



УДК 551.587(571.5)
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.21>

Характеристики ветра над Байкалом

А. В. Аргучинцева, Е. А. Кочугова, А. В. Михеева

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. По данным многолетних восьмисрочных наблюдений (1997–2018 гг.) береговых станций и постов байкальской котловины проведен анализ поведения приземного ветра в различные сезоны года. В зависимости от поставленных исследовательских задач обработка материала осуществлялась как в полярной (истинные записи наблюдений), так и локальной декартовой системах координат. Представлены отдельные результаты за некоторые климатические месяцы года, а именно: февраль, июль, декабрь. Демонстрационный выбор обусловлен тем, что в феврале Байкал, как правило, закрыт полностью льдом; а в июле и декабре наблюдается наиболее резкий температурный контраст «вода – суша». Так, в декабре (по сравнению с другими месяцами) для всех станций побережья можно отметить наименьшее количество штилевых ситуаций, наиболее значительные средние и максимальные скорости ветра. Наблюдения позволили выявить, что повторяемость штилей в среднем увеличивается к вечеру (по местному времени); на многих байкальских станциях значения коэффициентов устойчивости ветра близки, особенно в декабре, к североатлантическим пассатам. Обнаружена интересная закономерность: чем более устойчив ветер, тем более ярко проявляется обратная корреляционная зависимость между компонентами вектора скорости ветра, т. е. как бы одна из компонент стремится удержаться в определенном направлении.

Ключевые слова: оз. Байкал, устойчивость, ветер, рассеивающая способность.

Для цитирования: Аргучинцева А. В., Кочугова Е. А., Михеева А. В. Характеристики ветра над Байкалом // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 33. С. 21–32. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.21>

Введение

Байкал – один из самых значительных и уникальных резервуаров пресной, очень чистой (близкой к показателям дистиллированной) воды в мире. Поэтому практически все побережье озера вместе с его водосборной поверхностью, расположенной в пределах Российской Федерации, считается особо охраняемой природной территорией. Это заповедники, национальные парки, заказники. Внесенный в Список всемирного наследия ЮНЕСКО Байкал находится под постоянным вниманием его исследователей и, к сожалению, не только. Весьма хрупкая структура его уникальности может быть разрушена посредством неумных, часто необоснованно грубых вмешательств человека. В этом случае, естественно, возникает вопрос об устойчивости Байкала (как системы в целом) в условиях постоянно действующих возмущений.

Понятие устойчивости не является новым, оно зародилось еще в математической терминологии и стало применяться на практике к различным физическим системам. Устойчивость формулировалась как свойство системы мало отклоняться от своего состояния при малых ее возмущениях (по А. М. Ляпунову); свойство системы оставаться в ограниченной области фазового пространства (по Ж. Лагранжу); свойство системы сколь угодно поздно возвращаться к своему начальному положению (по С. Пуассону) и др. [Ляпунов, 1956; Narendra, Taylor, 1973]. Тем не менее следует отметить, что до настоящего времени нет четкого определения содержания устойчивости по отношению к природным системам.

В связи с осознанием ограниченности природных ресурсов с начала 70-х гг. прошлого столетия мировое сообщество обратилось к понятию устойчивости сред. В 80-х гг. стали говорить об экоразвитии, развитии без разрушения, о необходимости устойчивого развития экосистем. Всемирная стратегия охраны природы (ВСОП), принятая в 1980 г., – первый международный документ, в котором упоминается понятие устойчивого развития. Вторая редакция ВСОП получила название «Забота о планете Земля – Стратегия устойчивой жизни» и была опубликована в октябре 1991 г. В ней подчеркивалось, что развитие должно базироваться на сохранении живой природы, защите структуры, функций и разнообразия природных систем Земли, от которых зависят биологические виды. Для этого необходимо: сохранять системы поддержания жизни, обеспечивать сохранность и целостность физических и биологических природных систем, их способности к самовосстановлению и динамической адаптации к изменениям [<https://www.google.ru/search?q=Забота+о+планете+Земля>]. В дальнейшем понятие «устойчивое развитие» стало одним из базовых не только в природоохранной деятельности, но и при разработке долгосрочных крупномасштабных экономических и социальных программ и проектов.

Устойчивость Байкала как целостной системы зависит от многих параметров, в том числе и от ветровых характеристик. На сопредельных с озером территориях находится много промышленных предприятий, являющихся источниками выбросов в атмосферу различных, иногда весьма токсичных ингредиентов, переносимых при определенных типах ветров в сторону озера и осаждающихся как на водную поверхность, так и на поверхность его многочисленных островов, на которых, например, находятся лежбища нерпы. Частота реализации таких опасных ситуаций тождественна частоте реализации соответствующих ветров.

