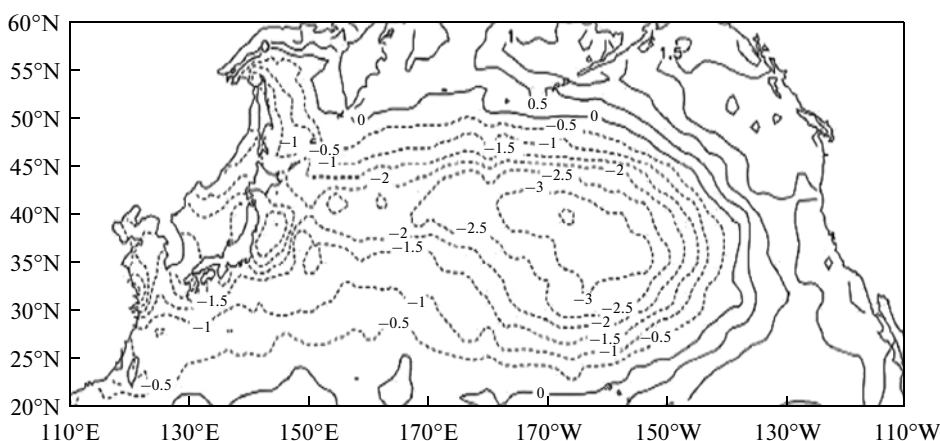


Рис. 7. Карта первой эмпирической ортогональной функции поля ТПО в северной части Тихого океана (Trenberth, Hurrell, 1994).

сле условной встречи оба течения разворачиваются в восточном направлении и движутся параллельно друг другу и экватору (Overland et al., 1999).

В силу того, что в северной части Тихого океана существует собственная система течений, включающая, например, Калифорнийское и Алеутское течения, расположенные у берегов Северной Америки, пространственная структура ТПО оказывается достаточно сложной и причудливой. Поле изменчивости ТПО имеет две характерные аномалии, которые формируют субарктический и субтропический фронты. Первая аномалия находится в северо-западной части акватории в диапазоне 40°–60° с.ш., а вторая – в юго-восточной части в широтном интервале 25°–45° с.ш. Поле ат-

мосферного давления над акваторией океана имеет соответствующую пространственную структуру, что определяет режимы атмосферной циркуляции, меняющиеся в зависимости от соотношения указанных аномалий.

Декадное тихоокеанское колебание (ДТК), или PDO в английском оригинале, определяется с помощью пространственной моды, имеющей подковообразную форму (рис. 7), что представлено картой первой эмпирической ортогональной функции (ЭОФ) поля ТПО. Наиболее заметная аномалия ТПО порождает область минимальных значений атмосферного давления на уровне моря, которая известна как Алеутский минимум, находящийся в зоне субарктической фронтальной

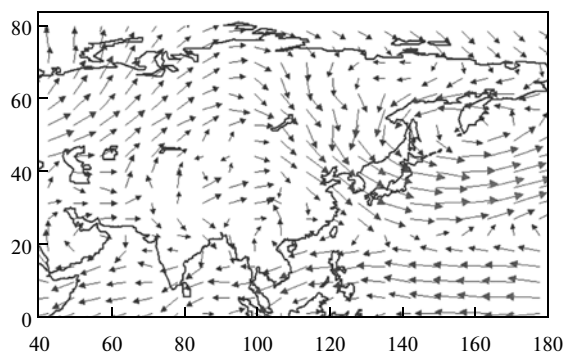


Рис. 8. Пример атмосферной циркуляции над Азией и Тихим океаном поздней весной 1999 г. (Pokrovsky, 2009).

