

DOI: 10.18454/2079-6641-2015-10-1-25-33

ФИЗИКА

УДК 550.3

НЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ТОКИ ШМИДТА-БАУЭРА И АТМОСФЕРНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

В.В.Кузнецов

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: vvkuz38@mail.ru

Согласно развиваемой модели, - не потенциальная часть геомагнитного поля обязана вертикальным токам, связанным, в одном направлении, с переносом водяным паром положительного заряда, образующимся при испарении с растительности и водной поверхности, и, в обратном направлении, - отрицательным током дождя. Оба этих процесса весьма нерегулярны по пространству и времени, но суммарный заряд переносимый вверх, к облакам, примерно равен заряду, переносимому вниз, к поверхности Земли. Тем не менее, эти процессы приводят к накоплению положительного заряда в нижней ионосфере на высоте порядка 90 км.

Ключевые слова: не потенциальная часть геомагнитного поля, токи Шмидта-Бауэра, токи дождя и токи испарения

© Кузнецов В.В., 2015

PHYSICS

MSC 86A25

NONPOTENTIAL GEOMAGNETIC FIELD, SCHMIDT-BAUER CURRENTS AND ATMOSPHERIC ELECTRIC CURRENT

V.V. Kuznetsov

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

E-mail: vvkuz38@mail.ru

According to the developing model, the nonpotential part of the geomagnetic field is due to the vertical current associated with positive charge transfer by water vapour during plant and water surface evaporation in the same direction and with negative rain current in the opposite direction. These two processes are quite irregular both in space and in time, but the total charge transferred upwards to the clouds is almost equal to the charge transferred downwards to the Earth surface. Nevertheless, these processes result in the accumulation of positive charge in the lower ionosphere at the height of about 90 km.

Key words: nonpotential part of geomagnetic field, Schmidt-Bauer currents, rain currents and evaporation currents

© Kuznetsov V.V., 2015

Введение

Возможная связь между не потенциальностью геомагнитного поля, токам и Шмидта-Бауэра (A. Schmidt and L.A. Bauer currents) (Ш-Б) и атмосферным электрическим током (J) - обсуждается учеными более 100 лет. Однако, понимания проблемы – так и не достигнуто. Причина этого заключается в том, что геомагнитное поле принято с хорошей точностью считать потенциальным, а токи Ш-Б – не реальными. Более того, по оценкам величины не потенциальности поля, сила токов Ш-Б превышает атмосферный ток J на четыре порядка, что так же кажется совершенно не естественным.

A. Schmidt в 1895 первым показал, что магнитное поле Земли включает не потенциальную часть (ссылки в [1]). Как известно, в потенциальном поле линейный интеграл вдоль замкнутой кривой должен равняться нулю. В действительности в геомагнитном поле это не совсем точно. При такой операции оказывается, что нуль получается не всегда. Это означает существование вертикальных токов, достигающих земной поверхности. Шмидт усомнился в реальности результатов расчетов и приписал это неточности наблюдений элементов земного магнетизма [1].

Позже Bauer [1] при повторных пересчетах на значительно большем илучшем материале наблюдений нашел подтверждение результатов Шмидта. Самое поразительное при этом то, что токи, связанные с земным магнетизмом направлены частью вверх, частью вниз, к поверхности Земли. Плотность этих токов, получивших название токи Шмидта-Бауэра, примерно в 10 000 раз выше плотности нормального атмосферного электрического тока. Очевидно, что токи Ш-Б имеют несколько другую причину, чем атмосферный ток, однако, вполне возможно, что они связаны друг с другом. Например, можно предположить, что разность между разнонаправленными токами Ш-Б обеспечивает существование атмосферного тока легких ионов и т.д.

В результате расчетов, проведенных Шмидтом и Бауэром, было обнаружено, что в полярных регионах "ток"направлен вверх (рис. 1) в то время как ток экваториального пояса в целом имеет противоположную направленность. Плотности обоих токов примерно равны. Поверхность Земли, на которой токи Ш-Б текут вверх, - примерно равна поверхности Земли с токами, текущими вниз. Различие в направлениях токов, текущих над океанами и материками, как следует из рис. 1, - не наблюдается.

