

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Им. И. ДЖАВАХИШВИЛИ

Институт геофизики им. М. З. Нодиа

IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY
Mikheil Nodia Institute of Geophysics

შრომების კრებული

ტ. LXV

СБОРНИК ТРУДОВ

т. LXV

PROCEEDINGS

vol. LXV

თბილისი

Тбилиси 2015 Tbilisi

რედაქტორი ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი, პროფ. ვ. აბაშიძე
Редактор доктор физ.-мат. наук, проф. В. Г. Абашидзе
Editor Doctor V. Abashidze

რეცენზენტი ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი, ა. ამირანაშვილი
Рецензент доктор физ.-мат. наук А. Г. Амиранашвили
Reviewer Doctor A. Amiranashvili

დაიბეჭდა თსუ გამომცემლობის სტამბაში

Published by TSU Press

0128 თბილისი, ილია ჭავჭავაძის გამზირი 1

1 Ilia Tshavtchavadze Avenue, Tbilisi 0128

Tel 995 (32) 225 14 32, 995 (32) 225 27 36

www.press.tsu.edu.ge

ISSN 1512-1135

ЕЩЕ РАЗ ОБ ОПОРНОМ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОМ ПУНКТЕ И ЭТАЛОНИРОВОЧНОМ ПОЛИГОНЕ В ТБИЛИСИ

¹Абашидзе В.Г., ¹Цагурия Т.А., ²Сакварелидзе Е.А., ²Кутелия Г.А

¹Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

²Тбилисский государственный университет им. И.Джавахишвили

Как уже сообщалось, в начале прошлого века в Тбилиси был создан опорный гравиметрический пункт в бывшей сейсмической станции Физической обсерватории, находящейся на пр. Плеханова № 150 (ныне пр. Давида Агмашенебели) [1]. Этот пункт непосредственно связывался с мировым гравиметрическим пунктом в г. Потсдаме (Германия) и с четырьмя опорными пунктами России гг. Москвы, Ленинграда, Полтавы и Казани. Проф. Н.Н. Парийский в 1949 г. провел детальный анализ всех этих десяти гравиметрических связей с Тбилиси и вывел для этого пункта наиболее вероятное значение ускорения силы тяжести [2].

$$g=980177.7\pm 0.9 \text{ мЛГ.}$$

В дальнейшем это значение ускорения силы тяжести в Тбилиси являлось исходным значением проводившихся в то время всех гравиметрических работ в Закавказье, закончившихся изданием в 1975 г. гравиметрической карты в редукции Буге с неполной топографической поправкой в радиусе 200 км территории Кавказа с прилегающими территориями Черного, Азовского и Каспийского морей[3,4].

К сожалению, в конце шестидесятых годов, этот пункт был упразднен в связи с переходом сейсмической станции на новое место в Делиси. Однако, гравиметристам помогло то, что чл.-корр. АН СССР проф. Ю.Д.Буланже в конце пятидесятых и в начале шестидесятых годов создал сеть гравиметрических пунктов на аэродромах территории бывшего Советского Союза, в том числе и в Тбилисском аэропорту. Позже, к этим пунктам был связан новый гравиметрический пункт под горой Мтацминда (ул. Чонкадзе 20) в обсерватории, созданной акад. Б. К. Балавадзе в 1960-1965 гг. для изучения приливных деформаций Земли. Новый опорный гравиметрический пункт находился у входа в штольню. Это значение силы тяжести было уточнено специальными измерениями лазерным абсолютным гравиметром, созданным в Новосибирском Институте автоматики и электрометрии Сибирского отделения АН СССР. Окончательное значение ускорения силы тяжести в штольне обсерватории было принято равным

$$g=980156.650\pm 0.220 \text{ мЛГ.}$$

После упразднения опорного гравиметрического пункта на пр. Давида Агмашенебели №150, исходным пунктом для гравиметрических работ служил этот пункт обсерватории. Однако, к сожалению и этот пункт был упразднен, так как в 2010 году здание обсерватории на ул. Чонкадзе 20 с благоустроенной 100 - метровой штольней, где проводились стационарные наблюдения по земным приливам, заняло Министерство обороны Грузии.

В настоящее время в Тбилиси остается единственный опорный гравиметрический пункт, который находится в гравиметрической лаборатории бывшей кафедры геофизики физического факультета Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили (ул. И. Чавчавадзе №3, II корпус, подвальный этаж).

Работы по созданию этого опорного пункта велись в 1986-1988 годах экспедициями Главного управления геодезии и картографии (ГУГиК) при СМ СССР и Института физики Земли АН СССР. Первая экспедиция вела работу маятниковыми приборами Главного астрономического института им. Штернберга, а вторая - канадскими широкодиапазонными гравиметрами. В то время связь университетского пункта была осуществлена как с опорным гравиметрическим пунктом со штольней приливной обсерватории института Геофизики АН СССР, так и с пунктом Тбилисского аэропорта. После уравнивания этих связей было получено окончательное значение ускорения силы тяжести в гравиметрической лаборатории Тбилисского госуниверситета

$$g=980153.624\pm 0.232 \text{ мгл.}$$

Следует отметить, что в этом значении силы тяжести учтена та поправка Подстамской системы (14 мгл), которая обнаружена повторными измерениями, проведенными в последнее время абсолютными гравиметрами и высокочастотными маятниковыми приборами.

Исходя из того, что постамент в университете, на котором было определено исходное значение ускорения силы тяжести, был заложен в тридцатые годы прошлого века, когда были основаны кафедра геофизики и лаборатория гравиметрии в университете, мы заинтересовались его состоянием в смысле устойчивости и провели соответствующие исследования. На постаменте установили высокоточный двухкоординатный американский наклономер фирмы Applied Geomechanics, точность которого равна 0.02 угловой секунды. В течение двух лет автоматической записью данных пронаблюдали степень устойчивости этого постамента. Наклономер был установлен так: в направлении С-Ю была установлена составляющая X, а в направлении В-З- составляющая Y. На рис.1 представлены графики наклона постамента (нижние кривые), составленные в результате обработки показаний наклономера. Как видно из графиков, в течение двух лет постамент сохраняет довольно устойчивое состояние и имеет маленькую тенденцию наклона в сторону северо-востока. За время наблюдений наклон мал и составил лишь 20 угл. сек. Однако, мы попытались выяснить причину наклона постамента. С этой целью сопоставили этот наклон с данными температуры и атмосферного давления, полученными метеорологической станцией, находящейся во дворе главного корпуса университета. Из просмотра и сравнения этих графиков между собой видно, что наклон постамента не связан с изменениями температуры и давления. Для подтверждения сказанного мы провели корреляционный анализ между наклонами постамента и изменениями температуры и давления в течение наблюдаемого периода. Как показал корреляционный анализ, характер связи между наклоном постамента и

изменением температуры наружного воздуха фактически отсутствует, т.к. коэффициент корреляции между наклоном по x и y и температурой t наружного воздуха $k_x=0.18$ и $k_y=0.14$. Еще меньше получаются коэффициенты корреляции между наклонами постамента по x и y и изменениями давления. Выходит, что этот постамент довольно устойчив и наблюдаемый наклон постамента по всей вероятности вызван микродеформациями в земной коре, которые в любое время могут изменить и знак.

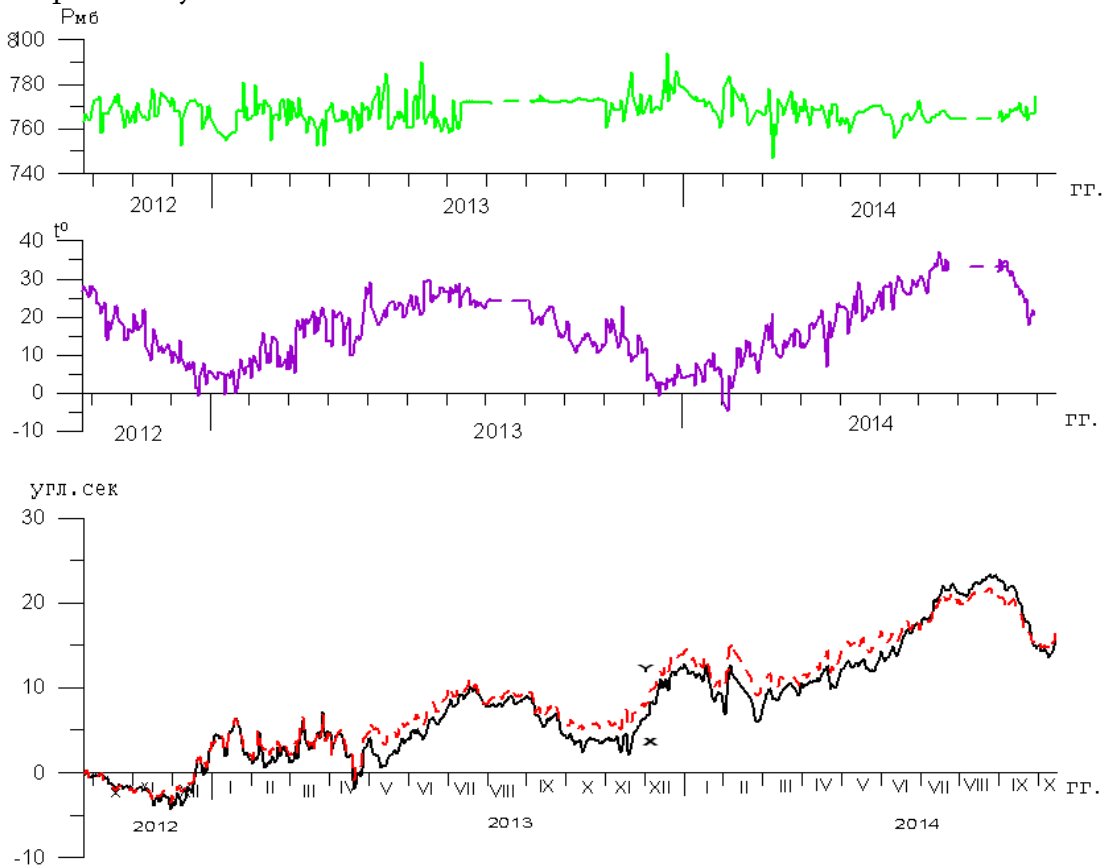


Рис.1

Графики наклонов X (С-Ю) и Y(В-З) опорного гравиметрического пункта в Тбилисском госуниверситете им. И. Джавахишвили и температуры и давления воздуха по данным метеостанции Университета.

Опорный гравиметрический пункт в Тбилисском госуниверситете важен и тем, что с ним связан эталонировочный полигон по автотрассе Тбилиси-Цхнети-Дидгори-Манглиси (рис.2). Гравиметрический полигон был создан в 1989-1990 годах для эталонирования и исследования полевых гравиметров. Длина полигона-54 км, а диапазон изменения силы тяжести 280 мгл. Так, что полигон может быть использован для эталонирования как малодиапазонных, так и широкодиапазонных полевых гравиметров.