Используемые материалы

Метеорологические станции, размещенные по всей береговой линии озера протяженностью почти 2000 км (рис. 1), относятся к двум ведомствам: Иркутскому управлению по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) и Забайкальскому УГМС. Абсолютные отметки всех станций (за исключением высокогорной (1442 м) Хамар-Дабан) колеблются в незначительных пределах 460–487 м над у. м.

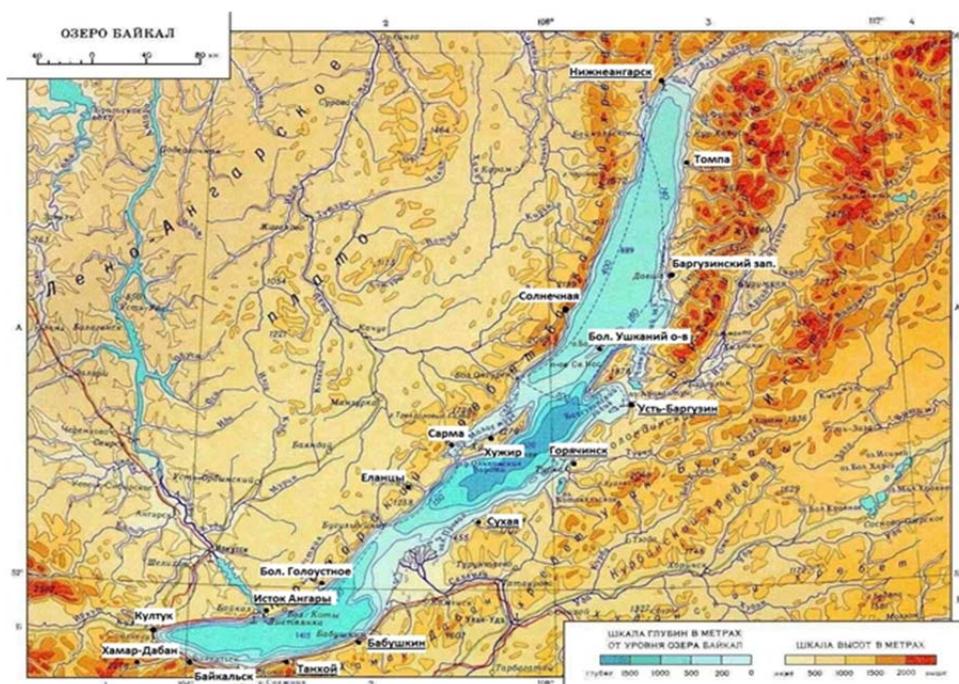


Рис. 1. Физическая карта оз. Байкал с метеорологическими станциями

Асимметричность байкальской котловины, ее ориентация, многочисленные распадки и долины, многообразие форм рельефа, различия в теплофизических свойствах озера и суши обуславливают гидрометеорологический режим и, как следствие, сказываются на особенностях ветрового режима над озером, который проявляется в сезонной периодичности. Согласно известному термическому уравнению состояния Клапейрона – Менделеева для идеального газа (как классического, так и квазиклассического), давление $P = \rho RT$ (ρ – плотность, T – температура воздуха, R – универсальная газовая постоянная) находится в прямой зависимости от перечисленных компонентов. В холодное время года снижение температуры воздуха над сушей (казалось бы, по уравнению давление должно уменьшаться) приводит к более интенсивному повышению плотности воздуха, за счет чего давление повышается, и, как следствие, давление воздуха над сушей оказывается более высоким, чем над озером. Разность давлений способствует тому, что в холодный период (особенно в ноябре-декабре) вторгающийся с суши ветровой поток усиливается в котловине озера. В теплый период года процесс имеет обратную направленность. Изрезанность береговой линии провоцирует возникновение так называемых местных ветров (бризов, горно-долинных и др.), которые особенно проявляются в холодный период года и могут приводить к серьезным последствиям.

В работе по данным наблюдений береговых станций (см. рис. 1) анализируются особенности ветрового режима байкальской котловины.

Согласно [Изменения № 1 ... , 1997], метеорологические наблюдения проводятся в полярной системе координат синхронно в 15:00, 18:00, 21:00, 0:00, 3:00, 6:00, 9:00 и 12:00 часов по среднему гринвичскому времени (СГВ) на всей территории (местное время минус восемь часов). Под сроком наблюдений понимается интервал времени продолжительностью 10 мин, заканчивающийся точно в указанный час. Таким образом, мы располагаем усредненными, т. е. сглаженными, за названный интервал времени метеорологическими показателями.