Не потенциальное поле

Не потенциальная часть геомагнитного поля присутствует не только в постоянном, но и в переменном поле, т.е. в суточных S_q -вариациях [2]. В частности, Беньковой было показано, что не-потенциальная часть S_q - вариаций достигает 1/5 всего поля вариаций, а плотность переменных «токов», которые ее создают, на 2-3 порядка превышает плотность токов проводимости атмосферы.

Серьезное обсуждение вопроса относительно наличия у геомагнитного поля **B** не дипольной части продолжалось больше нескольких десятилетий [3]. В известных учебниках: «Геомагнетизм» (Chapman and Bartle), «Физика Геомагнитных Явлений» (Matsushita and Campbell), «Введение в Геомагнетизм» Паркинсона [4] не потенциальное магнитное поле обычно игнорируется. Учебник Паркинсона содержит специальный параграф относительно не потенциальности геомагнитного поля.

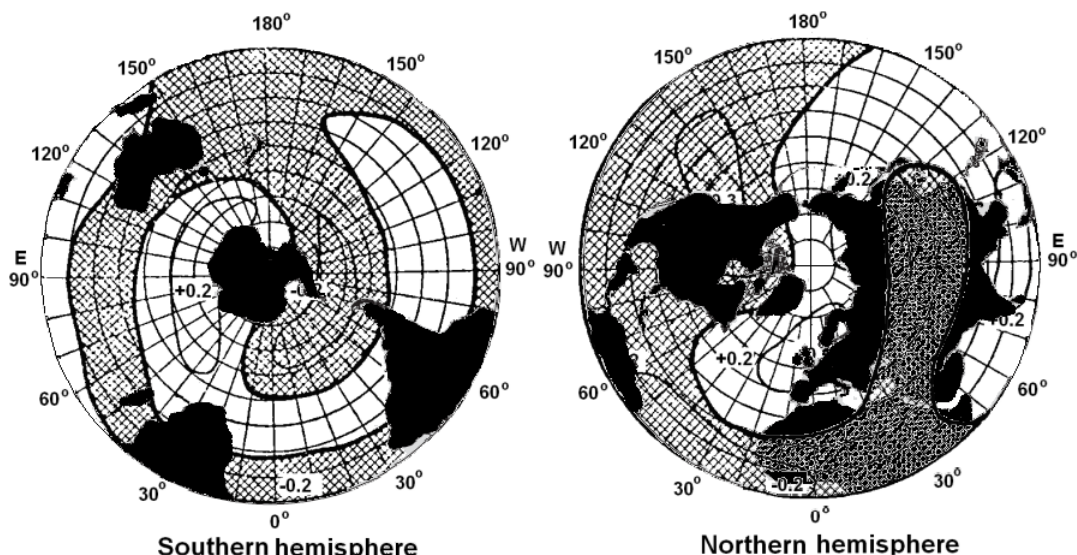


Рис. 1. Токи Шмидта-Бауэра [1] в северном и южном полушариях. В районах полюсов – токи положительные (направлены вверх), в экваториальной зоне – токи отрицательны (области их существования затемнены, а сами токи направлены вниз)

Обсуждение возможного источника не потенциальной части геомагнитного поля, вычисленной по данным, полученным на многих магнитных обсерваториях мира, - приведено в [3]. На каждой геомагнитной станции возможно влияние от намагничивания природной среды и электрических токов в непосредственной близости от пункта наблюдения. При вычислении $\text{rot } \mathbf{B}$ используется различие между наблюдаемыми величинами \mathbf{B} на соседних станциях. Например, если у нас есть результаты наблюдения \mathbf{B} (B_x , B_y , B_z) на четырех станциях: $(x_1 + dx, y_1 + dy)$, $(x_1 - dx, y_1 + dy)$, $(x_1 - dx, y_1 - dy)$ и $(x_1 + dx, y_1 - dy)$, величина $\text{rot } B_z$ в пункте (x_1, y_1) , будет:

$$\{B_y(x_1 + dx, y_1 + dy) - B_y(x_1 - dx, y_1 + dy) + B_y(x_1 - dx, y_1 - dy) - B_y(x_1 + dx, y_1 - dy)\}/4dx - \{B_x(x_1 + dx, y_1 + dy) - B_x(x_1 - dx, y_1 + dy) + B_x(x_1 - dx, y_1 - dy) - B_x(x_1 + dx, y_1 - dy)\}/4dy.$$

Расчетная величина $\text{rot } \mathbf{B}$ не будет исчезать, если dx и dy будут конечными величинами, но она уменьшится когда dx , и dy становятся малыми, и, в конечном счете, исчезнут, в крайнем случае, когда $dx=0$ и $dy=0$. Имеется возможность проверить это предположение, распределяя большое число пунктов наблюдения вдоль пространственной петли, таким образом, чтобы бы вычислить $\text{rot } \mathbf{B}$.