Таблица

Гп-1 «Универ.»	Гп-2 «Общез.студ.»	Гп-3 «Источник»	Гп-4 «Ост.автоб.»	Гп-5 «18 км»	Гп-6 «34 км»	Гп-7 «Дидгори»	Гп-8 «Манглиси»
0.000	22.244 ±0.012	49.248 ±0.013	65.690 ±0.010	168.082 ±0.015	200.713 ±0.015	279.945 ±0.011	165.203 ±0.028

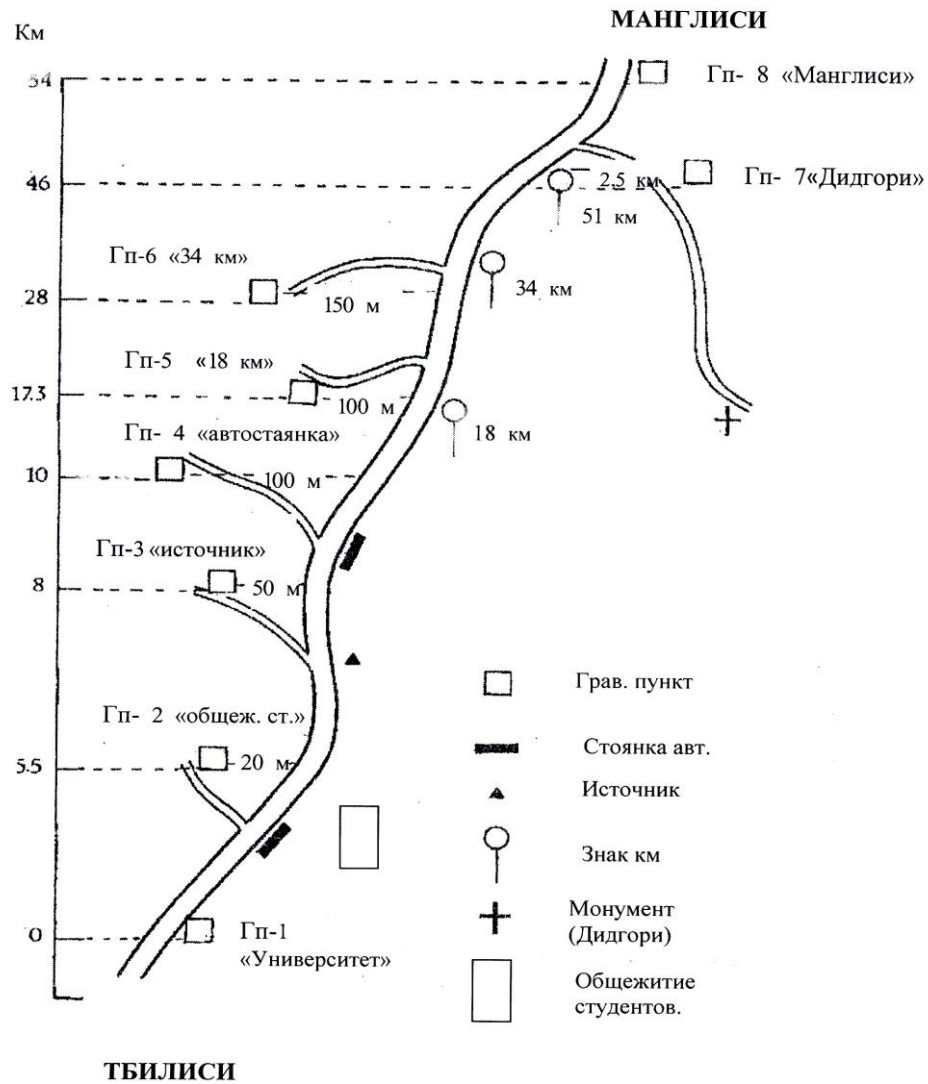


Рис. 2
Эталонировочный полигон для гравиметров по автомобильной дороге Тбилиси-Манглиси.

При создании этой эталонной базы были использованы 4 астазированных геодезических гравиметра, точность которых менялась в пределах 0.01-0.03 мгл. Важно отметить, что каждый гравиметрический пункт (Гп) полигона был связан с фундаментальным гравиметрическим опорным пунктом Тбилисского государственного университета [5]. Окончательные уравненные значения разности силы тяжести со своими относительными ошибками определения на каждом пункте относительно опорного гравиметрического пункта Тбилисского госуниверситета даны в приведенной выше таблице. Этими данными Цхнетского эталонировочного полигона и значением нового исходного опорного гравиметрического пункта в Тбилисском университете могут воспользоваться будущие

специалисты по гравиметрии в своей практической работе, а также любые заинтересованные лица.

Литერატურა

- 1.Абашидзе В.Г.,Манагадзе Г.Д. По поводу опорного гравиметрического пункта в Тбилиси.Труды Ин-та геофиз. им.М.З.Нодиа.- 2010.-Т.62,-С.7-9.
- 2.Парийский Н.Н.Ускорение силы тяжести в Тбилиси. Труды Геофиз.ин-та АН СССР М.- 1949. -№7(137).-92 с.
- 3.Балавадзе Б.К. Гравитационное поле и строение земной коры в Грузии. Из-во. АН ГССР.- 1957.-126 с.
- 4.Балавадзе Б.К.,Габуния В.П., Шенгелая Г.Ш.,Абашидзе В.Г., Картвелишвили К.М., Миндели П.Ш. К изучению гравитационного поля территории Большого Кавказа. Труды. Ин-та. геофиз. АН ГССР. -1959.-Т.29.-С.199-216.
- 5.Balavadze B.,Brusov B., Gvakharia T., Pirtskhalava M., Managadze G.,Shengelaia G.,Abashidze V., Svanadze A. New gravimetric proving groud in Tbilisi. Journal of the Georgian Society Issue(A),Physics of Solid Earth, - 2001.-V.6. -PP.41-45.

კიდევ ერთხელ თბილისში საყრდენ გრავიმეტრიულ პუნქტზე და საეტალონო პოლიგონზე

აბაშიძე ვ., ცაგურია თ., საყვარელიძე ე., ქუთელია გ.

რეზიუმე

თბილისში საყრდენი გრავიმეტრიული პუნქტი შეიქმნა გასული საუკუნის დასაწყისში სეისმური ობსერვატორიის შენობაში, რომელიც მდებარეობდა პლენხანოვის გამზირის №150 (ამჟამად დავით აღმაშენებლის გამზირი). მოგვიანებით ობსერვატორიის ადგილის შეცვლასთან დაკავშირებით ეს პუნქტი გაუქმდა. ახალი საყრდენი პუნქტი შეიქმნა გეოფიზიკის ინსტიტუტის დედამიწის მიმოქცევების შემსწავლელ ლაბორატორიაში ჭონქაძის ქუჩა №20-ში. 2010 წლიდან ლაბორატორიის ადგილის შეცვლასთან დაკავშირებით ეს საყრდენი გრავიმეტრიული პუნქტი კვლავ გაუქმდა. ახალი პუნქტი მდებარეობს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მეორე კორპუსის სარდაფში, გეოფიზიკის კათედრის გრავიმეტრიულ ლაბორატორიაში. (ჭავჭავაძის პრ. №3 უნივერსიტეტის II კორპუსი). ამ პუნქტზე სიმძიმის ძალის აჩქარების მნიშვნელობაა $g=980153\pm 0,232$ მგალ, სადაც შეტანილია შესწორება 14 მგალზე, რომლითაც შესწორდა უკანასკნელი გაზომვების შედეგად მსოფლიო საყრდენი გრავიმეტრიული პუნქტი ქ. პოტსდამში. ამ პუნქტთანაა დაკავშირებული თბილისი-წყნეთის საავტომობილო გზაზე არსებული გრავიმეტრების საეტალონო პოლიგონიც.

ON BASIC GRAVIMETRIC STATION AND TESTING AREA IN TBILISI

Abashidze V., Tsaguria T., Sakvarelidze E., Kutelia G.

Abstract

The Basic Gravimetric Station in Tbilisi was founded in the beginning of the 20th century in the seismic observatory in №150 Plekhanov Avenue. Later, the station was closed as the observatory moved to another place. A new Basic Gravimetric Station opened in №20 Chonkadze Street at Laboratory of Earth Tides at Institute of Geophysics. However, the Station was shut down again in 2010 when the laboratory changed its location. Nowadays, the new Basic Gravimetric Station is located at gravimetric laboratory of former Chair of Geophysics in the basement of Tbilisi State University (II campus, №3 I. Chavchavadze Avenue). At this station the gravity acceleration is $g=980153\pm 0,232$ mgal which has been corrected by 14 mgal according to new corrected data. The Gravimetric Testing Area on the Tbilis-Tskneti highway is also connected with the Station in Tbilisi.

НОВЫЕ ДАННЫЕ В ПОВЕДЕНИИ БЛОКОВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО РАЗЛОМА В РАЙОНЕ ИНГУРИ ГЭС ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ И ВЫПАДЕНИИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

**Абашидзе В.Г., Челидзе Т.Л., Цагурия Т.А., Довгаль Н.Д.,
Давиташвили Л.А.**

Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

Как известно, крупным тектоническим элементом головного сооружения Ингурской ГЭС является Ингиришский разлом типа взбросо-сдвига. Он проходит западнее плотины в ложе водохранилища и имеет субмеридиональное простирание. Ингиришский разлом сопровождается оперяющими нарушениями меньшего порядка, из которых основным является зона разрывного нарушения того же типа, непосредственно проходящая под правым крылом плотины. Разлом простирается почти параллельно р. Ингури и имеет восточное падение под углом 70-80°. Амплитуда его смещения по вертикали составляет в среднем 100 м, а по горизонтали - 80 м. Зона разлома мощностью 2-9 м представлена уплотненным доломитовым песком с кальцитом [1].

Правобережная взбросо-сдвиговая зона делит весь массив основания плотины на два крупных структурных блока высокого порядка. Внешний А блок представляет собой взброшенное крыло, а внутренний Б блок - опущенное крыло.

Начиная с 1974 г. мы наблюдаем и исследуем поведение А и Б блоков разлома кварцевым экстензометром (деформографом) длиной 22,5 м. Один конец кварцевой штанги закреплен в постаменте в скальных породах внешнего А блока на, так называемом, взброшенном крыле. Другой, свободный конец штанги покоится на постаменте, устроенном на внутреннем Б блоке, т.е. на опущенном крыле, где и происходит фотооптическая регистрация горизонтальных смещений блоков. Чувствительность кварцевого экстензометра высокая. Его увеличение равно 6000, т.е. при относительном смещении блоков на 1 мкм световой луч перемещается на фотобумаге на 6 мм.

По записям экстензометра блоки правобережного разлома испытывают малые относительные смещения. Как уже сообщалось в работе [2], до начала заполнения водохранилища на разломе преобладало растягивающее смещение блоков. Однако, после начала заполнения и циклического регулирования воды в водохранилище, этот процесс замедлился. Со времени установки экстензометра до начала циклического регулирования водохранилища, т.е. за 1974-1985 годы среднегодовое смещение блоков равнялось 0.23 мм/год, тогда как за 1986-2014 годы эта величина составила лишь 0.14 мм/год.

Чтобы наглядно посмотреть, как влияет регулирование воды в водохранилище на поведение этих блоков, на рис.1 сопоставлены графики смещения блоков, зарегистрированные экстензометром с фотооптической регистрацией и регулирования воды в водохранилище за 2000-2014 годы. Как видно из графиков, при подъеме воды в водохранилище, на разломе блоки сближаются, а при сработке, т.е. при снижении уровня воды, расходятся. Возможная причина этого процесса хорошо была объяснена в работе [2] и не будем повторяться. Сейчас о другом факте.

