

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
им. А. И. ВОЕЙКОВА

Выпуск

471

ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ
ПОГОДЫ И КЛИМАТА

Под редакцией
д-ра физ.-мат. наук Л. Р. РАКИПОВОЙ,
канд. геогр. наук Б. И. САЗОНОВА



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1984

9. Рубинштейн Е. С. О полугодовой температурной волне в атмосфере. — Геофизический сборник, 1928, т. 5, вып. 2, с. 64—76.

10. Сазонов Б. И., Логинов В. Ф. Солнечно-тропосферные связи. — Л.: Гидрометеоздат, 1969. — 115 с.

11. Смирнов Н. П. Сезонные вариации в деятельности системы Гольфстрим. — Проблемы Арктики и Антарктики, 1966, вып. 22, с. 43—51.

12. Shaw W. N., Cohen C. R. On the seasonal variation of atmospheric temperature in the British Isles and its relation to wind-direction with a note on the effect of sea temperature on the seasonal variation of air temperature. — Proc. Roy. Soc., London, 1902, v. 69, N 451, p. 61—85.

Б. И. Сазонов, Л. П. Спирина

ГОДОВОЙ ХОД СВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ С АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

В ряде работ последнего десятилетия были отмечены хорошие связи месячных значений индексов геомагнитной активности K_p с планетарной циркуляцией атмосферы, повторяемостью различных форм циркуляции, с формированием летних засушливых сезонов и с урожайностью зерновых [3].

В этих исследованиях на форму представления геомагнитных индексов особого внимания не обращалось; использовались те индексы и в том виде, в котором они были доступны авторам. В настоящей работе поставлена задача найти лучшие способы представления данных о возмущениях геомагнитного поля.

В последние годы интенсивно развиваются исследования связи индексов геомагнитной возмущенности с параметрами межпланетной среды. Измерения, проведенные с космических аппаратов за последние два цикла солнечной активности, дали обширный материал для выявления факторов, определяющих возмущения геомагнитного поля. Были измерены такие параметры, как скорость солнечного ветра v , напряженность межпланетного магнитного поля B , плотность протонов солнечного ветра в единице объема n .

Уже самые первые измерения v дали возможность установить хорошие связи индекса геомагнитной возмущенности K_p с вектором скорости солнечного ветра [8]. Однако в дальнейшем оказалось, что от изменения масштабов временного осреднения связи K_p с величинами v , B и n изменяются и трудно выделить главный параметр межпланетной среды, который всегда был определяющим в изменениях индексов геомагнитной возмущенности.

При масштабах осреднения порядка часа и менее скорость солнечного ветра v практически не изменяется, а параметр B , отражая флуктуационную структуру межпланетной среды, меняется существенно. За этот промежуток времени межпланетное магнитное поле может даже сменить свое направление. В этих

временных интервалах изменения B в основном определяют изменения магнитного поля и величину индексов возмущенности [4, 6, 7].

При масштабах осреднения от нескольких часов до нескольких суток роль параметров B и v выравнивается. При средних трехчасовых значениях $1,5 < K_p < 2,5$ вклад B и v одинаков. Особенно низкие значения геомагнитного индекса ($K_p < 1,5$) связаны, как правило, с наличием северной составляющей магнитного поля B_N , а очень высокие ($K_p > 2,5$) — с наличием южной составляющей межпланетного магнитного поля B_S [4].

При масштабах осреднения от нескольких дней до нескольких месяцев решающий вклад в изменения геомагнитного индекса K_p принадлежит параметру v . Здесь следует дать некоторые пояснения. Межпланетное магнитное поле меняется не только вследствие турбулентной структуры среды, но и в результате прохождения Землей секторов магнитного поля, связанного с крупномасштабными образованиями на поверхности Солнца и вынесенного солнечным ветром на орбиту Земли. За один оборот Солнца (27 дней) Земля пересекает, как правило, 4 или 6 таких секторов. Таким образом, каждые 4—8 дней происходит кардинальная смена направления магнитного поля. Рассматривая промежутки времени от нескольких дней до нескольких месяцев, очень трудно выделить влияние преобладающей ориентации — B на геомагнитную активность. Этот эффект усиливается еще и потому, что масштаб временного осреднения в этом случае совпадает с масштабом изменений в структуре поля v .