Для выявления особенностей ветровых характеристик рассмотрены данные восьмисрочных наблюдений с 1997 по 2018 г. по станциям и постам байкальской котловины (см. рис. 1). Станции, не находящиеся на побережье озера, – Исток Ангары, Еланцы и Хамар-Дабан, были исключены из рассмотрения.

Надо отметить, что не всегда удавалось за исследуемый интервал времени располагать полным или объективным объемом данных, так как ошибки наблюдателей и неисправность приборов сказываются на качестве наблюдений. Например, ветер измеряется несколькими приборами, имеющими разную чувствительность. К самым точным приборам, обеспечивающим функционирование государственной наблюдательной метеорологической сети, на сегодняшний день относят автоматизированный метеорологический комплекс (АМК) и М-63 [http://www.spmeteo.ru/?page_id=2550].

Большинство байкальских станций труднодоступны, из-за чего возникают перебои в электроснабжении, тогда вместо автоматических устройств используют устаревшие приборы, например флюгер. Другой проблемой станций является неполный вследствие нехватки специалистов объем поступающей информации и т. д. В этой ситуации станция переключается с восьмисрочных наблюдений на четырехсрочные, из-за чего происходит потеря информации. Такое случается, в частности, в Хужире и на Большом Ушканьем острове. Можно отметить и тот факт, что в течение почти 20 лет наблюдений отмечаются также различные неувязки в регистрируемых данных.

Методы и результаты

В соответствии с рекомендациями и предлагаемой таблицей [Наставление гидрометеорологическим станциям ... , 1985] данные наблюдений были преобразованы в румбовые, построены розы ветров (рис. 2) для всех станций (см. рис. 1).

Для иллюстрации (в качестве показательных фрагментов) выбран анализ ветровых характеристик за отдельные месяцы: февраль, июль, декабрь. Выбор обусловлен тем, что в феврале Байкал, как правило, закрыт полностью льдом; в июле и декабре наблюдается наибольший контраст температур «вода – суша» (особенно в декабре). Продемонстрируем розы ветров для отдельных метеорологических станций (см. рис. 2) южного, среднего и северного Байкала.