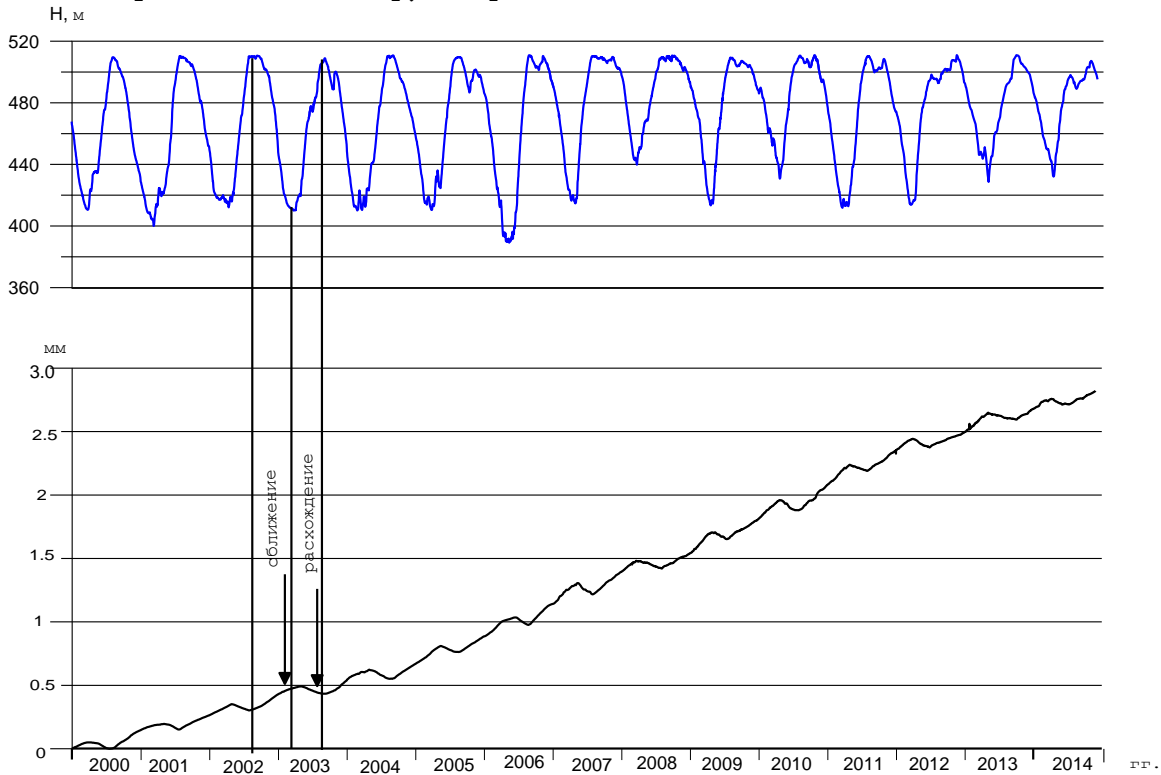


Рис.1

Графики относительных смещений блоков правобережного разлома и изменения уровня воды в водохранилище за 2000-2014 гг.

В феврале 2014 года параллельно с оптической регистрацией на экстензометре была устроена регистрация с помощью лазера типа 1LD1402(10)SC. Длина красного цвета волны составляет 670 нм. Максимальная оптическая мощность луча $\leq 1\text{ мВт}$. Прибор может работать в режиме температур 0-50°C, при нормальном атмосферном давлении и от 5 до 95% влажности без конденсации.

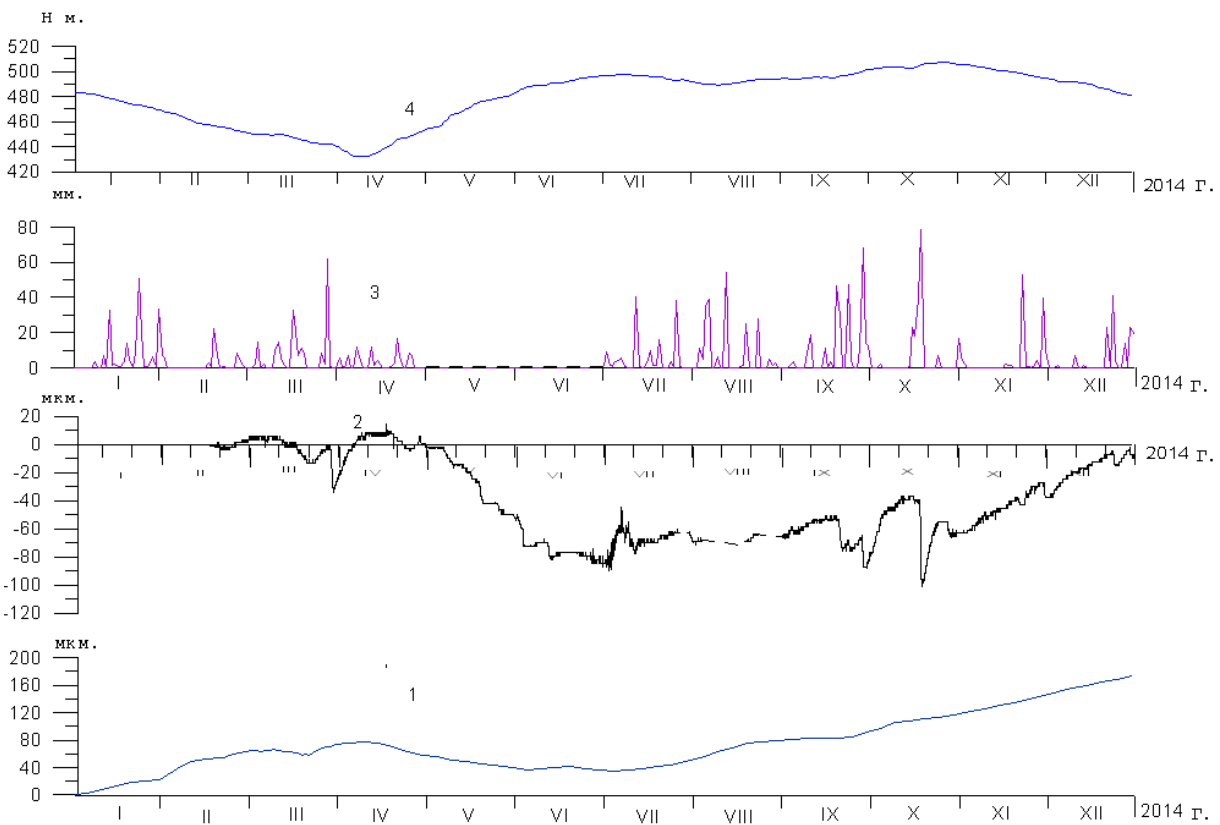


Рис.2

Графики относительных горизонтальных смещений блоков правобережного разлома, полученные экстензометром фотооптической (1) и лазерной (2) регистрациями, изменения уровня воды в водохранилище (4) и атмосферных осадков (3) за 2014 год.

На рис.2 представлены графики относительных горизонтальных смещений блоков правобережного разлома за 2014 год, зарегистрированные как фотооптической регистрацией на ленте(1), так и с помощью лазера(2), численные данные которого часовым шагом автоматически через интернет передаются в Тбилиси. На этом рисунке представлены также графики изменения уровня воды в водохранилище(3) и данные атмосферных осадков в виде дождя(4).

Как видно из графиков смещений блоков, на разломе, полученные вышеприведенными обоими методами регистрации при подъеме и сбросе воды в водохранилище блоки сближаются и расходятся. После установления лазерной регистрации был зафиксирован также эффект сильных дождей, при котором блоки сначала сближаются, а затем подымаясь частично и расходятся. Причину этого явления можно представить следующим образом.

Как показывают пьезометрические наблюдения, сместительная часть правобережного разлома представляет собой водоупор. Поэтому атмосферные осадки, падающие на склон и инфильтрующие в скальный массив, приводят к развитию гидростатического давления на висячее крыло разлома, которое в свою очередь передает давление на лежащее крыло, расположенное между разломом и рекой (рис.3). Последний по размерам значительно меньше, чем блок за разломом, более трещиноват и быстро дренируется долиной, что приводит к разности гидростатических уровней по обе стороны разлома и сближения блоков [3]. Однако после дренирования дождя в лежащем крыле, появляется выталкивающая сила, и этот блок начинает подыматься вверх, что вызывает расхождение блоков что и фиксируется лазерной регистрацией во время сильных дождей.

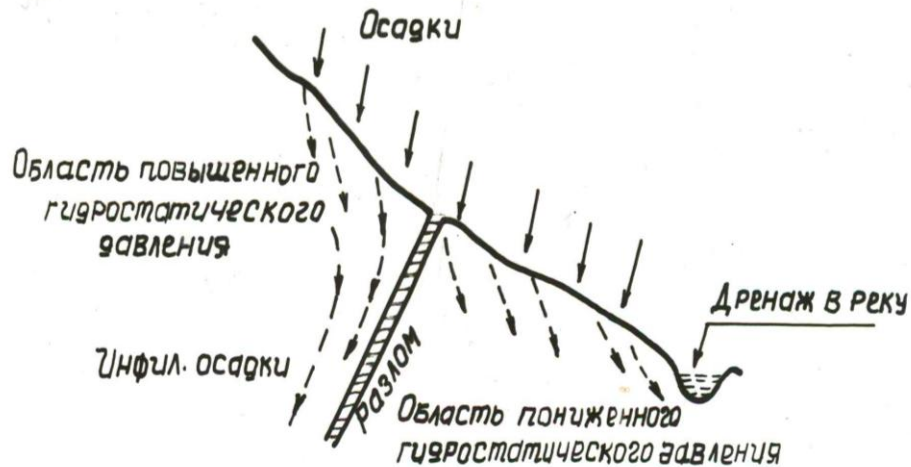


Рис.3.
К механизму дождевого эффекта к смещению
блоков правобережного разлома

Таким образом можно констатировать: если дождь выпадет тогда, когда происходит наполнение водохранилища, тогда он способствует сближению блоков. С другой стороны, если дождь выпадет тогда, когда идет сработка водохранилища, он препятствует расхождению блоков разлома. Выходит, что дождь выполняет положительную миссию, препятствуя расхождению блоков разлома.

На экстензомере с фотооптической регистрацией ввиду высокой чувствительности во время сильных дождей луч света сразу уходит с ленты вверх и нет записи. Когда наблюдатель возвращает луч, на ленте в большинстве случаев эффект дождя теряется, и прибор продолжает фиксировать сближение или расхождение блоков в зависимости от того, идет наполнение или сработка воды в водохранилище.

Для наглядности на рис.4 представлен отрезок оптической записи деформографа, откуда хорошо видно влияние дождя на динамику разлома. После исправления записи, утром 12.06.2014 г., из-за того, что дождь продолжал идти, луч постепенно опять вышел с ленты. После вторичного исправления утром 13.06.2014 г. от влияния дождя запись имела тенденцию хода наверх, указывая на продолжение сближения блоков, а затем отклонилась вниз, так как после сильных дождей, как показывает лазерная регистрация, идет некоторое расхождение блоков.

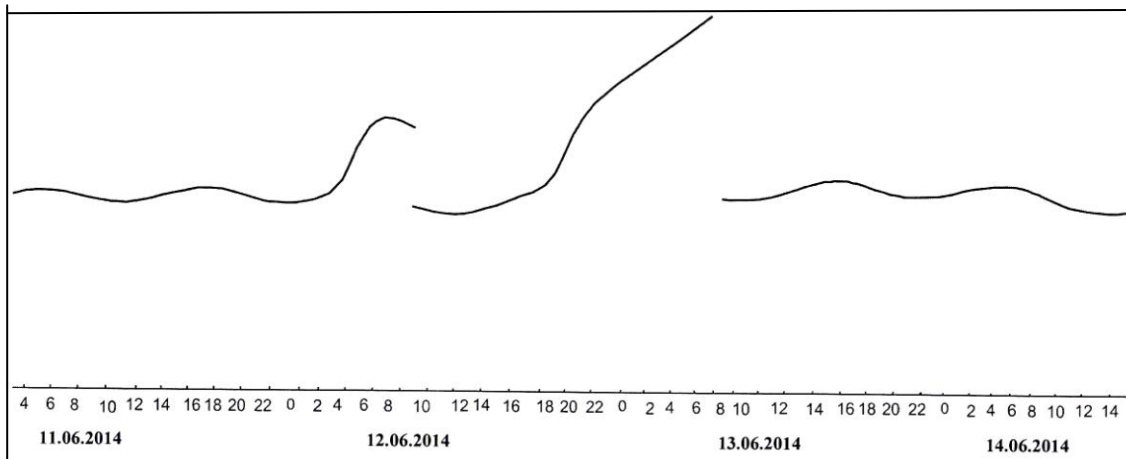


Рис.4

Образец записи на ленте экстензометра фотооптической регистрацией с 11.06.14 по 14.06.14 года

В заключении надо констатировать, что от сравнений записей обеими регистрациями видно, что в общих чертах поведение блоков правобережного разлома - сближение и расхождение совпадают друг с другом. Однако, поскольку экстензометр с лазерной регистрацией, позволяет полностью фиксировать влияние дождя, из этих данных можно заключить, что во время сработки воды в водохранилище дождь временно уменьшает расхождение блоков, а при наполнении водохранилища, наоборот, увеличивает сближение блоков. Выходит, что приведенные в работе [2] данные о расхождении блоков разлома несколько должны уменьшаться. Однако, окончательный ответ на это дадут последующие годы, так как лазерная регистрация на экстензометре велась только со второй половины февраля до ноября 2014 г. и, к сожалению, с перерывами (в мае-июне не было данных осадков, а в августе не работала лазерная регистрация).