зоны. Азиатская часть Тихого океана обычно образует теплый бассейн, а американская часть — холодный, поскольку они формируются теплым и холодным течениями соответственно. В целом наблюдается контраст между атмосферным давлением в западной и восточной частях Тихого океана, т.е. между акваториями, прилежащими к Азии и Северной Америке соответственно. Это приводит к формированию режимов атмосферной циркуляции, значительно отличающихся от зонального течения, в результате чего воздушные массы разворачиваются над акваторией океана и начинают движение в направлении, противоположном зональному току с запада на восток. На рис. 8 представлен образец режима атмосферной циркуляции в азиатском регионе, иллюстрирующий этот феномен (Pokrovsky, 2009, 2013). В тропической зоне и на юге умеренных широт над океаном формируется противозональный поток, создающий предпосылки для формирования опасных тайфунов, от которых страдают страны юго-восточной Азии. Более того, здесь видно также, как такие инверсионные воздушные массы проникают из умеренных широт в полярные области, а затем уже охлажденные в Арктике вновь возвращаются в умеренные широты, но уже над сушей на территории Сибири. Здесь они нередко блокируют зональный поток и задерживают нормальное продвижение воздушных масс на восток. Другая особенность этого явления состоит в том, что встреча охлажденных воздушных масс (при их возврате в умеренные широты) с переувлажненным воздухом АМ приводит к интенсивной конденсации и провоцирует осадки в этом регионе. Таким образом, именно аномалии поля ТПО формируют указанные варианты развития атмосферной циркуляции, приводящие к непрекращающимся дождям на данной территории.

Различаются положительные и отрицательные фазы ДТК в зависимости от знака амплитуды первой ЭОФ для поля ТПО. С 1945 по 1977 гг. наблюдалась отрицательная фаза ДТК (Trenberth,

Hurrell, 1994). В 1977 г. произошел большой климатический сдвиг не только в глобальном масштабе, но и в Тихом океане. В поле температуры тихоокеанских вод началось потепление, приведшее к переходу ДТК в положительную фазу. В 1989 г. произошло новое изменение тренда ДТК. Максимум значений ДТК наблюдался в 1997 г., когда произошло наиболее мощное Эль-Ниньо. Затем значения ДТК стали убывать и перешли в отрицательную область. Положительная фаза ДТК связывается с увеличением числа тайфунов в умеренных и тропических широтах, отрицательная фаза — с увеличением числа блокирующих ситуаций, препятствующих зональной циркуляции (Latif, Barnett, 1996; Mantua et al., 1997; Trenberth, Hurrell, 1994). В этот период ДТК находилось в отрицательной фазе.

Наряду с ДТК для северной части Тихого океана рассматривается еще ряд индексов, включая ТСА (тихоокеанско-северо-американская аномалия) в оригинале PNA. Индекс ТСА представляет собой амплитуду разложения поля атмосферного давления во внетропических широтах Северного полушария по ЭОФ с номером 2 (Wallace, Gutzler, 1981). Соответствующая пространственная функция имеет унимодулярную форму с максимумом в районе алеутского минимума в Тихом океане. Положительная фаза ТСА связывается с увеличением числа тайфунов в умеренных широтах, отрицательная — с увеличением числа блокирующих ситуаций, препятствующих зональной циркуляции в Азии. Этот индекс также большую часть времени находился в отрицательной фазе.

Роль арктического колебания

Сравнительно недавно был введен индикатор, называемый арктическим колебанием (АК). Индекс АК представляет собой амплитуду колебания поля атмосферного давления в той части Северного полушария, которая расположена к северу от тропической зоны. Более точно речь идет о пространственной составляющей для аномалии этого поля, описываемой первой ЭОФ поля давления. Индекс АК введен для описания типа атмосферной циркуляции в поясе умеренных широт Северного полушария. Исследования авторов (Thompson, Wallace, 1998) показывают, что знак АК позволяет различать два типа циркуляции, а также два преимущественных вида погодных ситуаций.

Положительные значения АК соответствуют более теплой погоде, отрицательные — более холодной как в Евразии, так и в Северной Америке. При положительных значениях АК доминирует нормальный зональный поток с преобладанием циклонических образований, при отрицательных значениях АК в умеренных широтах часто возникают блокирующие антициклоны, препятствующие зональному току. На рис. 9 представлены

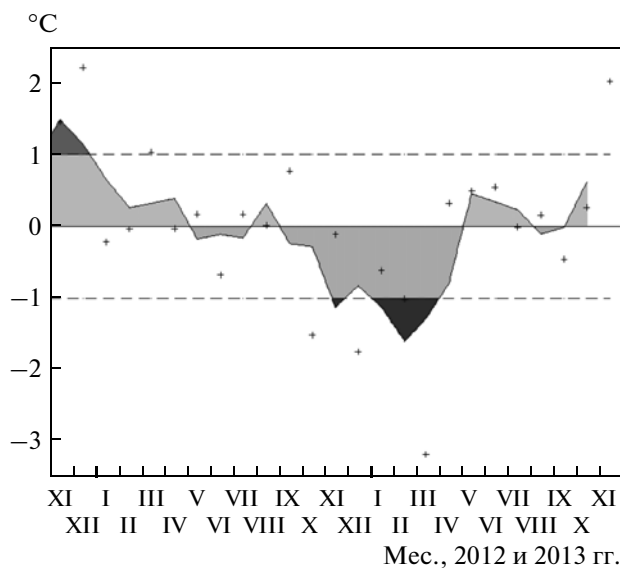


Рис. 9. Внутригодовой ход в 2012–2013 гг. индекса в Северном Ледовитом океане (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/>).