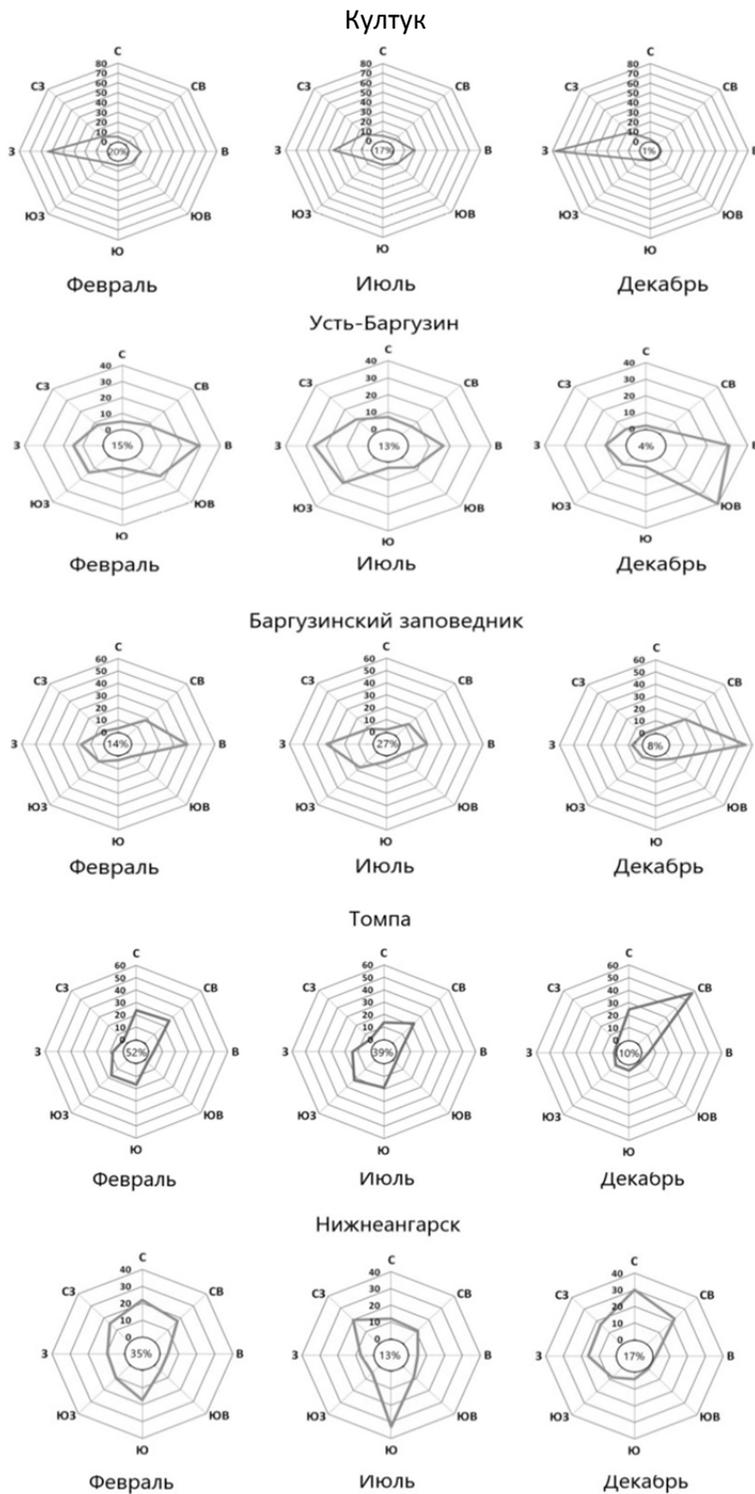


Рис. 2. Розы ветров для станций (см. рис. 1)

В декабре для всех станций прослеживается явное преобладание ветров с суши. Так, на станции Култук в декабре преимущественно западный ветер (80 %) с весьма небольшими включениями северо-западной составляющей. Естественно, что все загрязняющие вещества от промышленных предприятий Слюдянки, Култука, Ангасолки и др. устремляются в сторону озера. Для станций восточного побережья преобладают ветры восточного, юго-восточного и северо-восточного направлений. В этом же месяце отмечается и наименьшее количество штилевых ситуаций (рис. 3, *a*), а также наиболее значительные средние и максимальные скорости ветра (рис. 3, *b*, *в*).

Сопоставление осредненных скоростей ветра (см. рис. 3, *b*) показало, что почти на всех станциях в декабре наблюдается увеличение модуля ветра. По сравнению с другим зимним месяцем (февраль) рост составляет 2–3 м/с. Для станций, расположенных в северной части оз. Байкал (Нижнеангарск, Томпа, Баргузинский заповедник), увеличение средней скорости ветра невелико (1 м/с) вследствие уменьшения термических контрастов из-за более раннего установления сплошного ледяного покрова [Байкал. Атлас, 1993].

Местоположение байкальских станций накладывает определенный отпечаток на их ветровой режим. Значительные скорости ветра во все рассматриваемые месяцы характерны для станции Сарма (см. рис. 3, *в*), где при выходе из гор в устьевой части долины ветры достигают колоссальной силы. В долинах рек Анги, Бугульдейки, Голоустной и др., прорезающих Приморский хребет, устьевые участки которых представляют собой природные аэродинамические трубы, также наблюдается усиление скорости ветра.

Для выявления некоторых закономерностей и удобства ориентации сроки наблюдений по СГВ были переведены на местное время (СГВ + 8 ч). Анализ показал, что в основном по всем станциям повторяемость штилей в среднем увеличивается к вечеру (местное время). В таблице приведен пример для станции Култук.