Литература

1. Джигаури Г.М., Матицкий А.К., Кереселидзе С.Б. Инженерно-геологические условия головного узла Ингури ГЭС и Джварского водохранилища. Технический проект Ингури ГЭС. Т.4, книга 1. Тбилиси, Фонды «Тбилгидропроект». -1970. -262 с.
2. Абашидзе В.Г., Челидзе Т.Л., Цагурия Т.А., Кобахидзе Т.В., Чиаурели Г.Г. Результаты деформографических наблюдений в зоне правобережного разлома на территории арочной плотины Ингури ГЭС. Труды Ин-та геофиз. им. М.З.Нодиа. -2008. -Т.60. -С.54-59.
3. Емельянова М., Савинская М., Тиздель Р. Анализ изучения медленных движений земной коры в районе створа арочной плотины Ингури ГЭС. Отчет отдела скальных оснований Ин-та «Гидрпроект». М.-1976.-51 с.

ახალი მონაცემები ენგურჰესის რაიონში მარჯვენა სანაპიროს რღვევის ბლოკების
ყოფაქცევაზე წყალსაცავში წყლის რეგულირებისა და ატმოსფერული ნალექების დროს

აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., ცაგურია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ

რეზიუმე

ენგურჰესის რაიონში მდ. ენგურის მარჯვენა სანაპიროზე გამავალი რღვევის ბლოკების
ყოფაქცევის შესასწავლად 1974 წლიდან მიმდინარეობს უწყვეტი დაკვირვებები კვარცის
ექსტენზომეტრით(დეფორმოგრაფით) ფოტოოპტიკური რეგისტრაციით. ამ კვლევების შედეგად
გამოვლინდა ბლოკების გააქტიურება წყალსაცავში წყლის რეგულირების დროს. კერძოდ
წყალსაცავში წყლის დონის აწევას მოჰყვება ბლოკების დაჯდომა და დაახლოება, ხოლო
დამუშავების დროს მათი ზემოთ ამოწევა და დაცილება. 2014 წლის თებერვლიდან ამ
ექსტენზომეტრზე პარალელურ რეჟიმში დაყენებულ იქნა ლაზერული რეგისტრაცია, რომელმაც
ზოგადად დაადასტურა ბლოკების ამოწევა-დაწევა წყალსაცავში წყლის რეგულირების დროს.
მაგრამ მან აგრეთვე საშუალება მოგვცა დიდი წვიმების დროს დაგვეფიქსირებინა ბლოკების
დაახლოება და დაცილების ეფექტი, რაც მაღალი სიზუსტის გამო ფოტოოპტიკური რეგისტრაციით
ვერ ხერხდებოდა. ამ ფაქტის ზუსტი რაოდენობრივი შეფასება მომდევნო წლებში იქნება
შესაძლებელი, როცა მეტი დაკვირვებითი მასალა დაგროვდება.

NEW DATA ON THE FAULT BEHAVIOUR ON THE RIGHT BANK OF THE ENGURI DAM DURING WATER REGULATION IN THE RESERVOIR AND ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS

Abashidze V., Chelidze T., Tsaguria T., Dovgal N., Davitashvili L.

Abstract

Since 1974 continuous observations by means of quartz extensometer (strainmeter) with photo-
optical registration has been carried out in order to study the behavior of the fault on the Right Bank of
the Enguri River in the area of the Enguri Dam. In 2014 a laser registration was installed on the
extensometer, which proved ascending and descending of the blocks during regulation of the water
level in the reservoir. Besides, it also enabled us to record dynamics of the blocks during strong rains,
which was not possible to fulfill by photo-optical registration due to technical limitations. The precise
quantitative estimation of this effect will become feasible during following years when will have more
observed material.

КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г.

Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

1. Введение

Прибрежные и шельфовые зоны морей и океанов претерпевают большую антропогенную нагрузку из-за хозяйственной и бытовой деятельности человека, что создает серьезную угрозу экосистеме этих зон. Грузинская прибрежная зона Черного моря не является исключением. Значительный прирост туристов за последние годы, построение и планирование соответствующих инфраструктур, гидротехнических сооружений и портов (напр., Анаклийский порт) резко повышает возможность заражения прибрежных вод Грузии нефтепродуктами и другими токсичными ингредиентами. В таких условиях является значительно актуальным развитие прогностической системы прогноза состояния прибрежных вод, которая должна стать основной составной частью системы контроля и управления прибрежной зоной.

Развитие методов контактных и дистанционных наблюдений, вычислительных и коммуникационных средств, разработка и усовершенствование высокоточных численных моделей гидрофизических процессов привели за последнее десятилетие к созданию системы диагноза и прогноза состояния Черного моря, которая позволяет прогнозировать основные гидрофизические параметры на 3 суток [1-3]. Такое достижение оперативной океанографии Черного моря стало возможным в результате тесного сотрудничества специалистов-океанологов причерноморских стран в рамках европейских международных научно-технических проектов под координацией Морского гидрофизического Института Национальной академии наук Украины (МГИ, г. Севастополь).

Региональная система краткосрочного прогноза состояния юго-восточной части Черного моря, разработанная в Институте геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, является одной из компонентов системы диагноза и прогноза состояния Черного моря. В [4-9] даётся описание схемы функционирования этой системы; приведены результаты верификации системы и моделирования и прогноза динамических параметров.

В настоящей работе система регионального прогноза расширена путем включения в систему моделей мелкой воды и распространения нефти и других примесей в морской среде.

2. Расширенная система регионального прогноза

Новая версия региональной системы прогноза, представляющая расширенный вариант уже существующей системы ([1-3], www.ig-geophysics.ge), состоит из гидродинамического и экологического блоков. Региональная область моделирования и прогноза ограничена Кавказской и Турецкой береговыми линиями и жидкой границей, проходящей вдоль 39.08° в. д. На рис.1 представлена региональная область, структура расширенной версии региональной системы и схема её функционирования. Гидродинамический блок включает в себе трехмерную

бароклинную региональную модель динамики Черного моря и двумерную модель мелкой воды, которые позволяют прогнозировать на 3 суток динамические поля в юго-восточной части Черного моря с пространственным разрешением 1км. Региональная модель динамики обеспечивает прогноз трехмерных динамических полей – течения, температуры и солёности, а двумерная модель мелкой воды позволяет прогнозировать изменение уровня моря и осредненное по вертикали течение. Все необходимые входные данные, используемые в качестве начальных и граничных условий, поступают ежедневно в режиме, близком к реальному, из МГИ через интернет. В частности, поле напряжения трения ветра, потоки тепла, испарение и осадки, рассчитанные по региональной модели динамики атмосферы ALADIN [10] в Национальной метеорологической администрации Румынии (г. Бухарест), используются в качестве верхних граничных условий для региональной модели динамики моря, а прогностические поля течения, температуры и солёности, рассчитанные по крупномасштабной модели динамики Черного моря МГИ [11], используются на жидкой границе региональной области.

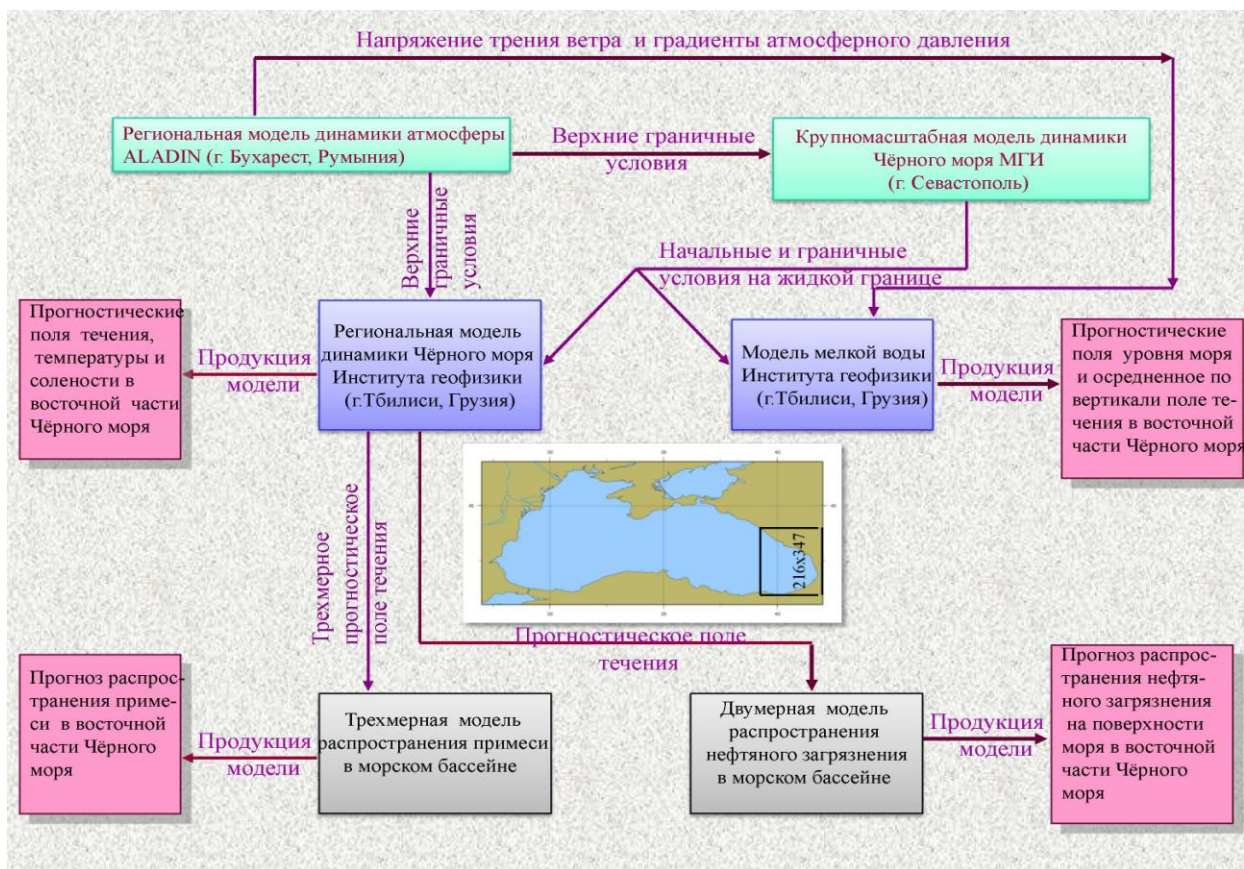


Рис.1
Структура и схема функционирования расширенной версии региональной системы прогноза состояния юго-восточной части Черного моря.

Модель мелкой воды использует компоненты напряжения трения ветра и горизонтальные градиенты атмосферного давления, рассчитанные по ALADIN, начальные поля скорости и уровня моря, а также рассчитанные по модели МГИ прогностические значения компонентов скорости на жидкой границе.

Экологический блок состоит из двумерных и трехмерных численных моделей распространения неконсервативной примеси, которые позволяют рассчитать в прибрежной зоне Черного моря прогноз распространения зон, загрязненных нефтепродуктами и другими антропогенными веществами. При этом, модели, входящие в экологический блок, используют нестационарное поле течения, предсказанное в гидродинамическом блоке.