Таким образом, не потенциальность геомагнитного поля оказывается вполне возможной. Основная причина её, это вертикальные токи, текущие с поверхности Земли в атмосферу и обратно. Известно, что в атмосфере существует атмосферное электрическое поле (АЭП), его величина: 120 – 150 В/м – над океанами и 75 – 125 – над материками.

Поскольку у Земли есть АЭП, то, естественно, ожидать и электрический ток через атмосферу. Так вот, он существует и представляет собой поток положительных и отрицательных ионов направленный вертикально вниз, причем очень стабильной плотности, мало зависящей от высоты. Считается, что токи, текущие в обратную сторону, обеспечиваются «грозами и молниями».

Токи, текущие в атмосфере Земли

Токи, текущие в атмосфере Земли, известны:

- Плотность атмосферного тока ионов в районах с ясной погодой составляет $2-3 \cdot 10^{-12}$ А/м².

- Плотность тока, обусловленного переносом зарядов на каплях дождя, града, снега, при спокойных ливнях составляет $10^{-7}-10^{-6}$ А/м²

- Плотность тока, обусловленного переносом зарядов на каплях дождя, града, снега, при грозовых ливнях и граде составляет до $10^{-6}-10^{-4}$ А/м²

- Сила тока в молнии - до 500 кА, (с наибольшей вероятностью - в диапазоне 20-40 кА).

Напряжение в молнии составляет до 10^9 В, длина молнии достигает 10 км, диаметр канала молнии достигает 20 см.

Отметим, что плотность токов Ш-Б ($10^{-9}-10^{-8}$ А/м²) примерно равна плотности тока дождя (10^{-8} А/м²). Как следует из рис. 2, ток дождя может менять своё направление, оставаясь в основном – отрицательным.

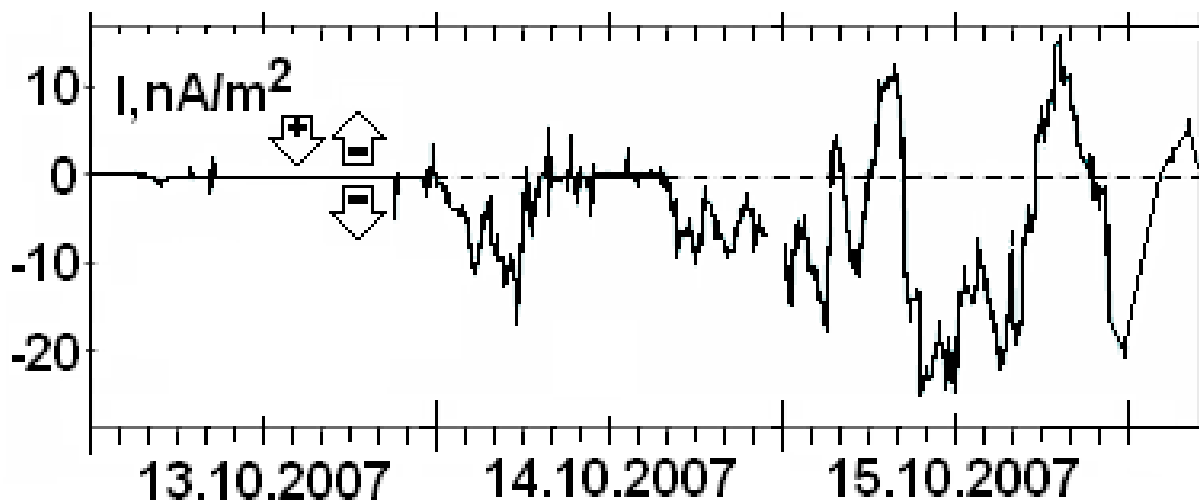


Рис. 2. Ток дождя [5]

Очевидно, что в атмосфере должен существовать и ток, обратный току дождя. По-видимому, это ток, обязанный переносу зарядов в восходящих потоках нагретого и влажного воздуха. Такие потоки возникают, как правило, в теплых лесистых и влажных регионах материков. Согласно работе [6], восходящие потоки, так же как и токи дождя могут нести как положительные, так и отрицательные заряды.