Скорость солнечного ветра обычно в пределах 300—500 км/с. Его среднее поле возмущается потоками плазмы, имеющими скорости порядка 600—800 км/с, а иногда и больше. Высокоскоростные потоки солнечного ветра появляются в результате серий хромосферных вспышек и прохождения низкоширотных корональных дыр по диску Солнца. Это приводит к возрастанию v в течение 5—15 дней. Наконец, большие многомесячные флуктуации солнечной активности приводят к определенному возрастанию v в течение 1—5 месяцев.

Учитывая вышесказанное, можно понять, почему интервал осреднения от нескольких дней до нескольких месяцев выявляет в изменениях индекса K_p главным образом эффекты изменения скорости солнечного ветра v .

Есть ряд соображений, из которых следует, что с дальнейшим увеличением масштаба временного осреднения (от нескольких лет до столетий и тысячелетий) роль B в изменениях геомагнитного индекса K_p должна вновь возрастать. Различие геомагнитной возмущенности в четных и нечетных солнечных циклах не может объясняться изменением v , но хорошо согласуется с изменениями B . Очень низкий уровень геомагнитной активности в отдельные годы прошлого столетия не может быть объяснен уменьшением v до 200 км/с и менее, что противоречит современной теории солнечной короны [6]. Это можно объяснить, например,

слабой изменчивостью и ориентацией B в плоскости эклиптики в периоды длительного минимума солнечной активности.

К сказанному следует добавить, что геомагнитные бури (периоды высоких значений K_p), отмечаемые в течение 3—15 дней, вызываются попаданием Земли в высокоскоростные потоки солнечного ветра. Две-три геомагнитные бури заметно увеличивают средние месячные значения K_p , дают информацию о крупных физических изменениях в процессах на Солнце и в межпланетной среде.

Естественно, возникает вопрос о путях выделения полезной для метеорологии информации в индексах геомагнитной активности. Одним из авторов (совместно с Н. И. Яковлевой) уже предпринималась попытка исследования аномальных месячных значений K_p в связи с изменениями урожайности. Было показано, что величина $\Delta K_p = K_p - \overline{K_p}$ год лучше связана с урожайностью, чем величина K_p .

В настоящей работе флуктуационный индекс ΔK_p рассчитывался в отклонениях от фона $\overline{K_p}$ месячных значений K_p :

$$\Delta K_p = K_p - \overline{K_p}.$$

Поскольку возмущения в скорости солнечного ветра могут влиять на значения K_p в течение ряда месяцев, то естественно, нельзя выделить флуктуационную часть, принимая за уровень фона значения K_p соседних месяцев. Несколько лучшие результаты получаются, если за $\overline{K_p}$ берутся средние годовые значения. Однако в качестве фона можно использовать значения K_p в том же месяце в предшествующих или последующих годах. Такой подход устраняет 11-летние, годовые и полугодовые вариации K_p . Возможен и комбинированный подход, когда одновременно используются значения K_p в соседних месяцах, а также значения K_p в предшествующие и последующие годы за один и тот же месяц.

Рассматривалось около 10 способов вычисления фона $\overline{K_p}$. Во всех случаях использовалась пятичленная последовательность $(i-2, i-1, i, i+1, i+2)$ с меняющимся соотношением весовых коэффициентов. Здесь i — год, для которого вычисляется месячное значение флуктуационного индекса ΔK_p . Ниже приводятся некоторые весовые коэффициенты:

Способ	Год				
	$i-2$	$i-1$	i	$i+1$	$i+2$
1	0,00	0,33	0,33	0,33	0,00
2	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
3	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00
4	0,10	0,20	0,40	0,20	0,10
5	0,10	0,30	0,20	0,30	0,10

Коэффициенты корреляции r между средними широтными аномалиями давления Δp и индексом геомагнитной активности, 1935—1967 гг.