Программное обеспечение региональной системы прогноза представляет собой комплекс программ, разработанных на алгоритмическом языке "Fortran". Этот комплекс состоит из двух основных программных пакетов; с помощью первого из них реализуется модель динамики моря и трехмерные и двумерные модели распространения неконсервативных примесей, а с помощью второго программного пакета - модель мелкой воды.

Таким образом, новая версия системы регионального прогноза позволяет рассчитать в юго-восточной части Черного моря с разрешающей способностью 1 км прогноз на 3 суток основных гидрофизических полей: течения, температуры, солености и уровня моря, а в случае необходимости - прогноз распространения зон, загрязненных нефтепродуктами и другими токсичными примесями, и их концентраций.

3. Гидродинамический блок

Описание модели динамики моря Института геофизики дается в наших предыдущих статьях [5, 12], поэтому здесь отметим только, что она основана на численном решении полной системы уравнений гидротермодинамики океана с соответствующими начальными и краевыми условиями с использованием двуциклического метода расщепления [13,14]. Расчетная сетка региональной модели с пространственным шагом 1 км вложена в расчетную сетку крупномасштабной модели динамики моря МГИ с пространственным разрешением 5 км. Анализ результатов прогноза динамических полей, накопленных за 2010-2014 гг., показывает, что юго-восточная акватория Чёрного моря представляет собой динамически довольно активный регион, где непрерывно происходит формирование разных циркуляционных процессов, значительно отличающихся друг от друга [9].

3.1 Модель мелкой воды

Вторым компонентом гидродинамического блока является модель мелкой воды, основанная на следующей системе уравнений [15].

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}U}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}U}{\partial y} - IV + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} &= \nabla \mu \nabla U + f_1, \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}V}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}V}{\partial y} + IU + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} &= \nabla \mu \nabla V + f_2, \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$H(x, y, t) = h(x, y) + \zeta(x, y, t), \quad \bar{u} = \frac{1}{H} \int_{-\zeta}^h u dz, \quad \bar{v} = \frac{1}{H} \int_{-\zeta}^h v dz, \quad U = \bar{u} H, \quad V = \bar{v} H,$$

$$f_1 = \frac{1}{\rho}(\tau_x^0 - \tau_x^1) - \frac{gH}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x}, \quad f_2 = \frac{1}{\rho}(\tau_y^0 - \tau_y^1) - \frac{gH}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y}.$$

При получении системы уравнений (1) принят гидростатический закон распределения давления в море (ось z направлена вертикально вниз от невозмущенной поверхности)

$$P = g\rho(\zeta + z) + P_a.$$

Здесь приняты следующие обозначения: u и v – горизонтальные компоненты вектора скорости течения, l – сила Кориолиса, g – гравитационное ускорение, μ – коэффициент турбулентной вязкости, h – глубина моря, отсчитываемая от невозмущенной поверхности $z = 0$, H – глубина моря, отсчитываемая от возмущенной поверхности $z = -\zeta(x, y, t)$. P_a – атмосферное давление над свободной поверхностью, плотность $\rho = const$, τ_x^0 и τ_y^0 – компоненты тангенциального напряжения трения ветра у свободной поверхности $z = -\zeta(x, y, t)$, τ_x^1 и τ_y^1 – компоненты силы трения у морского дна.

Система уравнений (1) решается при следующих граничных и начальных условиях:

$$U = 0, \quad V = 0 \quad \text{на } \sigma_1, \quad (2)$$

$$U = \bar{U}(x, y, t), \quad V = \bar{V}(x, y, t) \quad \text{на } \sigma_2,$$

$$U = U^0(x, y), \quad V = V^0(x, y), \quad \zeta = \zeta^0(x, y) \quad \text{при } t = 0, \quad (3)$$

где σ_1 – боковая линия, разделяющая море от суши, σ_2 – жидкая боковая линия, отделяющая региональную область от открытой части морского бассейна.

Численный алгоритм решения задачи (1)-(3), который основан на методе двухциклического расщепления, детально описан в [16].

4. Экологический блок

4.1 Модель распространения нефтяного загрязнения

После того, как на морской поверхности формируется нефтяная пленка, она начинает мигрировать и меняет размеры и конфигурацию под влиянием гидродинамических факторов – адвекции и турбулентной диффузии. Одновременно нефть, попавшая в море, подвергается физическим и биохимическим трансформациям [17]. Процесс эволюции нефтяного загрязнения в морской среде можно описывать уравнением переноса-диффузии неконсервативной примеси. В двумерной области Ω с границей S рассмотрим это уравнение в дивергентной форме

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial x} \mu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} + f \quad (4)$$

со следующими граничными и начальными условиями

$$a \left(\mu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial n} - \beta \varphi \right) + b Q = 0 \quad \text{на } S \quad (5)$$

$$\varphi = \varphi^0 \quad \text{при} \quad t = 0. \quad (6)$$

Здесь предполагается, что горизонтальные компоненты течения u и v вдоль осей x и y , удовлетворяют уравнению неразрывности для несжимаемой жидкости

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0.$$

Здесь: φ - объемная концентрация примеси, μ_φ - коэффициент турбулентной диффузии, n - внешняя нормаль к границе S , $\sigma = \ln 2 / T_0$ - параметр неконсервативности, где T_0 - время распада, которое представляет собой временной интервал, в течение которого начальная концентрация загрязнения уменьшается два раза из-за физико-химических и биологических процессов; f описывает, в общем, пространственно-временное распределение мощности источника, которое в конкретном случае точечного источника можно представить с помощью дельта-функции

$$f = Q \delta(x - x_0) \delta(y - y_0),$$

где x_0 и y_0 - координаты источника. a и b - коэффициенты, принимающие значения 1 или 0; β - параметр, который характеризует взаимодействие загрязняющего вещества с границей.

Коэффициент диффузии рассчитывался по формуле [18]

$$\mu = \gamma \Delta x \Delta y \sqrt{2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2}, \quad (7)$$

где Δx и Δy - горизонтальные шаги сетки, а γ - некоторая константа.

Задача (4)-(6) решалась численно с помощью двухциклического метода расщепления по координатным линиям, а для аппроксимации по времени применялась схема Кранка-Николсона [19]. В [20, 21] представлены некоторые результаты распространения нефтяной пленки на поверхности Черного моря в случае аварийного разлива в Грузинской прибрежной зоне. При этом, поле течения на каждом временном шаге интегрирования представляло собой прогностическое поле, рассчитанное в гидродинамическом блоке региональной системы прогноза.

4.2 Пространственная модель распространения примеси

В [22-24] рассматривалась пространственная задача распространения неконсервативной примеси в бассейне Черного моря на примере радиоактивного изотопа Стронций-90. Эта модель приспособлена к восточной части Черного моря и включена в экологический блок региональной прогностической системы в качестве одного из модуля. Процесс распространения неконсервативной примеси в водном бассейне опишем пространственным уравнением переноса-диффузии для неконсервативной примеси

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \frac{\partial w \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \nabla \mu_\varphi \nabla \varphi + \frac{\partial}{\partial z} v_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial z} + f, \quad (8)$$

где

$$\nabla \mu_\varphi \nabla \varphi = \frac{\partial}{\partial x} \mu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y}$$

В качестве граничных условий рассматривались следующие граничные и начальные условия:

$$\begin{aligned}
\varphi = 0 \quad \text{или} \quad \partial\varphi/\partial z = 0 & \quad \text{при} \quad z = 0, \\
\partial\varphi/\partial z = \alpha\varphi & \quad \text{при} \quad z = H, \\
\partial\varphi/\partial n = 0 & \quad \text{на} \quad \Gamma, \\
\varphi = \varphi^0 & \quad \text{при} \quad t = 0,
\end{aligned}
\tag{9}$$

$$\tag{10}$$

Здесь φ^0 есть функция, описывающая начальное распределение примеси в морском бассейне, Γ , H - боковая поверхность и глубина, α есть параметр, описывающий взаимодействие примеси со дном.

Задача (8)-(10) решается методом двухциклического расщепления по пространственным координатам [19].

5. Примеры расчета прогноза динамических полей и распространения примесей

С целью иллюстрации функционирования расширенной версии региональной системы прогноза, в данном параграфе приводятся некоторые примеры расчета прогноза динамических полей и распространения примесей в юго-восточной акватории Черного моря.

При реализации прогностической системы, модели динамики и распространения примесей используют сетку, имеющую 215x347 точек по горизонтали, с шагом $\Delta x = \Delta y = 1$ км. В региональной модели динамики, а также в трехмерной модели распространения неконсервативной примеси по вертикали берутся 32 расчетных уровня с неравномерными вертикальными шагами (минимальный шаг 2 м у поверхности, максимальный – 100 м в глубинных слоях ниже 200 м). Временной шаг во всех моделях берется 0.5 ч.

5.1 Результаты прогноза динамических полей

На рис. 2 представлены рассчитанные прогностические поля течения на горизонтах $z = 0$, 20 и 50 м при $t = 24$ ч и 72 ч после начального момента прогноза 00:00 GMT 2 января 2014 г. Как видно из этого рисунка, поле течения мало изменяется как по времени, так и по вертикали в верхнем 50 метровом слое в рассмотренном прогностическом интервале: 2-5 января 2014г. По всей толще верхнего слоя течение характеризуется интенсивным вихреобразованием. Здесь хорошо наблюдается формирование циклонических и антициклонических мезомасштабных вихрей, среди которых сравнительно мощными являются вихри с диаметром примерно 80-100 км в южной и юго-восточной частях рассмотренной области.

(a)	t = 24ч	(б)	t = 72ч
-----	---------	-----	---------

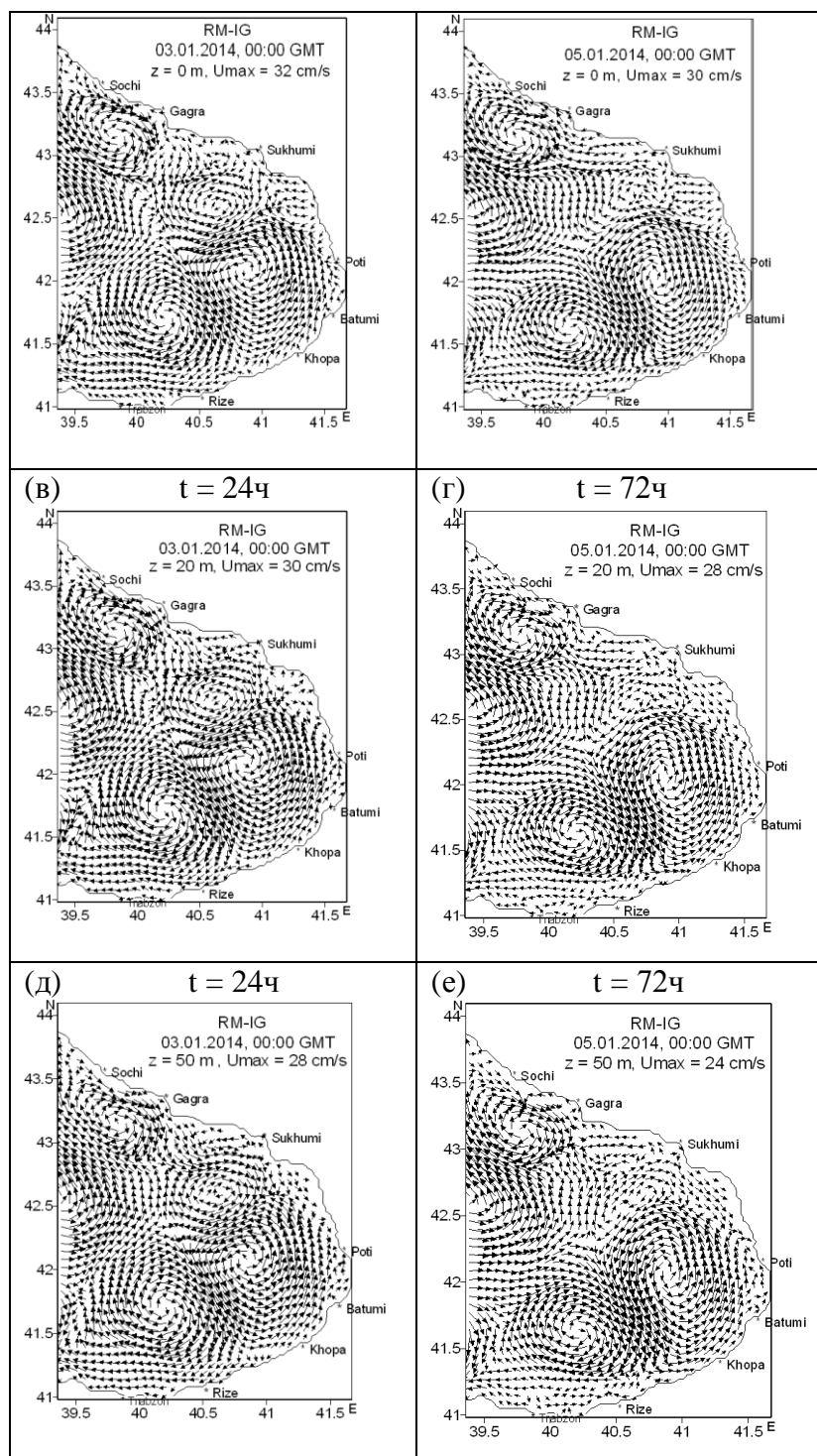


Рис. 2

Рассчитанные прогностические поля течения на горизонтах $z = 0, 20$ и 50 м при $t = 24$ ч (а, в, д) и $t = 72$ ч (б, г, е) после начального момента прогноза. Прогностический интервал: 00:00 GMT, 2-5 января 2014 г.