В этом убедились некоторые радиолюбители, которые проводили измерения атмосферных токов принимаемых их телевизионными антеннами. Во время ясной и сухой погоды ток был всегда положительным (от антенны к земле), при отсутствии облаков $0,1 \dots 0,3$ нА, по мере развития облачности флуктуации увеличивались, и иногда ток доходил до 7 нА. В ненастье ток был всегда отрицательным, во время тумана и легкой мороси $-0,2 \dots -1$ нА, при дожде больше, максимальное зарегистрированное значение -14 нА. Наэлектризованные капли тумана, мороси и дождя, осаждаваясь на антенне, отдавали ей свой отрицательный заряд. Если допустить, что эффективная площадь поверхности телевизионной антенны достигала 1 м^2 , то результаты измерений тока дождя близки по величине.

Заряды в атмосфере

Сравним величины электрических зарядов в атмосфере Земли:

- Средний заряд грозового облака 50 кулон.
- Заряд циклона, по нашим оценкам, достигает $Q = 5 \cdot 10^3$ Кл. Площадь его 100×100 км² [?].
- Заряд Земли как шара радиусом R обладающим полем $E = 100$ В/м: $Q_1 = \epsilon R^2 E = 5.7 \cdot 10^5$ кулон, R_E – радиус Земли ϵ – электрическая постоянная.
- Заряд слоя положительных ионов, толщиной 1 км, на высоте 85 км: $Q_2 = NSh e = 10^4 \text{ см}^{-3} \times 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^2 \times 10^5 \times 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 10^9$ Кл, где N - концентрация зарядов, S - площадь поверхности Земли, h - толщина слоя, e - заряд электрона [8].
- Заряд, переносимый к Земле током дождя в течение одних суток на территории равной примерно 0.1% от общей поверхности Земли: $Q_3 = j S k t = 10^{-10} \text{ А/см}^2 \times 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^2 \times 10^{-3} \times 1 \text{ сутки} ((10^5 \text{ с})) = 5 \cdot 10^{10}$ Кл. Здесь: j – плотность тока дождя, k – доля поверхности Земли, занятой дождем, t - время зарядки Земли дождем.
- Заряд конденсатора «Земля-ионосфера»: $Q_4 = CU$, где C - ёмкость конденсатора Земля-ионосфера (электросфера) $C = 4\pi\epsilon_0\Delta R_E/R_E^2 = 5 \cdot 10^{-2}$ ф. ΔR_E – высота ионосферы. U – потенциал ионосферы $U = 300\,000$ В. $Q_4 = CU = 5 \cdot 10^{-2}$ ф $\times 3 \cdot 10^5 = 1.5 \cdot 10^4$ Кл.

Сравнение величин зарядов Q_1 и Q_4 , имеющих непосредственное отношение к АЭП, с величинами зарядов слоя положительных ионов (ионов гидроксония - H_3O^+) Q_2 и зарядов дождевого облака Q_3 , показывает, что электрические заряды атмосферы значительно (более чем на 4 порядка) превышают заряды, приписываемые АЭП.

Если природа токов АЭП известна, это дрейф легких ионов, то о природе токов Ш-Б этого сказать нельзя. Выше мы отмечали, что токи Ш-Б по величине близки токам дождя. Предположим, что ток дождя и есть ток Ш-Б, тогда ток обратного направления, - это ток зарядов, поднимаемых в атмосферу восходящим потоком воздуха. Дождевые капли, как правило, заряжены отрицательно, они падают вниз, что означает направление тока вверх. Подъем отрицательных капель восходящими потоками определяет ток вниз. Смена знака заряда капель приводит к смене направления токов Ш-Б.

Известно, что при испарении воды в гравитационном поле происходит разделение электрических зарядов. Этот процесс ответственен за возникновение электрических вспышек и молний в атмосфере. В динамике таких процессов явно формируются кулоновские динамические аттракторы, фокусирующие электрическое поле и заряд. Образование двойного слоя на поверхности раздела фаз является общим свойством (и не только воды и пара). На поверхности теплых, влажных и лесистых материков происходит интенсивное испарение, ионизация и разделение зарядов. В тундре и пустынях происходит обратная картина – выпадение осадков. Круговорот воды в природе определяет и круговорот электрических зарядов, а их перенос и есть токи Ш-Б.