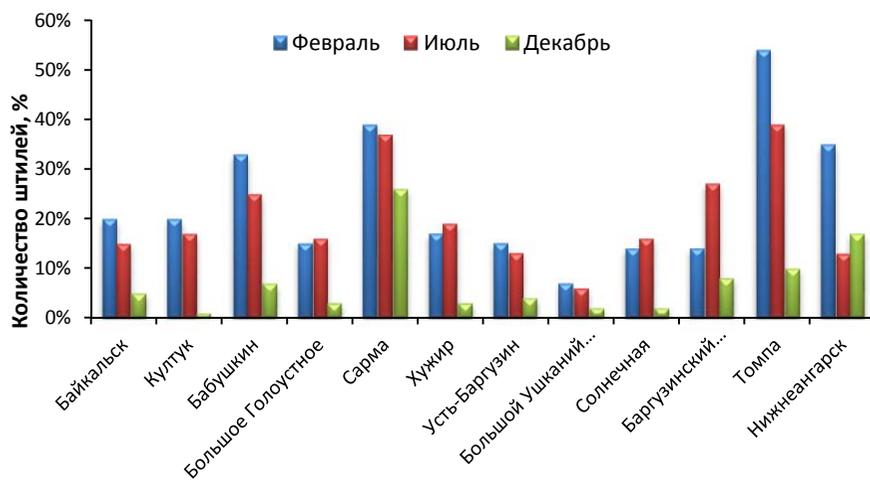
Таблица

Повторяемость (%) штилей для каждого срока по станции Култук

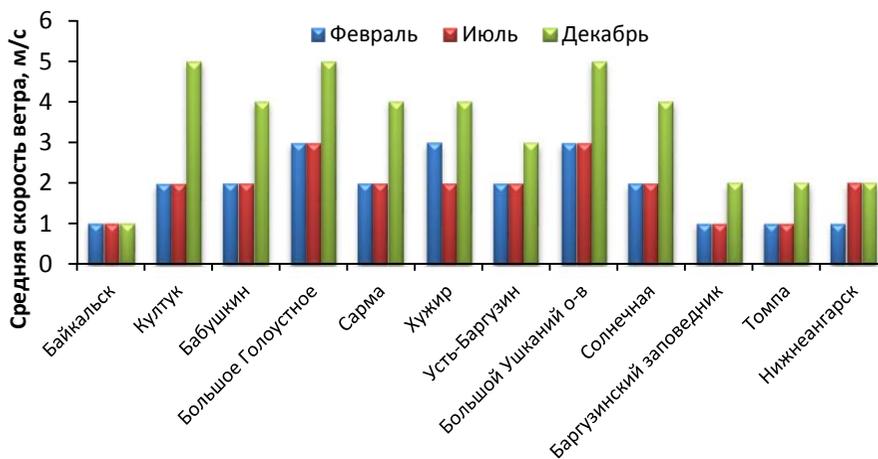
Синоптические сроки (СГВ) / местное время	15/23	18/02	21/05	00/08	03/11	06/14	09/17	12/20
Февраль	22	14	12	11	15	11	31	38
Июль	24	15	12	13	9	9	14	34
Декабрь	0	0	1	1	0	1	2	1

Исследовался вопрос устойчивости ветров. Устойчивость определяется преобладанием в данном районе одного направления или нескольких близких над другими. Ее вычисляют отношением модуля результирующего вектора скорости ветра (т. е. с учетом направления ветра) к его среднему скалярному значению. В районах, где отмечаются постоянные ветры, например пассаты, устойчивость ветра близка к единице, а в районах внутриконтинентальных – 0,3 [Российский гидрометеорологический энциклопедический ... , 2009].

а



б



в

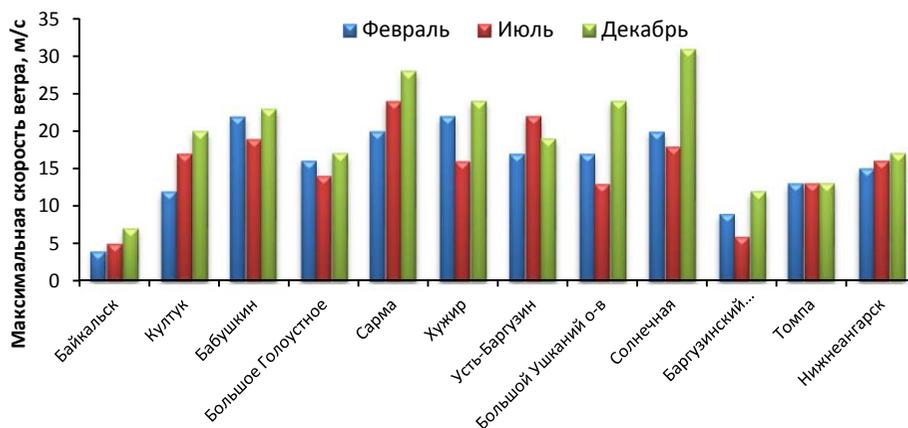


Рис. 3. Ветровые характеристики на байкальских станциях для февраля, июля и декабря (1997–2018 гг.): а – повторяемость штилей (%), б – осредненные скорости (м/с), в – максимальные скорости (м/с)

Для расчета коэффициента устойчивости потребовалось перевести наблюдения, проводимые в полярной системе координат, в локальную декартовую систему координат (разложить вектор скорости ветра на компоненты по координатным осям локальной декартовой системы). Представилась возможность по [Climate Data Center] рассчитать устойчивость ветровых характеристик в морском порту Германии (г. Киль) и провести сравнение (рис. 4). В Киле устойчивость ветра в декабре равна 1, а в июле и феврале близка к 1 (0,94), что вполне согласуется с показателями районов с северо-атлантическими пассатами.