На рис. 3 показана рассчитанная по модели мелкой воды и по модели динамики Черного моря МГИ топография морской поверхности при $t = 24$ и 72 ч (после начала прогноза), соответствующая циркуляции, представленной на рис.2. Из рис. 3 видно, что рассчитанные по

обеим моделям уровни морской поверхности качественно и количественно близки друг другу и они колеблются на несколько сантиметров; как правило, антициклоническим областям соответствуют повышенные уровенные поверхности, а циклоническим областям - наоборот.

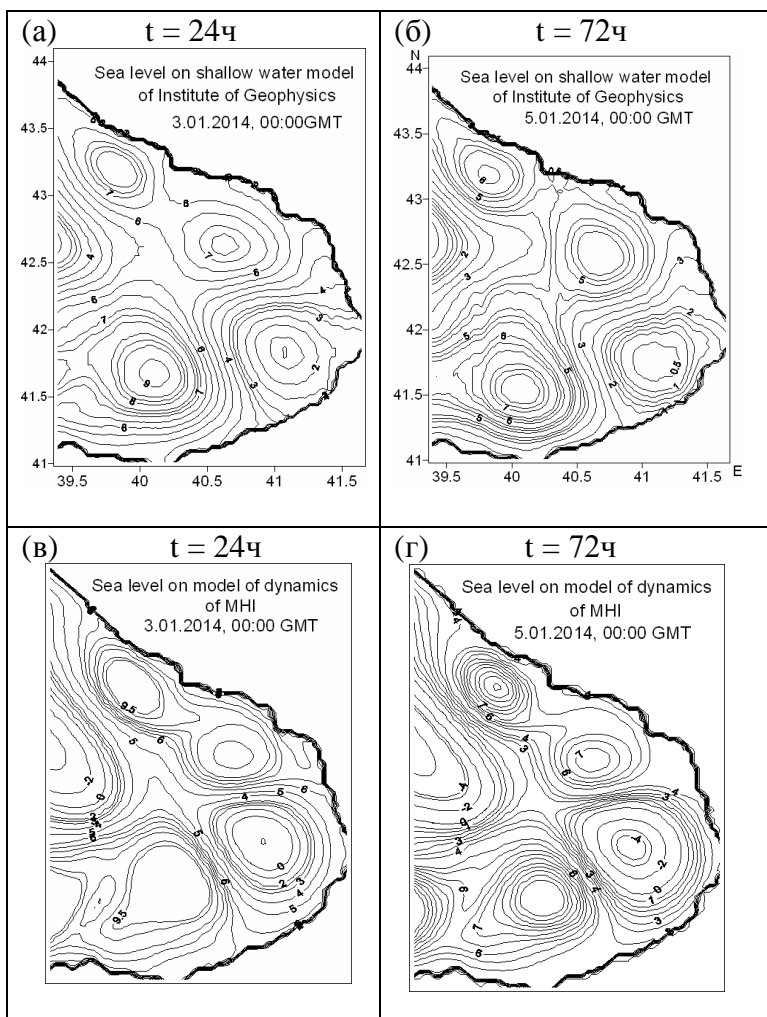


Рис. 3

Прогностические поля уровня моря (в см), рассчитанные по модели мелкой воды (а, б) и по модели динамики МГИ (в, д). Прогностический интервал: 00:00 GMT, 2-5 января 2014 г.

Рис. 4 иллюстрирует результаты расчета прогноза циркуляции в верхнем 50 метровом слое за прогностический интервал: 00:00 GMT, 5-9 декабря 2014г. Сопоставляя рис.2 и 4, нетрудно заметить, что циркуляционные режимы, сформированные в интервалах времени 2-5 января и 5-9 декабря 2014 г. в верхнем слое моря резко отличаются друг от друга. Такое существенное отличие в структуре морских течений объясняется разными метеорологическими режимами, сложившимися над восточной акваторией морского бассейна. Анализ полей тангенциального напряжения трения ветра показал, что в отличие от первого случая, в промежутке 5-9 декабря 2014 г. действовали сильные ветры. Такие ветры оказали сглаживающий эффект на поверхностное течение, вызывающее значительное ослабление вихреобразования (рис.4) с одновременным увеличением скорости дрейфового

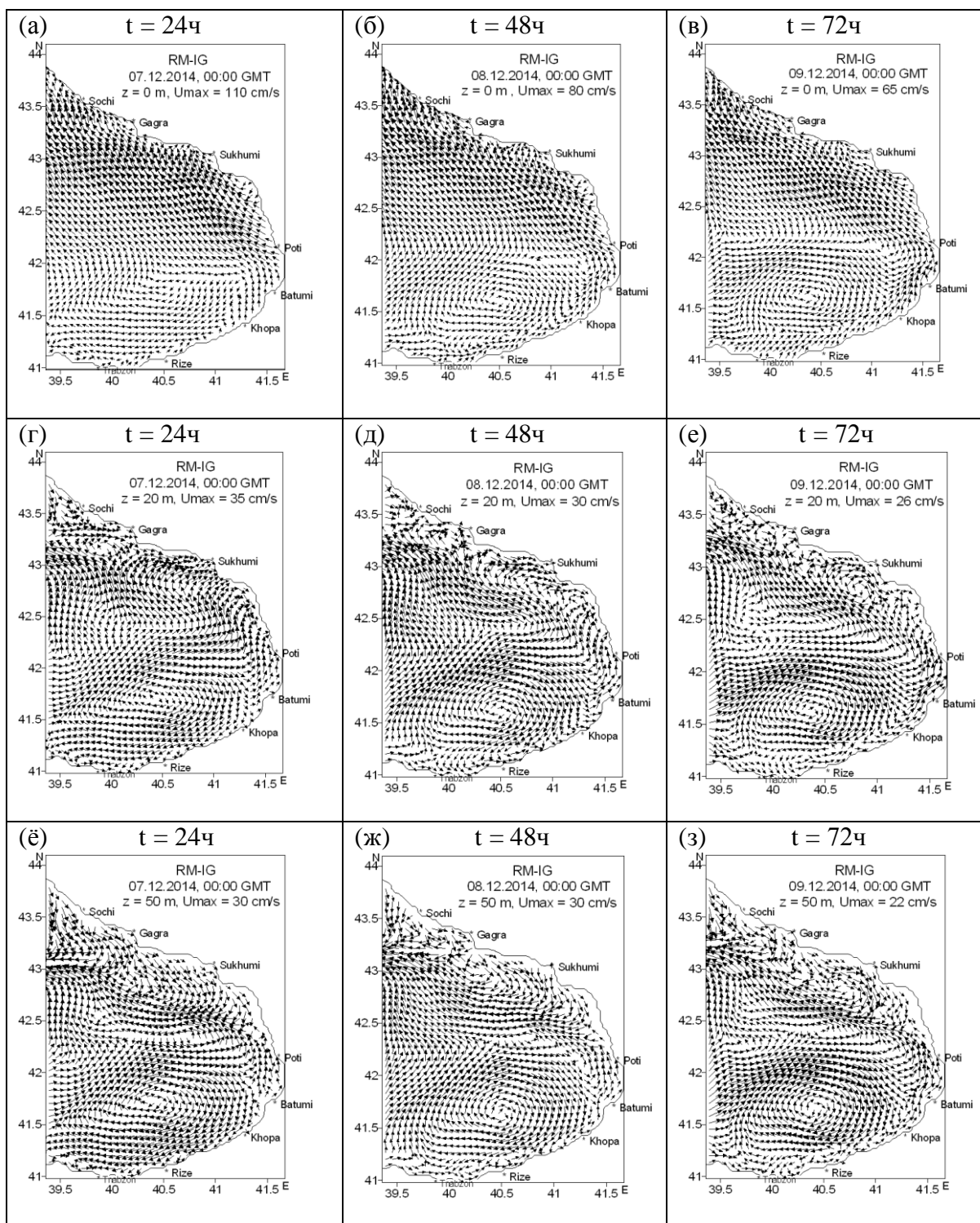


Рис.4

Рассчитанные прогностические поля течения на горизонтах $z = 0, 20$ и 50 м при $t = 24$ ч (а, г, ё), 48 ч (б, д, ж) и 72 ч (в, е, з) после начального момента прогноза. Прогностический интервал: 00:00 GMT, 6-9 декабря 2014 г.

течения до 100 cm/s и выше. Следует также обратить внимание на существенное количественное и качественное изменения характера циркуляции по вертикали при сильных ветрах. По мере

ослабления с глубиной влияния трения ветра, явно возникает тенденция формирования вихревых образований, включая субмезомасштабные вихри в узкой вдольбереговой зоне Кавказа. Вертикальные градиенты скорости течения существенно растут при сильных ветрах. Как видно из рис. 2 и 4, при слабых ветрах изменение скорости в толще 50 м не превосходило 2 см/с (рис.2), тогда как при сильных ветрах в этой же толще максимальное значение скорости изменялось на 80 см/с (рис.4). Следует отметить, что аналогичные черты морской циркуляции были отмечены нами в [25], где исследовалась гидрологическая структура Черного моря при штормовых и почти штилевых условиях.

5.2 Результаты прогноза распространения нефтяного загрязнения

Поскольку нашей целью является расчет прогноза распространения загрязнения на 3 суток, среди физико-химических и биологических факторов наиболее важным является скорость испарения нефти, которая зависит как от свойств нефти, так и от внешних условий – температуры и скорости ветра, а также площади растекания нефти. В среднем, в результате испарения в период времени от нескольких до 24 часов теряется от одной до двух третей массы нефтяного разлива [17]. С учетом этого факта было принято, что параметр неконсервативности $\sigma = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ при $t \leq 12$ ч, что соответствует потере массы нефти на 50% за полсутки, а для $t > 12$ ч $\sigma = 8,2 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$, соответствует уменьшению концентрации в два раза за 10 дней. В конкретных численных экспериментах бралось: $a = 1$, $b = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0,1$. Коэффициент турбулентной диффузии рассчитывался в процессе решения задачи по формуле (7). В начальный момент $t = 0$ нефтяное загрязнение в море отсутствовало.

Учитывая, что предельно допустимая концентрация нефтяного загрязнения обычно принята равной 0.05 мг/л, во всех численных экспериментах мы принимали равными нулю концентрации меньше 0.001 мг/л.