При этом происходит диссоциация воды на ионы водорода и гидроксила. Свободный ион H^+ не способен к самостоятельному существованию и гидратируется молекулой воды с образованием иона гидроксония: $\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} (\text{H}_3\text{O}^+)$. Суммарная реакция представляет собой переход протона от одной молекулы к другой и образование ионов гидроксония и гидроксила: $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} (\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-)$. Гидроксоний – летучий газ быстро поднимается в атмосфере до высоты 85 км и по неясной причине - здесь накапливается [8]. Гидроксил коагулирует на себя пары воды, превращается

в водный аэрозоль, который поднимается восходящим потоком нагретого воздуха. Именно этот процесс является током Ш-Б, направленным вниз. Как известно, на экваторе происходит основное образование облаков, которые переносятся ветрами в более холодные районы Земли и выливаются дождем.

Наблюдения за изменением полярности АЭП, проведенные на Камчатке в районе термальных полей вулкана Мутновский, подтверждают эту идею. Нами было показано, что если из термальной скважины выбрасывается пар с большим содержанием конденсированной воды, то величина АЭП уменьшается и может изменить свою полярность. Если из скважины выбрасывается сухой водяной пар, то величина АЭП значительно возрастает [9].

Электрическая энергия атмосферы

Сравним электрическую энергию, запасенную в конденсаторе «Земля-ионосфера» с энергией атмосферы. Электрическая энергия $WC \approx Q$.

- Энергия атмосферного электрического поля $W_1 = 3 \cdot 10^4$ Дж, энергия слоя ионов $W_2 = 5 \cdot 10^7$ Дж, заряда дождя $W_3 = 2 \cdot 10^9$ джоулей. Энергия конденсатора $W_4 = 5 \cdot 10^2$ джоулей.

Полученные значения величин сравним с энергией атмосферы. Согласно [10], внутренняя энергия всей атмосферы оценивается цифрой $8,6 \cdot 10^{23}$ Дж, потенциальная = $3,6 \cdot 10^{23}$ Дж, а кинетическая - на два порядка меньше: 10^{21} Дж, то есть составляет менее 1% потенциальной энергии. Видно, что электрическая энергия атмосферы ничтожна по сравнению с энергией кинетической.

Приведенные выше оценки показывают, что на Земле должно наблюдаться изменение токов Ш-Б в зависимости от вариаций климата при соблюдении общего условия равенства текущих токов вверх и вниз. Токи должны изменяться и при смене сезонов зима-лето и при изменении температуры. Вероятно, изучая изменения данных обсерваторий за последние половину века, можно будет обнаружить тенденцию изменения токов Ш-Б, вызванных современным трендом глобального потепления.

Климат и токи Ш-Б

Эту идею проверили авторы [11], которыми было обнаружено явление не потенциальности геомагнитного поля в Европе. Авторы показали, что в переменном геомагнитном поле можно выделить ротор индукции. Отрицательный знак ротора индукции соответствует отрицательному току, причем этот ток направлен от атмосферы к поверхности Земли. Положительный знак ротора индукции соответствует положительному току. Плотность тока может достигать (1 мкА/м²). Предварительные результаты, полученные авторами [11], показывают, что в северных и южных регионах Европы – текут отрицательные токи (направленные к поверхности Земли). В центральной части Европы текут, положительные (направленные в атмосферу) токи (рис. 3, слева).