На многих байкальских станциях, особенно в декабре (рис. 4), устойчивость ветра близка к показателям устойчивости: Култук (0,94), Большое Голоушное (0,90), Большой Ушканий остров (0,88), Баргузинский заповедник (0,87). Из общего ряда выделяется станция Бабушкин (0,4). Возможно, это связано с тем, что в декабре здесь преобладают два направления ветра – юго-восточное и западное.

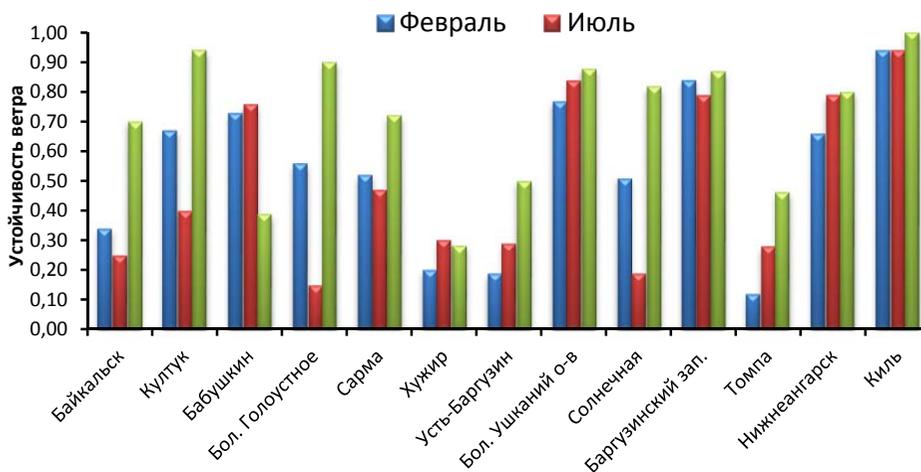


Рис. 4. Устойчивость ветра на байкальских станциях и в г. Киле за февраль, июль и декабрь (1997–2018 гг.)

На станции Хужир ветер неустойчив для всех месяцев (максимальный коэффициент устойчивости – 0,28). Главная причина заключается в расположении пункта наблюдения на острове Ольхон, который подпадает под влияние нескольких типов ветров. В отличие от Хужира на Большом Ушканий острове устойчивость ветра колеблется в рассматриваемые месяцы от 0,75 до 0,8. Это согласуется и с тем, что этот остров находится восточнее Ольхона, где наиболее выражен северо-западный тип ветра [Атлас волнения и ветра ... , 1977].

В июле ветер менее устойчив, чем зимой. Так, на станции Большое Голоушное этот параметр составляет 0,15, а в Солнечной – 0,19. Причину различия коэффициентов устойчивости ветра в декабре и феврале по сравнению с июлем можно связать с тем, что летом местные бризовые и горно-долинные ветровые потоки выражены слабее, чем зимой, из-за меньшего

термического контраста между озером и сушей. Поэтому в июле могут наблюдаться преобладания нескольких направлений.

Установлена интересная закономерность: чем более устойчив ветер, тем более ярко проявляется обратная корреляционная зависимость между компонентами вектора скорости ветра, т. е. как бы одна из компонент стремится удержаться в определенном направлении.

Ветер – случайная функция своих аргументов, в том числе и времени. Однако мы имеем дело с обработкой срочных наблюдений. Зарегистрированные данные в фиксированный срок можно считать стационарными до наступления следующего срока наблюдений, и вся система в следующий срок наблюдений как бы мгновенно (скачком) переходит в другое состояние. Иначе говоря, система от одного срока наблюдения до следующего находится в стационарном состоянии. Это так называемый переходный процесс. Так как время нахождения системы в стационарном положении много больше времени наблюдения (перехода в другое состояние), это позволяет нам применять все положения и утверждения, разработанные для стационарных процессов, в широком смысле [Аргучинцева, Ахтиманкина, 2018]. Поэтому для каждого срока наблюдений по конкретной станции рассмотрены сечения, каждое из которых представляет собой уже случайную величину. Найденные значения нормированных автокорреляционных функций для смежных сроков наблюдений по всем станциям показали, что в основном система хорошо «помнит» свое состояние в смежные сроки наблюдений при высоком коэффициенте устойчивости (нормированные коэффициенты автокорреляции достигают значений 0,85–0,90) и плохо «помнит» свое предыдущее состояние (наибольшие значения не превышали 0,45) при малых коэффициентах устойчивости. Этого и следовало ожидать. Как правило, автокорреляционная связь очень быстро затухает уже через два срока.