Широта, °С	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
90	0,26	0,09	0,41	0,32	-0,21	0,26	0,27	0,54	0,60	0,27	0,14	0,09
80	0,30	0,01	0,47	0,24	-0,27	0,32	0,19	0,60	0,43	0,27	0,01	-0,03
70	0,11	-0,14	0,45	0,03	-0,09	0,16	-0,31	0,66	0,13	0,05	-0,02	-0,36
65	0,09	-0,21	0,39	-0,14	0,00	0,09	-0,40	0,44	0,10	-0,04	-0,04	-0,50
60	0,01	-0,27	0,20	-0,16	0,14	0,03	-0,28	0,18	0,11	-0,14	-0,02	-0,51
55	-0,30	-0,29	-0,23	-0,21	0,23	-0,03	-0,08	-0,05	0,14	-0,26	0,00	-0,37
50	-0,21	-0,24	-0,47	-0,13	0,24	-0,07	0,15	-0,14	0,07	-0,33	0,21	-0,07
45	-0,16	-0,17	-0,53	-0,04	0,14	0,20	0,31	-0,22	-0,19	-0,25	0,17	-0,03
40	-0,13	-0,04	-0,53	0,11	0,03	0,32	0,27	-0,27	-0,29	-0,32	0,32	0,15
35	-0,03	-0,08	-0,38	0,19	0,10	0,00	0,19	-0,03	0,11	0,08	-0,03	0,11
30	-0,22	0,04	-0,39	0,26	0,16	0,34	0,43	-0,08	-0,28	-0,16	0,17	0,32
25	-0,03	0,00	-0,31	0,41	0,07	0,28	0,18	0,01	0,07	-0,02	0,19	0,18
20	0,03	0,16	-0,23	0,13	0,04	0,20	-0,03	-0,03	0,00	-0,10	0,08	0,31

Поскольку флуктуационный индекс характеристика глобальная, то естественно было опробовать его на метеорологических рядах, сходных по масштабам пространственного осреднения. В качестве таких рядов были взяты аномалии давления Δp , осредненные по широтам с интервалом 5° северного полушария по группе широт (полярная шапка) и полушарию в целом.

Месячные значения ΔK_p были рассчитаны за период 1935—1967 гг. (Надежная метеорологическая информация, а также данные по геомагнитному полю в полярных широтах за более ранние годы отсутствуют.) Кроме индекса K_p использовался индекс r_n , представляющий собой часовые амплитуды горизонтальной составляющей геомагнитного поля. Флуктуационный индекс Δr рассчитывался для трех станций: о. Хейса (севернее зоны полярных сияний), Тикси (южнее зоны полярных сияний), Диксон (под зоной полярных сияний). Эти станции начали свою работу в 1934—1936 гг.

В табл. 1 приведены коэффициенты корреляции между ΔK_p^* и Δp для всех широтных кругов. В отличие от K_p флуктуационный индекс ΔK_p дает более устойчивые связи. Как видно из табл. 1, высокими связями характеризуются март, август и декабрь. Выделяется и широта зоны, одинаковой по знаку связи. Максимальные коэффициенты корреляции отмечаются в полярной шапке (65 — 90° с. ш., март и август). К югу от 55° с. ш. знак связей меняется.

На особенности марта, августа и декабря обращалось внимание в литературе и ранее. Так, например, в работах [2, 5] были оценены прогностические указания, полученные на основе синоптической информации, и выделены месяцы максимальной обеспеченности ими ряда станций Западной Сибири. Максимально обеспеченными прогностическими признаками оказались март, апрель, август и декабрь. Эти месяцы были отмечены как лучшие в исследованиях по оправдываемости долгосрочных прогнозов, проведенных в ГГО [1, 3].

В табл. 2 приведены коэффициенты корреляции между флуктуационными индексами ΔK_p и Δr_n^{**} и аномалиями давления над полярной шапкой $\Delta p_{п.ш.}$ и северным полушарием. Временные особенности, отмеченные в связях ΔK_p и средних широтных аномалий давления, сохранились. Несколько сместились основные акценты в связях с Δp полушария (февраль, июнь, декабрь), что вызвано, очевидно, изменением знака связи от высоких широт к низким.

Обращает на себя внимание высокая связь с Δr_n для станции Диксон, расположенной под зоной полярных сияний, и снижение этой связи для станций о. Хейса и Тикси, расположенных соответственно севернее и южнее зоны полярных сияний.

Приведенные в настоящей работе материалы показывают, что есть пути лучшего использования геофизической информации

* Используются весовые коэффициенты, рассчитанные по способу 4.