значения АК за два последних года. Начиная с осени 2012 г. и до конца весны 2013 г., этот индекс соответствовал отрицательной фазе.

Оказывается, что АК также влияет на ДТК (Wu, Li, 2007). В работе (Overland et al., 1999) показано, что это влияние происходит посредством воздействия АК на Алеутский минимум (АЛМ). Например, при положительной фазе АК величина АЛМ увеличивается, а при отрицательной — уменьшается. Зимой взаимокорреляционные функции АК и АЛМ повторяют взаимные корреляции АК и ДТК.

Распространение Азиатского муссона на суше

Вернемся к АМ и рассмотрим его судьбу на территории Азии весной и летом 2013 г. Первоначально АМ пересекает территорию Индии в направлении с юго-запада на северо-восток. Тибетские горы и струйное течение препятствуют его распространению на север и поэтому АМ поворачивает на восток вдоль берега Индийского океана. В зону действия АМ попадают все страны юго-восточной Азии, где наступает сезон дождей. Затем, следуя вдоль береговой линии океана, АМ начинает двигаться на северо-восток по территории Китая. Обычно АМ не пересекает северные провинции Китая, где проходит северная граница распространения АМ. Однако, как указывалось выше, положение границы распространения АМ зависит от интенсивности муссона в текущем году, которая определяется и регулируется значениями многих океанических индексов, включая ДИО и ЭНЮК. В свою очередь ДИО определяется аномалиями ТПО в западной и восточной частях Индийского океана. Прибытие теплого и

влажного муссонного воздуха в умеренные широты приводит к увеличению осадков в этом регионе. Возрастает вероятность интенсивности таких осадков, когда тропический муссонный воздух встречается с прохладным воздухом умеренных широт. Здесь, в умеренных широтах, атмосферная циркуляция зависит от пространственного распределения ТПО в Тихом океане и, в частности, от фазы декадного тихоокеанского колебания (ДТК).

В области умеренных широт обычно доминирует зональная циркуляция, и АМ не достигает этой области. Однако в случаях нарушения зонального тока могут возникнуть более сложные последствия. Рассмотрим такие варианты. Как уже говорилось, при отрицательных значениях ДТК чаще возникают блокирующие ситуации. Это сопровождается отрицательными значениями АЛМ. Однако, поскольку индекс АК отражает более общие свойства атмосферной циркуляции в Северном полушарии (Gong et al., 2001), совпадение знаков фаз АК и ДТК указывает на то, что вероятность блокирующих ситуаций в умеренных широтах возрастает. Еще больше эта вероятность возрастает при когерентном поведении индекса АЛМ. Блокирование зонального потока может происходить одновременно с забросом холодных воздушных масс из Арктики. Последнее обстоятельство может объяснять дополнительное увеличение интенсивности осадков.

Возникает вопрос, насколько вероятно такое развитие событий, когда одновременно несколько факторов обуславливают не только глубокое проникновение АМ на север Азии, но и способствуют усилению выпадения осадков в этом регионе.

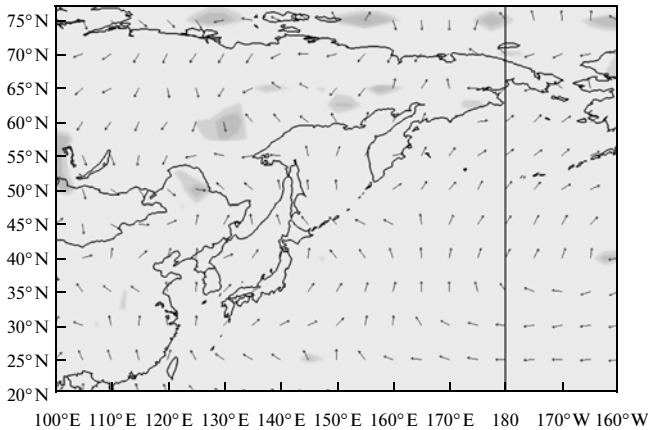


Рис. 10. Поле ветра в восточной Азии в июле–августе 2013 г. (ре-анализ NCEP/NCAR).