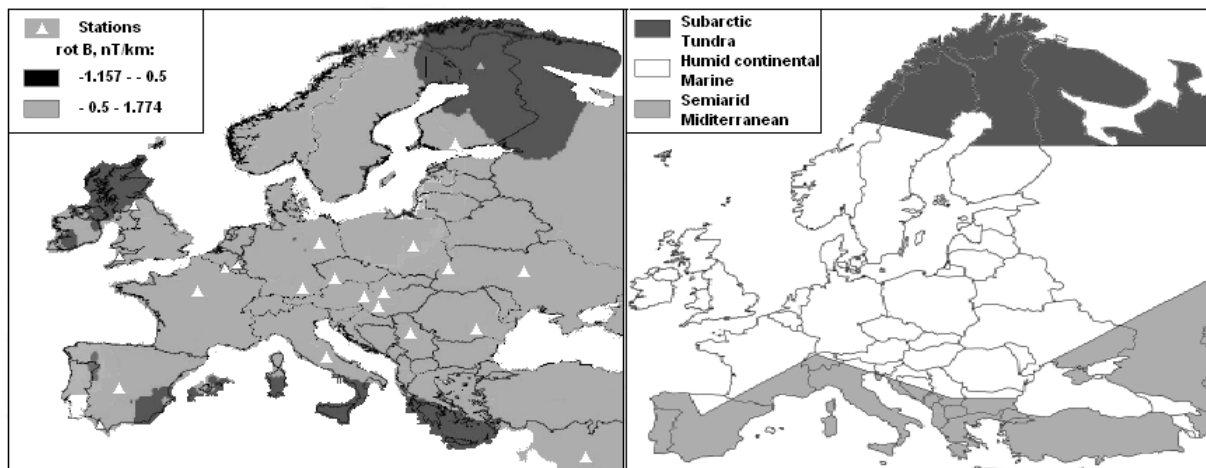


Рис. 3. Токи Шмидта-Бауэра (слева). Климат Европы (справа)

Обратимся к схематической картине климата Европы (рис. 3, справа).

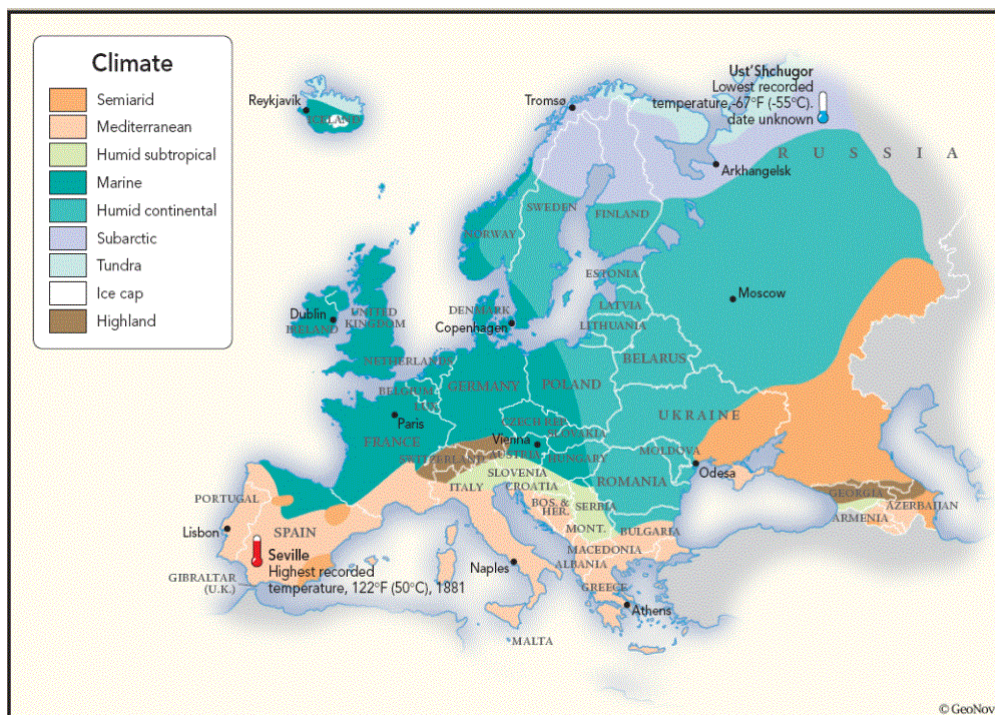


Рис. 4. Климат Европы

На рис. 4 можно видеть, что в северных (Tundra) и южных (Semiarid) регионах нет необходимых условий (наличие лесных массивов) для возникновения восходящих влажных потоков, переносящих отрицательно заряженные водные аэрозоли в атмосферу. В этих регионах, скорее всего, происходит выпадение осадков и перенос отрицательного электричества дождя к Земле. Наибольшие потоки вверх возникают в лесных областях, где происходит самое интенсивное испарение. При испарении происходит ионизация и образование отрицательно заряженных аэрозолей, т.к. свойство воды состоит в том, что она сохраняет именно отрицательный заряд. Положительные ионы, преимущественно гидроксония поднимаются вверх восходящим

потоком и, в конечном счете, скапливаются на высоте около 80 км. В токах Ш-Б они участия не принимают.