На рис. 5 представлены результаты расчета прогноза переноса нефтяной пленки на поверхности Черного моря в том случае, когда гипотетический аварийный выброс нефти в количестве 30 т происходил в течение двух часов в точке с координатами 180 Δх и 132 Δу. Точка разлива находилась на расстоянии примерно 29 км от г. Потти. Прогностический интервал был тот же, что и в предыдущем случае: 5-9 декабря 2014 г. Из рис.5 хорошо видно, что характер поверхностной циркуляции в значительной степени обуславливает траекторию перемещения нефтяной пленки. Нефтяная пленка начинает мигрировать и меняет размеры и конфигурацию, зона загрязнения, постепенно расширяясь, перемещается в северо-западном направлении. В рассмотренном интервале времени формировалось сильное течение, за трое суток произошло перемещение нефтяного загрязнения на значительное расстояние, равное примерно 130 км. Из-за диффузионного расширения и физико-химической и биологической трансформаций наблюдается постепенное уменьшение нефтяных концентраций.

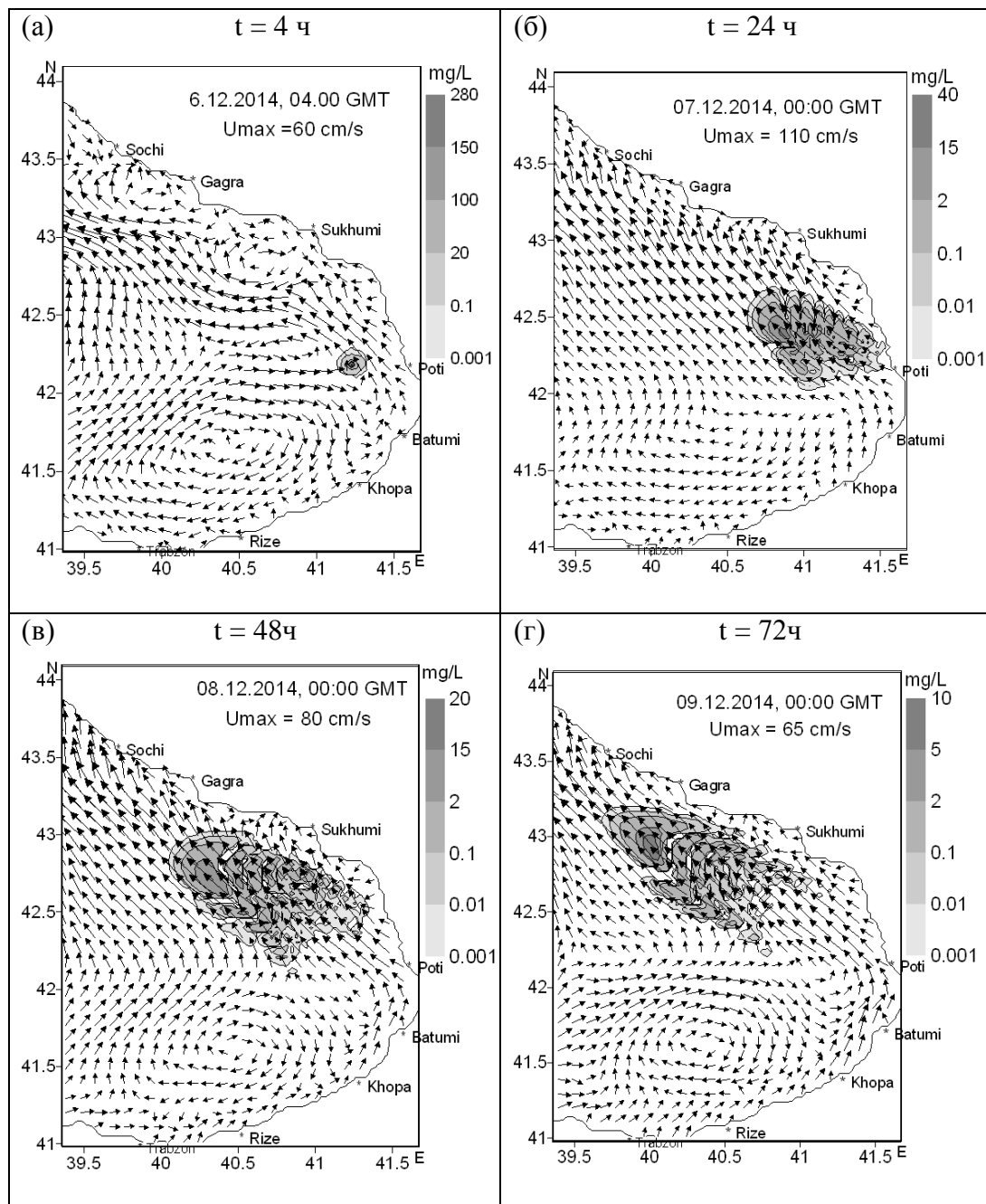


Рис. 5

Моделируемое нефтяное пятно в следующие моменты времени после аварийного разлива: 4 ч (а), 24 ч (б), 48 ч (в), 72 ч (г). Гипотетический аварийный разлив происходил в точках с координатами $180 \Delta x$, $132 \Delta y$. Прогностический интервал: 00:00 GMT, 6-9 декабря 2014 г.

5.3 Результаты прогноза распространения примеси, выносимой в море реками

Моделируется распространение условной неконсервативной примеси, выносимой в море реками Риони и Чорохи в следующем количестве за единицу времени: от р. Чорохи – 50000 условных единиц (у. е.), от южной и северной рукавов р. Риони 1000 и 10000 у. е., соответственно. Время распада T_0 бралось равным 2 годам. Коэффициент вертикальной турбулентной диффузии примеси $\nu_\varphi = 15 \text{ см}^2/\text{с}$, а коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии $\mu_\varphi = 2 \cdot 10^6 \text{ см}^2/\text{с}$.

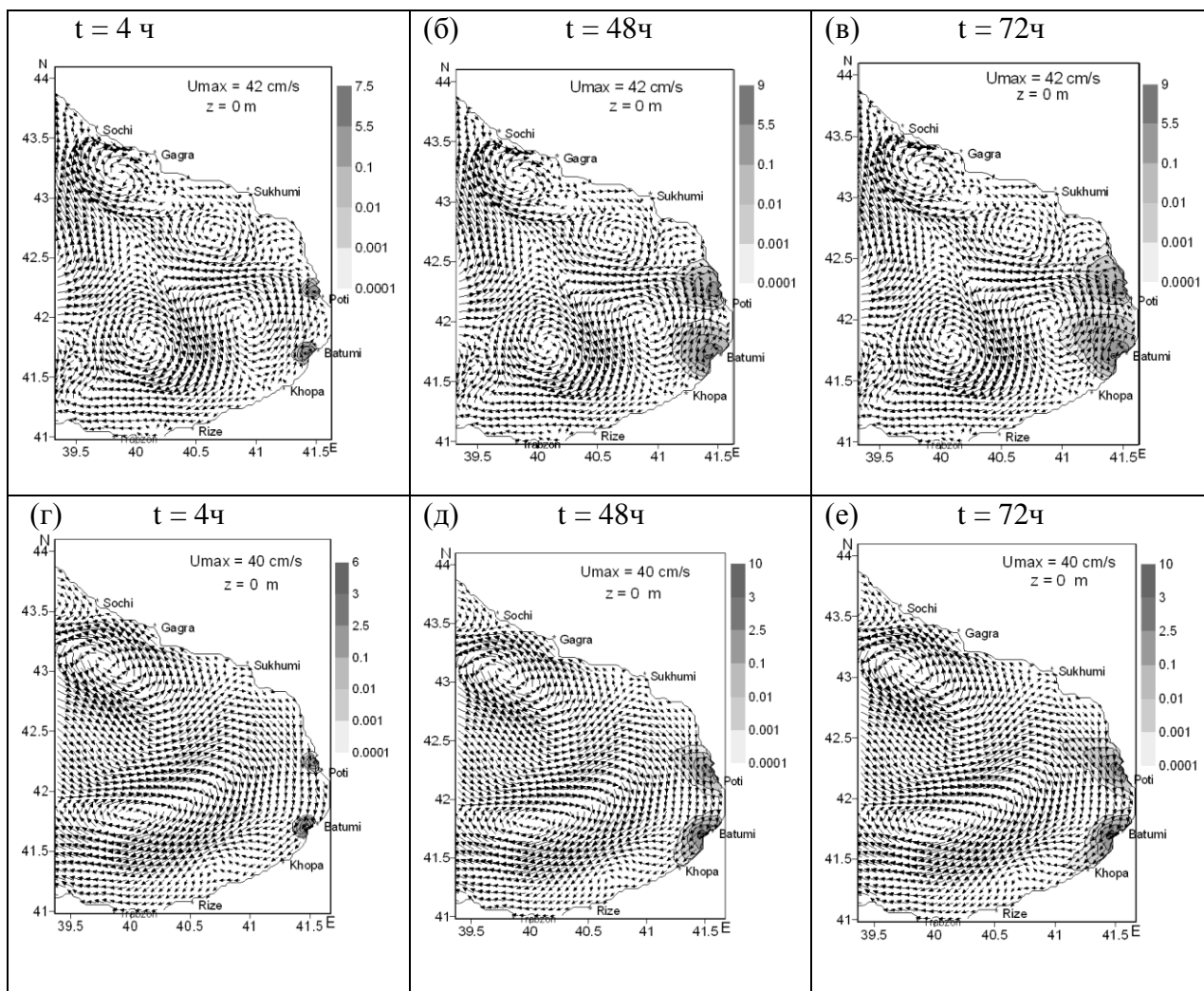


Рис.6

Рассчитанные концентрации условных примесей (у. е. в 1м^3), выносимых реками Риони и Чорохи, на морской поверхности при $t = 4 \text{ ч}$ (а, г), 48 ч (б, д), 72 ч (в, е) после момента начала вноса в случае стационарных течений: 2 января 2014 г, 10:00 GMT (а, б, в) и 19 сентября 2014 г, 00:00 GMT (г, д, е).

Рис. 6 показывает распространение примеси в прибрежной зоне на поверхности моря в моменты времени 4, 48 и 72 ч после начала выноса примеси в море реками. Процесс распространения примеси иллюстрируется на примере двух разных циркуляционных режимов: первый из них относился к 10:00 GMT 2 января 2014г. (рис. 6а, б, г), а второй к 00:00 GMT 19

сентября 2014 г. (рис.6г, д, е). Из рис. 6 отчетливо видно, что характер циркуляции значительно предопределяет основные черты процесса распространения примеси. Анализ полученных полей концентраций показывает, что примесь, попавшая в море, распространяется не только в горизонтальном направлении, но и по вертикали из-за вертикальной турбулентной диффузии и вертикальных потоков. Как показали расчеты, примесь за 3 суток достигала глубины примерно 50-60 м.

6. Заключение

Разработана расширенная версия региональной системы прогноза, которая базируется на следующих численных моделях: 1. региональная бароклинная модель динамики Черного моря, 2. двумерная модель мелкой воды, 3. двумерная модель распространения нефтяного загрязнения, 4. пространственная модель распространения неконсервативной примеси. Для решения уравнений всех численных моделей используется метод расщепления [13, 14, 19].

Программное обеспечение региональной системы состоит из двух основных программ, разработанных на алгоритмическом языке “Fortran“. По первой программе реализуются модель динамики моря и в случае необходимости - двумерные и трехмерные модели распространения примесей, программное обеспечение которых входит в программный пакет в качестве отдельных подпрограмм. С помощью второй программы реализуется модель мелкой воды. Все входные данные, необходимые для расчета морских прогнозов, поступают из МГИ с помощью интернета.

В настоящее время региональная система прогноза функционирует в режиме, близком к реальному и обеспечивает на 3 суток прогноз динамических полей – течения, температуры, солености и уровня моря, а в случае чрезвычайных ситуаций позволяет прогнозировать распространение концентраций примесей в юго-восточной части Черного моря с пространственным разрешением 1 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке Национального научного фонда Грузии им. Шота Руставели (грант № AR/373/9-120/12). Выражаем им благодарность.