Механизм формирования зоны аномальных осадков в северной Азии в 2013 г.

Сейчас мы переходим к ответам на самые главные вопросы, а именно — почему аномальные осадки наблюдались в 2013 г., а не в любой из предшествующих лет? Каковы физические механизмы, которые привели к этому стихийному событию в северной Азии? Предыдущий анализ позволит дать ответы, если мы привлечем данные по всем рассмотренным индексам за два последних года.

Начнем с самого начала, т.е. с формирования АМ. Напомним, что интенсивность АМ зависит от разности температур между океаном и сушей в западной части Индийского океана. Здесь наряду с ДИО используется и другой индекс, характеризующий аномалию ТПО в области, прилегающей к

восточному побережью тропической Африки. Этот показатель называется юго-западный индекс Индийского океана (ЮЗИО). Его временной ход показывает, что только в начале 2013 г. этот индекс стал отрицательным, и он сохраняет такие значения до конца года. Это означает, что интенсивность АМ была максимальной с самого начала его формирования. Тот факт, что аналогичный показатель аномальности ТПО в районе о-ва Суматра, называемый юго-восточный индекс Индийского океана (ЮВИО), имел аномально высокие положительные значения в течение всего 2013 г. (рис. 1), приводит нас к выводу, что и этот фактор работал на ускоренное перемещение АМ с запада на восток. Это позволило сохранить большее количество влаги в движущихся воздушных массах.

Рассмотрим теперь, как вели себя индексы ЭНЮК в этот период. Все индексы, характеризующие аномалии ТПО на западе и востоке тропической зоны Тихого океана (Nino 3, Nino 4, Nino 2, Nino 1), имели отрицательные значения на протяжении года. Отметим, что вместо четырех индексов обычно используется пара композитных индексов Nino 12, Nino 34 (см. рис. 6), отвечающих аномалиям ТПО на востоке и западе. Данные рисунка говорят о том, что ЭНЮК находилось в фазе Ла-Нинья. Это способствовало быстрому перемещению АМ на север вдоль берегов юго-восточной Азии в направлении северной Азии. Таким образом, в 2013 г. возник не только очень мощный муссон, но аномалии ТПО в обоих океанах способствовали его быстрому перемещению в направлении границ России. Благодаря этому обстоятельству, осадки в южной и юго-восточной

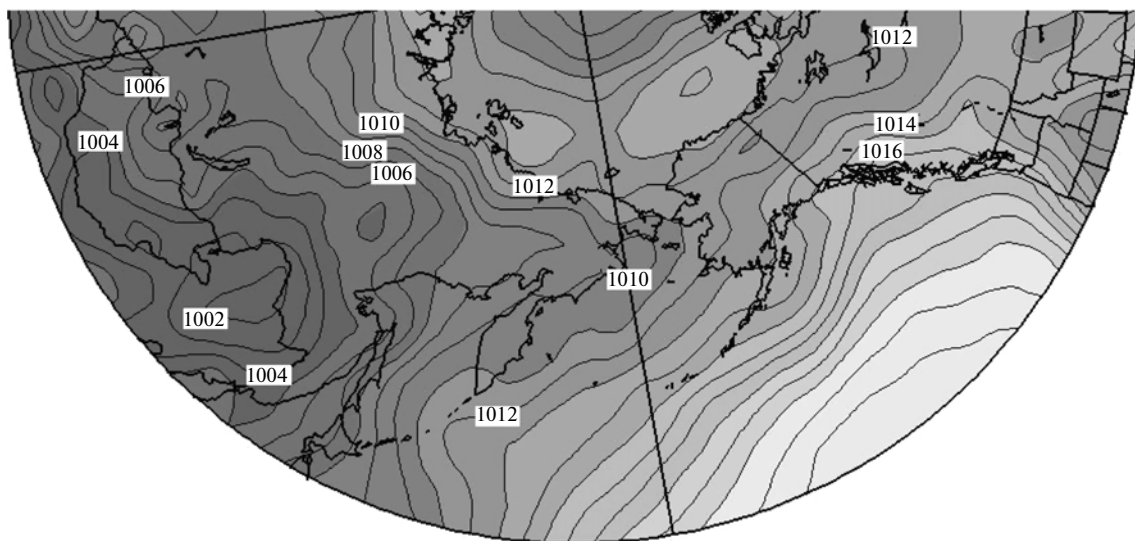


Рис. 11. Поле атмосферного давления в северо-восточной Азии в июле–августе 2013 г. (ре-анализ NCEP/NCAR).