Полученный авторами [11] результат не противоречит нашей модели токов ШБ. Однако его трудно сопоставить с известной картиной токов Ш-Б, изображенной на рис. 1. Эта картина была получена около 100 лет тому назад и более не уточнялась.

Идеи, изложенные в нашей статье, требуют проверки реальности наличия не потенциальности геомагнитного поля и существования токов Ш-Б. Все основания для проведения такой проверки (банк данных геомагнитных обсерваторий) - имеются.

Имеет смысл также повторить исследования суточных S_q -вариаций, проведенных Н.П. Беньковой [2]. Такая работа была выполнена В.В. Плоткиным [?]. В этой работе проводилась пространственная интерполяция комплексных амплитуд временных гармоник рядов наблюдений компонент полей, полученных на пунктах и представленных по мировому времени. Использовались комплексные среднегодовые амплитуды временных гармоник суточного периода S_q -вариаций, полученные по данным 132 станций мировой сети за 1958 год.

Автору удалось показать, что в S_q -вариациях кроме потенциальной части поля, присутствует и не потенциальная часть, соизмеримая по величине с потенциальной и составляющей порядка 10 нТл. Если учесть атмосферный ток, то его вихревая часть его магнитного поля должна составлять величину 0.01 нТл. Автор относит не потенциальную часть за счет локальных помех случайного происхождения на станциях. Если же допустить, что обнаруженная Плоткиным [2005] не потенциальная часть геомагнитного поля обязана какому-то другому вертикальному току, то плотность его может быть порядка 10-9 А/м². Вполне возможно, что этот ток и есть ток Ш-Б, или ток дождя, по нашей модели.

Согласно предлагаемой модели, токи Ш-Б имеют климатические корни. Этот подход не так хорошо как хотелось бы согласовывается с результатами, изображенными на рис. 1. Подтверждение результатов Шмидта и Бауэра на основе современных данных должно показать правомерность или ошибочность нашей модели. Во втором случае видимо придется искать другие пути разрешения проблемы не дипольности геомагнитного поля.

Для реализации масштабных наблюдений токов Ш-Б, возможно, стоит рассмотреть вопрос о создании простых устройств регистрации токов дождя и токов восходящих потоков и оснащении ими различных станций и обсерваторий.

Библиографический список

1. Швейдлер Э. Сохранение электрического заряда Земли. М, Л.: ОТЛ. 1936. 75 с.
2. Бенькова Н.П. Спокойные солнечно-суточные вариации земного магнетизма. Л.-М.: Гидрометеодиздат, 1941.
3. Fukushima N. Memorandum on Non-Curl-Free Geomagnetic Field // IL Nuovo Cimento, 1989 V.12 C, N. 5. P. 541-546.
4. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986. 525 с.
5. Канониди К.Х., Лидванский А.С., Собисевич Л.Е., Хаердинов Н.С. Пульсации геомагнитного поля связанные с вариациями интенсивности космических лучей во время гроз. 31-я ВККЛ. Москва, МГУ. 2010.
6. Stolzenburg M., Rust W.D., Marshall T.C. Electrical structure in thunderstorm convective regions 3. Synthesis // Journal Geoph. Res., 1998, V.103, Issue: D12, P. 14097-14108.

7. Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Дружин Г.И. О влиянии циклонов на атмосферное электрическое поле Камчатки // ДАН. 2007. Т. 412. №1. С. 147-150.
8. Ferguson E.E., Fehsenfeld F.C. Water vapor ion cluster concentrations in the D-region // J. Geophys. Res. 1969. V. 74. N. 24. P. 5743-5751.
9. Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Бабаханов И.Ю. Эксперименты по активному воздействию струи водяного пара на атмосферное электрическое поле // ФАО. 2008. Т. 45. №. 6. P. 803-808.
10. Борисенков Е.П. Состояние и современные проблемы энергетики атмосферных процессов // Проблемы современной гидрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 123–144.
11. Бакиятв А.П., Бетёв А.А., Гвоздарев А.Ю. Исследование вихревой составляющей геомагнитного поля // Физика окружающей среды. 2010. С. 18-21.
12. Плоткин В.В. Метод согласования компонент для исследования латеральных неоднородностей по данным глобального МВЗ и МТЗ // Геология и Геофизика. 2005. Т. 46. №5. С.568-578.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 14.03.2015