Поведение ветра как случайного вектора часто пытаются аппроксимировать каким-либо теоретическим законом распределения, например Лапласа – Шарлье, Вейбулла и др. Наиболее распространена аппроксимация нормальным (двумерным) законом распределения [Кузнецов, 1934], классический вид которого можно значительно упростить, если проделать некоторые инвариантные преобразования. А именно начало координат локальной декартовой системы (изначально в пункте наблюдения) перенести параллельно в конец вектора скорости осредненных его компонентов, и новую систему координат повернуть по часовой стрелке или против на угол (в зависимости от его алгебраического знака), рассчитанного по соотношению [Гутерман, 1965]:

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \frac{2r\sigma_u\sigma_v}{\sigma_u^2 - \sigma_v^2},$$

где u , v , r , σ_u , σ_v – соответственно компоненты вектора скорости по осям декартовой системы координат, коэффициент корреляции между ними и средние квадратические отклонения.

На основании расчетных характеристик можно построить так называемые эллипсы рассеяния, которые являются качественным показателем климатического потенциала самоочищения атмосферы. Сравнение эллипсов рассеяния позволяет отмечать места наилучших или наихудших рассеивающих способностей местной атмосферы (рис. 5).

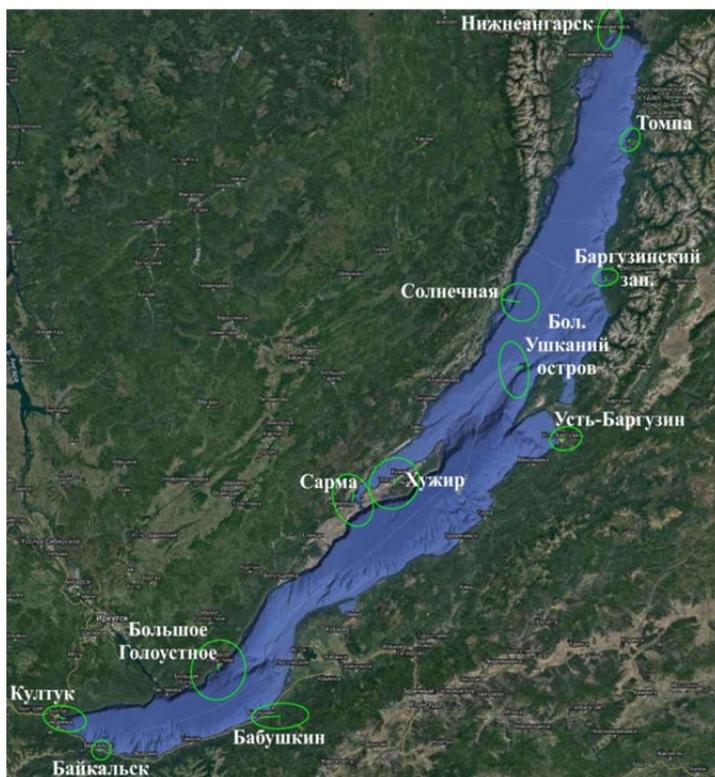


Рис. 5. Схема Байкала с эллипсами рассеяния векторов скорости ветра для февраля

Заключение

Проведена обработка ветровых показателей на основе данных метеорологических наблюдений (1997–2018 гг.) береговых станций и постов байкальской котловины.

Представлены фрагменты обоснованных результатов за отдельные климатические месяцы года.

Ветер – один из показателей рассеивающей способности атмосферы, что необходимо учитывать при организации какой-либо хозяйственной деятельности на сопредельных с Байкалом территориях.

Список литературы

Аргучинцева А. В., Ахтиманкина А. В. Случайные процессы в гидрометеорологии и природопользовании. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2018. 100 с.

Атлас волнения и ветра озера Байкал / под ред. Г. В. Ржеплинского, А. И. Сорокиной. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 117 с.

Байкал. Атлас / под ред. Г. И. Галазия. М. : Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993. 160 с.

Гутерман И. Г. Распределение ветра над северным полушарием. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 252 с.

Изменение № 1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1. Метеорологические наблюдения на станциях. СПб. : Гидрометеиздат, 1997. 58 с.

Кузнецов Е. С. Закон распределения случайного вектора // Доклады АН СССР. 1934. Т. 2, № 3-4. С. 187–190.

Ляпунов А. М. Собрание сочинений. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1956. Т. 2. 481 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 296 с.

Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь. Т. 3 / под ред. А. И. Бедрицкого. СПб. : Летний сад, 2009. 214 с.