** Используются весовые коэффициенты, рассчитанные по способу 1.

Коэффициенты корреляции r флуктуационных индексов ΔK_p и Δr_n с характеристиками аномалий давления Δp на северном полушарии. 1935—1967 гг.

Коррелируемые ряды	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ΔK_p и $\Delta P_{п. ш.}$	0,14	-0,22	0,48	0,03	-0,06	0,19	-0,29	0,63	0,26	-0,04	-0,08	-0,54
Диксон, Δr_n и $\Delta P_{п. ш.}$	0,12	-0,27	0,46	-0,03	-0,09	0,16	-0,20	0,62	0,06	0,02	-0,13	-0,47
О. Хейса, Δr_n и $\Delta P_{п. ш.}$	-0,12	-0,30	0,29	0,04	-0,00	0,29	-0,18	0,60	0,01	-0,10	-0,15	-0,49
Тикси, Δr_n и $\Delta P_{п. ш.}$	-0,09	-0,14	0,03	-0,18	-0,34	0,01	0,32	0,41	-0,09	-0,24	-0,12	0,28
ΔK_p и $\Delta P_{сев. п.}$	0,14	0,56	0,13	0,06	0,00	-0,43	0,28	-0,21	-0,15	-0,26	-0,25	0,32

в метеорологических исследованиях. Март, апрель, август и декабрь, в которых обнаруживаются хорошие связи геофизических и метеорологических процессов, оказываются месяцами наиболее успешных долгосрочных прогнозов. Это указывает на важное значение гелиогеофизической информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьева Е. В., Соколова А. П. Опыт прогнозирования аномалий месячных сумм осадков на ЕТС и в Северном Казахстане с заблаговременностью более года. — Труды ГГО, 1976, вып. 378, с. 148—156.
2. Зубович М. Г. и др. Информативность аналогов по истории синоптических процессов и метеорологических полей. — Труды ЗСРНИГМИ, 1979, № 42, с. 37—43.
3. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. — Л.: Гидрометеоздат; 1969. — 254 с.
4. Приганцова А. В. Связь параметров солнечного ветра и геомагнитной возмущенности в 20-м цикле солнечной активности. — *Physica solari-terrestris*, 1980, N 12, p. 1928.
5. Сергин С. Я. О причине августовской и апрельской аномалий солнечной радиации. — Труды ГГО, 1976, вып. 378, с. 124—132.
6. Gosling J. T. et al. Solar wind speed variations: 1962—1974. — *J. Geophys. Res.*, 1976, v. 81, p. 5061—5068.
7. Russell C. T., Fleming B. K. Magnetic pulsations as a probe of the interplanetary magnetic field. — *J. Geophys. Res.*, 1976, v. 81, p. 5882—5890.
8. Snyder C. W., Neugebauer M., Rao U. R. The solar wind velocity and its correlation with cosmic-ray variations and with solar and geomagnetic activity. — *J. Geophys. Res.*, 1963, v. 68, p. 6361—6374.

Г. Ф. Гетманова, Б. И. Сазонов, Л. П. Спирина

ИНФОРМАТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФЛУКТУАЦИОННОГО ИНДЕКСА ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

К настоящему моменту накоплен обширный опыт использования геофизической информации для оценки состояния и прогноза метеорологических и биологических процессов, протекающих на поверхности Земли. Особенно часто в метеорологических исследованиях используются индексы геомагнитной активности K_p [2]. В работе [3] показаны различные формы представления индексов геомагнитной возмущенности для исследования связей геофизических процессов с метеорологическими. Предложен также флуктуационный индекс ΔK_p , который обладает рядом преимуществ по сравнению со средним месячным индексом K_p , и, выявляя крупные изменения в межпланетной среде, позволяет легче находить связи Космос — тропосфера.

В настоящей работе ставится задача испытать прогностические возможности флуктуационного индекса ΔK_p для заблаговременного предсказания летних экстремальных сезонов. В ряде работ уже отмечалось, что использование индекса K_p позволяет,

например, уточнять вероятность засушливости летних и весенних сезонов в Казахстане и Алтайском крае [2, 3]. Однако пока не найдено достаточно устойчивых связей такого рода для ЕТС. Естественно попытаться найти их, используя для этой цели флуктуационный индекс ΔK_p .