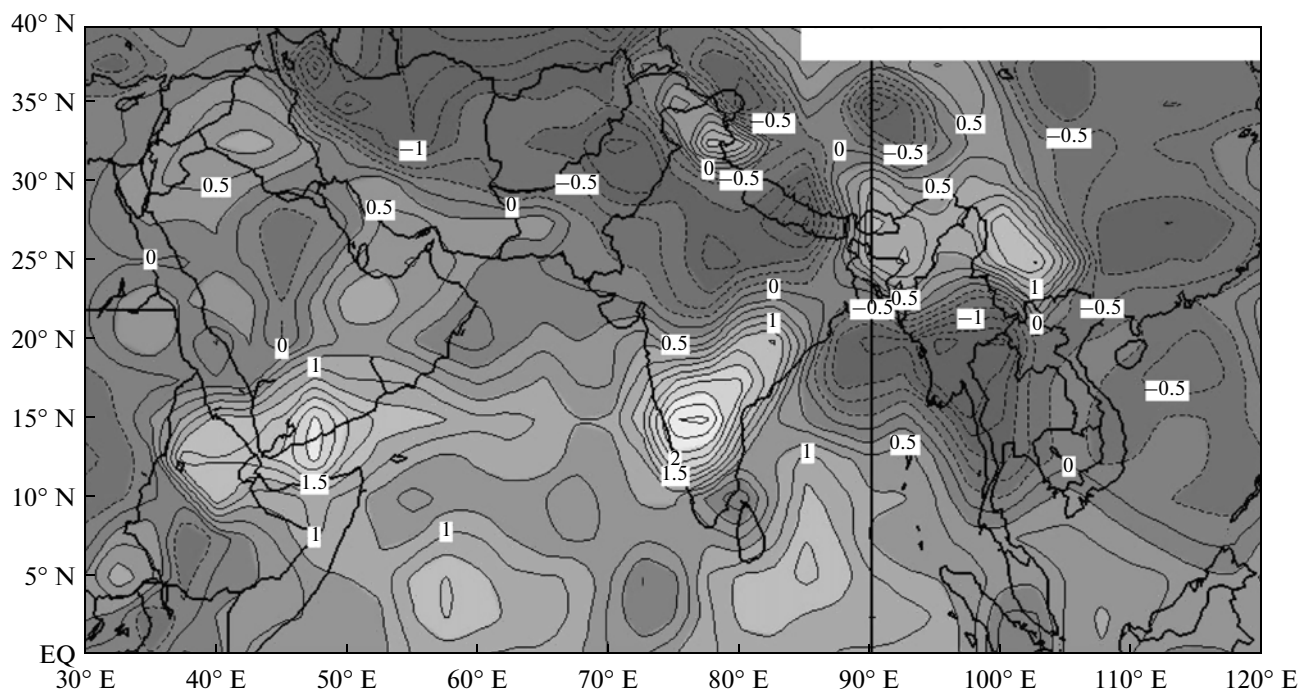


Рис. 12. Поле удельной влажности атмосферы (г/кг) для поверхности 850 мб: разность между средними значениями за май–июнь 2013 г. и 2012 г. (ре-анализ NCEP/NCAR).

Азии оставались на невысоком уровне, а основная масса переувлажненного воздуха сохранилась и продолжала двигаться на север через территорию Китая (рис. 10). Можно приблизительно рассчитать вероятность развития событий описанным образом, если взять за основу бинарные вероятностные события, когда учитываются только знаки каждого из четырех рассмотренных выше индексов. В этом случае вероятность каждого элементарного события будет равна $1/2$, а совместная вероятность произошедшего составляет уже $1/16$. Это значит, что даже на указанном промежуточном этапе данное событие маловероятно.