Climate Data Center [Электронный ресурс] // Deutscher Wetterdienst. URL: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC.

Narendra K. S., Taylor J. N. Frequency domain criteria for absolute stability. N. Y., L., 1973. 273 p.

Characteristics of Wind over Baikal

A. V. Arguchintseva, E. A. Kochugova, A. V. Mikheeva

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The data of long-term observations at stationary meteorological stations located along the coastline (almost 2000 km long) of Lake Baikal are considered. The behavior of the ground wind has been analyzed in different seasons of the climate year (1997-2018). The material was processed in both polar (true observational records) and local Cartesian coordinate systems. Fragments of individual results for some climatic months—representatives of the year are given, namely: February, July, December. The demonstration choice is due to the fact that in February Baikal is usually completely covered with ice; July and December are the sharpest drop in water-land temperatures. So in December (compared to other months) for all stations of the coast can be noted the smallest number of calm situations, the most significant average and maximum velocity wind. The recurrence of calms on average increases by evening (local) time. In many Baikal stations, wind stability ratios are close, especially in December to North Atlantic trade winds. There is an interesting pattern: the more stable the wind, the more clearly there is an inverse correlation between the components of the wind speed vector, i.e. as if one of the components tends to keep the direction in a certain direction.

Keywords: Lake Baikal, stability, wind, dissipating ability.

For citation: Arguchintseva A.V., Kochugova E.A., Mikheeva A.V. Characteristics of Wind over Baikal. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 33, pp. 21-32. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.21> (in Russian)

References

Arguchintseva A.V., Akhtimankina A.V. *Sluchainye prozessy v gidrometeorologii i prirodopolsovanii* [Random processes in hydrometeorology and environmental management]. Irkutsk, Irkutsk State University Publ., 2018, 100 p. (in Russian)

Atlas volneniya i vetra osera Baikal [Atlas of excitement and wind of Lake Baikal]. Eds. Rzeplinsky G.V., Sorokina A.I. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1977, 117 p. (in Russian)

Baikal. Atlas [Baikal. Atlas] Ed. Galazii G.I. Moscow: Federalnaya sluzba geodezii i kartografii Rossii, 1993, 160 p. (in Russian)

Guterman I.G. *Raspredelenie vetra nad severnym polushariem* [Wind distribution over the northern hemisphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1965, 252 p. (in Russian)

Izmenenie N 1. Nastavlenie gidrometeorologicheskim stanziyam i postam [Change No 1. The Instruction for the hydrometeorological stations and posts]. Issue 3. Part 1. Meteorological observations at stations. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1997, 58 p. (in Russian)

Kuznetsov E.S. *Zakon raspredeleniya sluchainogo vektora* [Random Vector Distribution]. *Akademiya nauk SSSR. Doklady*, 1934, vol. 2, no. 3-4, pp. 187-190. (in Russian)

Lyapunov A.M. *Sobranie sochinenii* [Collection of Works]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1956, 481 p. (in Russian)

Nastavlenie gidrometeorologicheskim stanziyam i postam [The Instruction for the hydrometeorological stations and posts]. Issue 3. Part 1. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985, 296 p. (in Russian)

Rossiiskii gidrometeorologicheskii enziklopedicheskii slovar [Russian Hydrometeorological Encyclopedic Dictionary]. Saint-Petersburg, Letnii sad, 2009, 214 p. (in Russian)

Climate Data Center. Deutscher Wetterdienst. URL: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/.

Narendra K.S., Taylor J.N. *Frequency domain criteria for absolute stability*. N.Y., L., 1973, 273 p.

Аргучинцева Алла Вячеславовна

доктор технических наук, профессор,
заведующая, кафедра гидрологии
и природопользования

Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: arg@math.isu.ru

Arguchintseva Alla Vyacheslavovna

Doctor of Science (Technical), Professor,
Head, Department of Hydrology
and Environment

Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: arg@math.isu.ru

Кочугова Елена Александровна

кандидат географических наук, доцент,
кафедра метеорологии и физики
околоземного космического пространства

Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: kochugovae@mail.ru

Kochugova Elena Alexandrovna

Candidate of Science (Geography),
Associate Professor
Department of Meteorology and Physics
of Near-Earth Space

Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: kochugovae@mail.ru

Михеева Александра Васильевна

магистрант

Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: mikheeva.av@mail.ru

Mikheeva Alexandra Vasilevna

Undergraduate

Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: mikheeva.av@mail.ru

Коды научных специальностей: 25.00.30, 25.00.36

Дата поступления: 01.07.2020