Для оценки тесноты асинхронных связей использовался метод множественной корреляционной регрессии, предложенный Г. А. Алексеевым [1], который учитывает не только линейные попарные корреляционные связи между наблюдаемыми значениями исходных переменных, но и возможные криволинейные связи. Метод позволяет получать оценку надежности и объективности связей даже на достаточно коротких рядах.

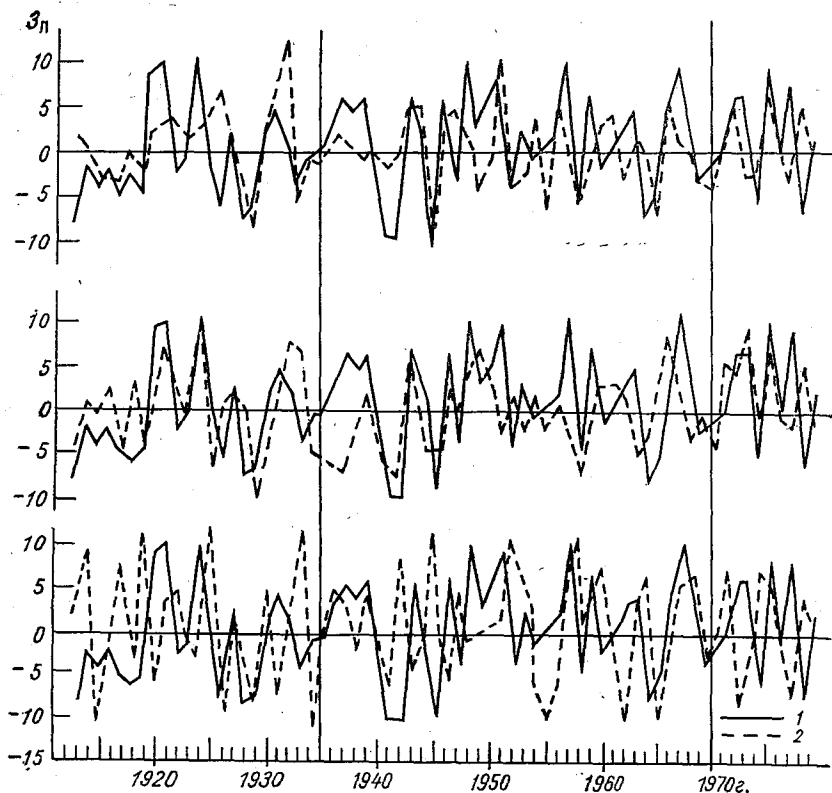
В качестве характеристики условий летнего сезона на ЕТС рассматривался показатель засушливости Z_p за апрель — июнь месяцы, предложенный в работе [3]. На опорном периоде (1935—1970 гг.) были установлены связи между флуктуационным индексом ΔK_p и летними условиями юга ЕТС, выраженные индексом Z_p . Учитывалась предыстория показателя K_p до —40-го месяца и находились периоды, которые могли быть указателями будущих значений Z_p .

Предложенный в работе [3] индекс изменяется от —10 (условия крайнего увлажнения) до 10 (условия крайней засушливости). Циклическая структура положительных и отрицательных значений индекса Z_p различна, поэтому его связь с ΔK_p рассматривалась в трех вариантах: а) использовались все без исключения значения индекса за опорный период; б) использовался ряд, где положительные значения индекса были оставлены без изменения, а отрицательные заменены нулями; в) использовался ряд, где отрицательные индексы были оставлены без изменения, а положительные заменены нулями. Оказалось, что такое представление прогнозируемой величины (в данном случае индекс Z_p) дает значительную дополнительную информацию, которая позволяет с большим основанием судить о надежности индекса ΔK_p как указателя на возможные экстремальные условия лета. Оказалось, что весь 40-месячный предшествующий период делится на участки, в которых обнаруживаются связи либо с исходным рядом Z_p либо с его преобразованными вариантами. Особенно интересны для дальнейшего рассмотрения и использования те периоды, когда во всех трех случаях обнаруживаются достаточно высокие связи. Именно такими оказались, например, —26-й и 27-й месяцы, высокие значения ΔK_p в которых указывают на возможные высокие значения индекса Z в интересующем нас летнем периоде.