Переходим к выяснению причин развития последнего и решающего действия этой драмы. При нормальном зональном токе воздушных масс в умеренных широтах аномальные осадки могли выпасть на территории Китая, не достигнув территории России. Однако в 2013 г. все тихоокеанские индексы также способствовали не только продвижению муссона дальше на север, но и выпадению осадков именно в районе Дальнего Востока России.

Главный индекс ДТК как в 2012, так и в 2013 гг. принимал отрицательные значения. Это означает, что над западной частью пояса умеренных широт над океаном возникала область повышенного атмосферного давления, что способствовало возникновению блокирующих ситуаций. Дополнительным подтверждением этому служит тот факт, что также и другие тихоокеанские индексы при-

нимали отрицательные значения. Речь идет о NP (северо-тихоокеанском), и WNP (северо-западном тихоокеанском) индексах. Каждый из них играет определенную роль в формировании режима атмосферной циркуляции над океаном и прилегающих территориях суши (рис. 10).

Последним аккордом в формировании зоны аномальных осадков послужил заброс холодных масс арктического воздуха из высоких в умеренные широты. На рис. 11 представлено поле атмосферного давления в июле–августе 2013 г. Здесь отрицательная аномалия сосредоточена как раз в районе юго-востока Сибири на границе с Китаем. На полюсе возникла область повышенного давления, что привело к забросу арктического воздуха в умеренные широты, где на суше господствует пониженное давление. А именно такая ситуация и возникла в этом году. Встреча теплого влажного муссонного воздуха с холодным сухим арктическим воздухом в умеренных широтах и привела к ускоренной конденсации водяного пара и аномальным осадкам. Отметим, что весной 2013 г. удельная влажность воздуха в нижней тропосфере была заметно ниже, чем в тот же период предыдущих лет, что объясняется более интенсивным испарением с поверхности Индийского океана. На рис. 12 представлена разность этих полей между 2013 и 2012 гг.

Данные ре-анализа поля осадков на юге Восточной Сибири и Дальнего Востока (рис. 13), полученные путем композиции наземных и спут-

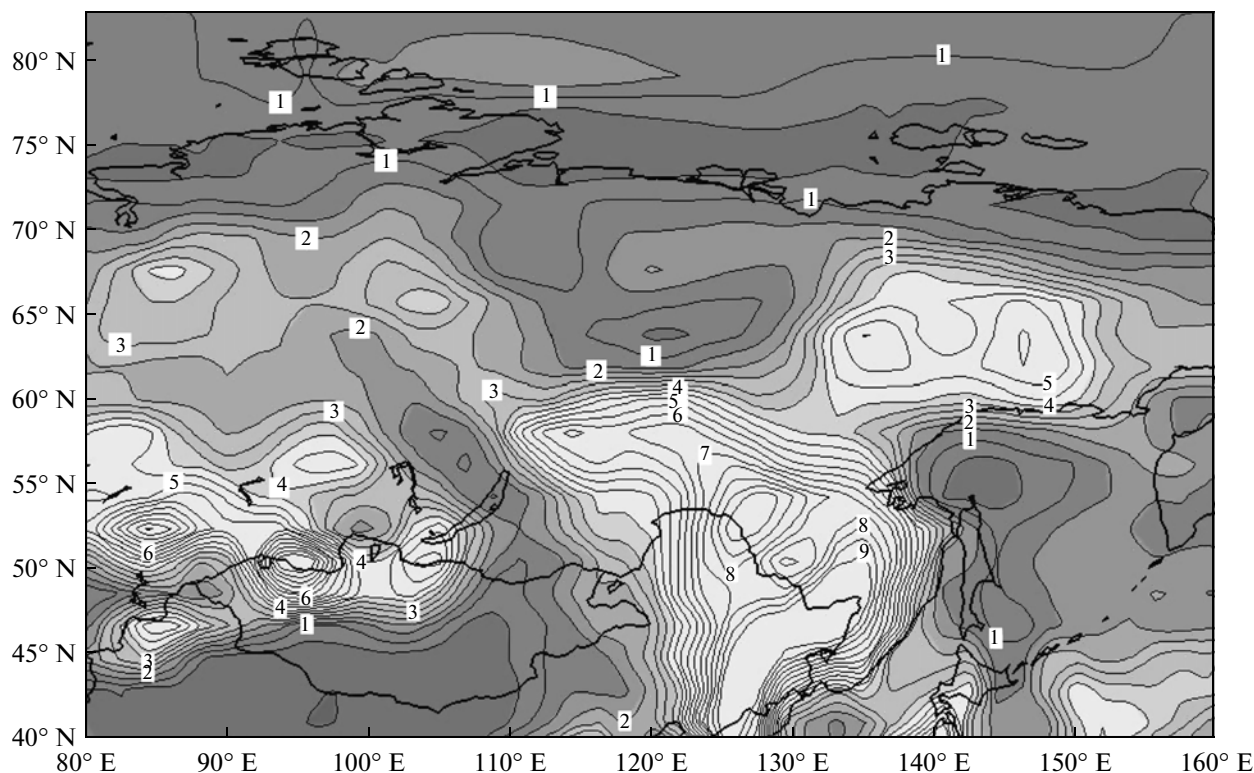


Рис. 13. Среднесуточная сумма осадков (мм) в июле–августе 2013 г. (ре-анализ NCEP/NCAR).

никовых измерений, показывают, что летом 2013 г. имела место значительная аномалия осадков на обширной зоне водосбора р. Амур как на российской, так и на китайской территории.

Доказательством реальности описанного механизма является также и то, что распределение коэффициента корреляции между ДТК и полем месячных осадков в бассейне р. Амур именно в последние два года достигло весьма значительных

величин. Во многих частях бассейна р. Амур значение коэффициента корреляции превышало 90% (Pokrovsky, 2013). Отсюда следует, что ДТК может служить неплохим предиктором аномальных осадков на юге Восточной Сибири. Хотя, конечно, необходимо проанализировать всю цепочку событий, рассмотренную выше.

В астрономии есть термин *парад планет*. В данном случае мы столкнулись с феноменом, ко-

“Парад” климатических индексов в океанах Северного полушария в 2013 г.

Климатический индикатор	Знак индекса в 2013 г.	Знак индекса в 2012 г.
Диполь Индийского океана	–	+
Юго-западный индекс Индийского океана	–	+
Эль-Ниньо: индекс Nino 1, 2	–	+
Эль-Ниньо: индекс Nino 3, 4	–	–
Тихоокеанское декадное колебание	–	–
Тихоокеанское-североамериканское колебание	–	+
Арктическое колебание	–	+

торый можно назвать *парад климатических индексов*. Все океанические индексы по ходу развития АМ принимали одновременно отрицательные значения летом 2013 г. (таблица), но в предшествующие годы такого явления не наблюдалось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая общую вероятность исследованного события, следует учесть, что наряду с рассмотренными ранее четырьмя определяющими индексами необходимо добавить еще три – ДТК, АК и один из тройки (NP–North Pacific, WNP–West–North Pacific, PNA–Pacific North Asia). Следовательно, приближенная вероятность рассматриваемого события, если предположить их статистическую независимость, составляет 1/128. Поэтому неудивительно, что прошлый раз аналогичная катастрофа произошла примерно 120 лет назад. Тот факт, что ряд важных индексов уже на протяжении нескольких лет находятся в отрицательной фазе, говорит о возможном повторении этого стихийного события. Дело в том, что значения таких индексов развиваются по времени зависимым и даже взаимозависимым образом. А также в том, что, как уже указывалось, Эль-Ниньо сказывается на большинстве изменений, происходящих в бассейне Индийского и Тихого океанов. А колебания ЭНЮК имеют периодичность 2–6 лет.