В свою очередь, индекс ΔK_p также меняет свои прогностические возможности в зависимости от того, представлен ли он в месячных, двух-, трехмесячных значениях или в ином масштабе временного осреднения m . Как показывают предварительные разработки, имеет смысл использовать масштабы осреднения даже в 8—9 месяцев.

Наконец, остается неясным выбор числа предикторов, которое необходимо использовать для лучшего воспроизведения ряда Z_n на опорном периоде, а также для экстраполяции этих значений на предыдущие и последующие годы. Хотя с увеличением числа n прослеживается тенденция к лучшему описанию исходного ряда, степень этого улучшения зависит еще от временного масштаба осреднения флуктуационного индекса ΔK_p , т. е. от числа m . Предварительные результаты показывают, что построение поля корреляций прогнозируемого и фактического рядов индекса Z_n в пространстве $(n \times m)$ позволяет выявить очаги особенно высоких связей, которые в последующем могут быть использованы для экстраполяции.

На рисунке для примера приводится сравнение фактического и восстановленного индексов засухливости Z_n на основе использования флуктуационного индекса ΔK_p для трех выбранных моделей:



Сравнение фактического (1) и восстановленного (2) индексов засухливости Z_n на зависимом (1935—1970 гг.) и независимом ряде лет по трем моделям.

модель 1: $m=2, n=3$ (ΔK_p за месяцы —9...—10, —22...—23, —26...—27);

модель 2: $m=8, n=2$ (ΔK_p за месяцы —16...—23, —26...—33);

модель 3: $m=1, n=7$ (ΔK_p за месяцы —15, —17, —18, —19, —21, —26, —27).

Метод Г. А. Алексеева позволяет не только учесть криволинейные связи между ΔK_p и $З_{п}$, но и найти квадратическую ошибку каждого коэффициента, используемого в уравнениях множественной регрессии по формуле

$$\sigma_{\alpha_{0j}} = \sqrt{\frac{1 - R_0^2}{N - l} \frac{\Delta_{jj}}{D_{00}}},$$

где $j=1, 2, \dots$; l — число членов линейного уравнения; N — число членов исходного ряда (в нашем случае $N=36$, так как использовался исходный ряд 1935—1970 гг.); D_{00} — минор определителя системы D_0 , соответствующий элементу $r_{00}=1$, а Δ_{jj} — миноры определителя D_{00} , соответствующие элементам $r_{jj}=1$. Оказалось,

что во всех моделях отношение $\frac{\alpha_{0j}}{\sigma_{\alpha}} \geq 2$, что свидетельствует о достаточной статистической надежности используемых уравнений и перспективности дальнейших поисков в этом направлении. Подтверждением этого являются надежные положительные коэффициенты корреляции между исходными и восстановленными (с помощью ΔK_p) рядами $З_{п}$. Связи между этими рядами остаются практически неизменными независимо от того, рассматривается ли опорный ряд значений (зависимый ряд, т. е. период 1935—1970 гг.) или независимые ряды.

Проведенная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. Между уровнем геомагнитной возмущенности и условиями лета на ЕТС существуют достаточно хорошие связи. Если в Восточном Казахстане засушливые условия формируются при низком уровне геомагнитной возмущенности, то на ЕТС имеется противоположная тенденция.

2. Флуктуационный индекс ΔK_p позволяет восстанавливать значения индекса $З_{п}$ на зависимом и независимом материале с той же успешностью, что и лучшие метеорологические циркуляционные показатели.

3. Информативные особенности ΔK_p зависят от числа используемых членов в линейном уравнении и от масштаба временного осреднения ΔK_p , который в отдельных случаях целесообразно увеличивать до 8—9 месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. — Л.: Гидрометеоздат, 1971. — 363 с.

2. Гирская Э. И., Сазонов Б. И., Кропп Е. Показатели метеорологических засух. — Труды ГГО, 1979, вып. 403, с. 14—21.

3. Сазонов Б. И., Спирина Л. П. Годовой ход связи показателей геомагнитной активности с атмосферной циркуляцией. — См. наст. сб.