Основным результатом данного исследования стало выявление физического механизма, приводящего к появлению аномальных явлений на Дальнем Востоке России. Данное исследование выполнено автором на инициативной основе в свободное от работы время. Конечно, для решения этой задачи компетентности и интуиции было бы недостаточно. Автор на протяжении десяти лет участвовал в азиатской группе экспертов Всемирной метеорологической организации (ВМО) по программе THORPEX, где данная тематика систематически изучалась. На последнем симпозиуме ВМО по этой программе проведенное автором исследование было представлено, обсуждено и получило одобрение специалистов (Pokrovsky, 2013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ashok K., Guan Z., Yamagata T.* Impact of the Indian Ocean Dipole on the relationship between the Indian Monsoon rainfall and ENSO // *Geophys. Res. Lett.* 2001. V. 26. P. 4499–4502.
- Chang C.P., Zhang Y.S., Li T.* Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part I: Roles of the subtropical ridge // *J. Clim.* 2000. V. 13. P. 4310–4325.
- Gong D.-Y., Wang S.W., Zhu J.H.* East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation // *Geophys. Res. Lett.* 2001. V. 28. P. 2073–2076. doi:10.1029/2000GL012311.
- Halpert M.S., Ropelewski C.F.* Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation // *J. Clim.* 1992. V. 5. P. 577–593.
- Huang R., Wu Y.* The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism // *Adv. Atmos. Sci.* 1989. V. 6. P. 21–32.
- Kalnay E. et al.* The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996. V. 77. P. 437–471.
- Latif M., Barnett T.P.* Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America: Dynamics and predictability // *J. Clim.* 1996. V. 9. P. 2407–2423.
- Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y. et al.* A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1997. V. 78. P. 1069–1079.
- Meehl G.A.* The annual cycle and interannual variability in the tropical Pacific and Indian Ocean region // *Mon. Wea. Rev.* 1987. V. 115. P. 27–50.
- Minobe S.* A 50–70-year climatic oscillation over the North Pacific and North America // *Geophys. Res. Lett.* 1997. V. 24. P. 683–686.
- North G.R., Bell T.L., Cahalan R.F., Moeng F.J.* Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions // *Mon. Wea. Rev.* 1982. V. 110. P. 699–706.
- Overland J.E., Adams J.M., Bond N.A.* Decadal variability of the Aleutian Low and its relation to high latitude circulation // *J. Clim.* 1999. V. 12. P. 1542–1548.
- Pokrovsky O.M.* South European Rain Rate Modulation by NAO and Changes in Atmospheric Circulation Regimes Caused by Climate Warming // *Comp. and Geosci.* 2009. V. 35. P. 897–906.
- Pokrovsky O.M.* Detection of the spatial anomalies in the North Pacific SST field to forecast extreme monsoon rain area extension to the Northern Asia // *Proc. Fifth THORPEX-Asia Science Workshop.* 4–6 November 2013. Seogwipo, Jeju, Korea. Seoul: Korea Meteorological Administration, 2013. P. 033–045.
- Torrence C., Webster P.J.* Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system // *J. Clim.* 1999. V. 12. P. 2679–2690.
- Trenberth K.E., Hurrell J.W.* Decadal atmosphere–ocean variations in the Pacific // *Clim. Dynam.* 1994. V. 9. P. 303–319.
- Thompson D.W.J., Wallace J.M.* The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophys. Res. Lett.* 1998. V. 25. P. 1297–1300.
- Wallace J.M., Gutzler D.S.* Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter // *Mon. Wea. Rev.* 1981. V. 109. P. 784–812.
- Wu L., Li C.* Warming of the North Pacific Ocean: Local air–sea coupling and remote climatic impacts // *J. Clim.* 2007. V. 20. P. 2581–2601.
- Yang J., Liu Q., Xie S.-P., Liu Z., Wu L.* Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon // *Geophys. Res. Lett.* 2007. V. 34. № L02708. doi:10.1029/2006GL028571.
- Zhang Y., Wallace J.M., Iwasaka N.* Is the climate variability over the North Pacific a linear response to ENSO? // *J. Clim.* 1996. V. 9. P. 1468–1478.

Phenomenon Penetration Asian Monsoon in Northern Asia

О. М. Pokrovsky

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

Shown that abnormal rainfall in the catchment river Amur in 2013 had monsoon nature. The analysis of the origin and evolution of the Asian monsoon (AM), from the region of its origin in the western Indian Ocean and to the penetration in the North Asia. It is shown that the indices of the Indian Ocean dipole, El Niño and the North Pacific indices were in phases contributing not only to maximize its intensity, but also the earliest possible movement of AM from the area of origin through the Indian subcontinent, Southeast Asia and China to the Far East of Russia. Due to the current composition of climate indices in the Indian and Pacific oceans, wetlands monsoon air mass brought the lowest possible losses of precipitation on its way to a final field. Strengthening loss monsoon rainfall in the vast catchment river Amur helped by the fact that the Arctic Oscillation was in a negative phase, which led to the pelting of cold Arctic air into the region. The latter circumstance is influenced by precipitation strengthening mechanism facilitating condensation in humid air. Negative values of the North Pacific index contributed to the development of blocking situations in the zonal current temperate latitudes that localized area of precipitation.

Keywords: Asian monsoon, sea surface temperature, climate indices, Arctic Oscillation, NCEP/NCAR, Far East of Russia, Asia