Литература

1. Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeev V. L., et al. Development of Black Sea nowcasting and forecasting system. *Ocean Science*. -2011. 7.- PP.629-649- Doi:10.5194/os-7-629-2011.
2. Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeev V. L. et al. Black Sea coastal forecasting system. *Ocean Science*. -2012 8. -PP. 183-196.- Doi: 10.5194/os-8-183-2012.
3. Grigoriev A. V., Zatsepin A. G. Numerical modeling of water dynamics of Russian zone of the Black Sea within the framework of operational oceanography tasks. *J. Georgian Geophys. Soc.*, -2013. V.16B.- PP.138-157.
4. Kordzadze A., Demetrashvili D. Some results of forecast of hydrodynamic processes in the easternmost part of the Black Sea. *J. Georgian Geoph. Soc.*- 2010. V.14b. -PP.37-52.
5. Kordzadze A. A, Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP. *Ocean Science*. -2011. 7.- PP. 793- 803. www.ocean-sci.net/7/793/2011/, doi: 10.5194/os-7-793-2011.
6. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Региональная оперативная система прогноза состояния восточной части Чёрного моря. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь. Украина. -2011. Вып.25. -Т.2.- С.136-146.

7. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Circulation processes in the easternmost part of the Black Sea in 2010-2012. J. Georgian Geophys. Soc. -2011-2012. V.14b. -PP. 3-13.
8. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Coastal forecasting system for the easternmost part of the Black Sea. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. -2012. 12.- PP.471-477. Doi: 10.4194/1303-2712-v12_2_38. www.trjfas.org
9. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Чёрного моря. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. -2013ю N 6. -С.733-745.
10. Brozkova R., Derkova M., Bellus M., Farda A. Atmospheric forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings. Ocean Sci.- 2006.- PP. 113-121. <http://www.ocean-sci.net/2/113/2006>.
11. Дорофеев В. Л., Коротаяев Г.К. Ассимиляция данных спутниковой альтиметрии в вихреразрешающей модели циркуляции Черного моря. Морской гидрофизический журнал.- 2004. №1.- С.52-68.
12. Кордзадзе А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование гидрофизических полей Чёрного моря в условиях чередования атмосферных циркуляционных процессов. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана.- 2008. Т.44, N 2.- С.227-238.
13. Марчук Г.И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеиздат.- 1974. 303 с.
14. Кордзадзе А. А. Численное моделирование динамики морских течений (теория, алгоритм, численные эксперименты). Москва, ОВМ АН СССР.- 1989. 128 с.
15. Вольцингер Н. Е. Пясковский Р. В. Основные океанографические задачи теории мелкой воды. Л., Гидрометеиздат.- 1968. 300 с.
16. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. On the effective numerical methods of solution of shallow water problem. Realization of the model for the easternmost part of the Black Sea. J. Georgian Geoph. Soc.- 2011-2012. V.15b. -PP.14-31.
17. Врагов А. В. Методы обнаружения, оценки, и ликвидации аварийных разливов нефти. - Новосибирский госуниверситет. – 2002. 224 с.
18. Зилитинкевич С. С., Монин А. С. Турбулентность в динамических моделях атмосферы. Л., Наука. -1971. – 44 с.
19. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей Среды. – М., Наука. -1982. -319 с.
20. Кордзадзе А. А. , Деметрашвили Д. И. Прогноз циркуляционных процессов и распространения нефтяного загрязнения в восточной части черного моря на основе региональной комплексной модели. Морской гидрофизический журнал. Севастополь.- 2015. № 1.
21. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Development of the Black Sea regional forecasting system for its easternmost part with inclusion of oil spill transport forecast. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences.- 2014. N 3- PP.40-47.
22. Kordzadze A., Demetrashvili D. 3D numerical model of distribution of nonconservative admixture in the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc.- 2000. V. 5b.- PP.3-11.
23. Demetrashvili D., Kordzadze A. Numerical modeling of distribution of pollution substances in the Black Sea. Reports of enlarged sessions of the seminar of I. Vekua Institute of applied mathematics. - 2002. V.17. №3.-PP. 44-57.
24. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д.И., Сурмава А. А. Численное моделирование распространения примеси в Чёрном море и в атмосфере Кавказа. Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности. Киев, Украина- 2004. N 6.- С.31-41.
25. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д.И., Сурмава А. А. О циркуляции в Черном море при очень сильных и слабых ветрах. Метеорология и гидрология. -2007. № 9.- С.58-64.

დინამიკური პროცესებისა და მინარევების გავრცელების მოკლევადიანი პროგნოზი შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილში

კორძაძე ა., დემეტრაშვილი დ., კუხალაშვილი ვ.

რეზიუმე

წინამდებარე სტატიაში შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილის მდგომარეობის პროგნოზის რეგიონული სისტემა (რეგიონული არე დასავლეთიდან შემოსაზღვრულია 39.08° ა. გრ. მერიდიანზე გამავალი პირობითი თხევადი საზღვრით), რომელიც ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილია მთლიანად შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემისა, გაფართოებულია და შედგება ჰიდროდინამიკური და ეკოლოგიური ბლოკებისაგან. ჰიდროდინამიკური ბლოკი შეიცავს მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე შავი ზღვის დინამიკის 3-განზომილებიან რეგიონულ მოდელს და 2-განზომილებიან “მცირე“ წყლის მოდელს. ეკოლოგიური ბლოკის ბირთვია არაკონსერვატიული მინარევის გავრცელების ორი და სამგანზომილებიანი რიცხვითი მოდელები. ზღვის მდგომარეობის პროგნოზის გათვლისათვის საჭირო რეალური მონაცემები მიიღება ყოველდღიურად ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტიდან (ქ. სევასტოპოლი) რეალურთან მიახლოებულ რეჟიმში ინტერნეტის საშუალებით. ზღვის მდგომარეობის რეგიონული პროგნოზის სისტემის ახალი ვერსია საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების - დინების, ტემპერატურის, მარილიანობისა და ზღვის დონის ცვალებადობის 3 დღიანი პროგნოზი, ხოლო საჭიროების შემთხვევაში ნავთობით და სხვა ტოქსიკური მინარევებით დაჭუჭყიანების ზონების გავრცელების პროგნოზი 1 კმ გარჩევისუნარიანობით შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში. მოყვანილია დინამიკური ველებისა და მინარევების გავრცელების მოდელირებისა და პროგნოზის შედეგები.

SHORT- RANGE FORECAST OF DYNAMICAL PROCESSES AND SPREADING OF ADMIXTURES IN THE EASTERN PART OF THE BLACK SEA

Kordzadze A.A., Demetrashvili D.I., Kukhalashvili V.G.

Abstract

In the present paper the regional forecasting system of the south-eastern part of the Black Sea (the regional area is limited from the west with liquid boundary passing along meridian 39.08°E), which is one of the parts of the basin-scale nowcasting/forecasting system, is expanded and consists of hydrodynamic and ecological blocks. The hydrodynamic block includes a high-resolution 3-D regional model of the Black Sea dynamics and a 2-D shallow water model. A core of the ecological block are 2-D and 3-D models of spreading of nonconservative admixtures. The data required for calculation of forecasts of the sea state are transferred from Marine Hydrophysical Institute (Sevastopol) everyday in the near-real time mode via Internet. The new version of the Black Sea regional forecasting system provides to calculate 3 days' forecast of the main hydrophysical fields – the current, temperature, salinity and sea level and spreading of pollution by oil products and other toxic substances with 1 km spacing in the south-eastern part of the Black Sea. The results of modeling and forecast of dynamical fields and admixtures' spreading are given.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ПО МАТЕРИАЛАМ
КМПВ И ГСЗ В КОМПЛЕКСЕ С ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМИ И
МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ ПРИ ПОИСКАХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Гонгадзе С., Миндели П., Кириа Дж., Есакиа А.

Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

В поисках и разведке нефтегазоносных месторождений, после определения благоприятной структурной обстановки на глубине исследуемого объекта, решающей и весьма ответственной задачей является выбор возможных нефтегазосодержащих структур из многих случайных вариантов и определение их перспектив для дальнейших исследований глубоким дорогостоящим бурением. Особо важно выполнить такую задачу без дополнительных затрат к тому, что выполнено при общих исследованиях. Эта задача посильна, в первом приближении, геофизическим методам исследований, что в опытном порядке нами было опробовано.

В комплексе геофизических методов в региональном плане исследований и установления нефтяных структур, главную роль играют методы сейсморазведки МОГТ, КМПВ и ГСЗ. В данной работе рассматривается интерпретация материалов КМПВ, гравиметрических и магнитометрических данных, в качестве моделирования глубинного строения и литолого-формационного состава, что также весьма важно при решении кардинальных поисково-разведочных проблем и оценки перспектив нефтегазоносных регионов и бассейнов.

Фундаментальной основой поисков нефти и газа дистанционными методами является учение о парагенезисе геофизических, геохимических и биохимических аномалий над скоплениями углеводородов. Залежь углеводородов рассматривается как источник локальных возмущений на фоне нормальных полей. За счет миграции УВ из залежи последняя в течение длительного времени воздействует на вмещающие породы, трансформируя их состав и физические свойства. Наличие эффекта автолокализации УВ и резких горизонтальных градиентов аномалии силы тяжести может быть объяснено тем, что на контактах вода - нефть и газ в результате химических реакций такое изменение состава в околозалежном пространстве, которое приводит к повышению плотности пород (Карус и др., 1988). Последнее вызывает небольшие по горизонтальным размерам аномалии, проявляющиеся в суммарном гравитационном поле в виде резких горизонтальных градиентов над контактами вода – залежь. Наблюдаемый в аномальном гравитационном поле над залежью нефти и газа минимум силы тяжести с резким горизонтальным градиентом на концах является поисковым признаком.

Метод градиента дисперсии функции ПНГ (полный нормированный градиент) поля по В.М. Березкину (G_H) основан на использовании этой функции для выявления плотностных неоднородностей разреза без привлечения каких-либо сведений о физических свойствах пород.

Представление исходной функции рядом Фурье и проведение вычисления G_H на основе рядов Фурье связано с выбором оптимальной гармоникой разложения. Выбор последней для разложения исходной функции является одним из основных методических вопросов при использовании метода полного градиента. Обычно для выделения локальных аномалий

используется метод подбора, основанный на принципе максимума: при оптимальной гармонике выделяемая аномалия достигает максимальной величины.

В прошлые годы метод полного нормированного градиента нами был опробован на площади Притбилисской группы нефтяных месторождений по материалам магниторазведки и гравиразведки, с целью апробации разрешающей возможности метода в известных геолого-геофизических условиях одного из хорошо изученных регионов Грузии, а в дальнейшем для проверки других перспективных площадей.

В ряде работ [Березкин В.М. и др., 1979, Березкин В.М., 1988] подробно освещены вопросы точности и разрешающей способности метода полного нормированного двумерного градиента потенциальных полей при решении задачи прямых поисков нефтегазоносных месторождений. По аналогии с этими работами нами в опытный порядок опробован этот метод в трехмерном варианте на нефтяных месторождениях Притбилисского района. Программа этого варианта составлена зав. геофизической кафедрой Московского университета проф. Булычевым А.А. и сотрудником этой же кафедры Лыгиным И. При этом надо отметить, что полный нормированный градиент в трехмерном измерении по принципу аналогичен двумерному, дополненному градиентом в степени квадрат поля по третьему Y составляющему в числителе и знаменателе одинаково.

Оператор G_n является безразмерным числом и колеблется в пределах 0-5. Значения, ниже единицы принято условно считать отрицательными и связывают с дискретностью геолого-геофизической неоднородности. Предполагают, что в геологической среде с отрицательным значением оператора G_n происходит разрыв аналитической функции, связанной с нефтегазоносностью и накоплением металлической минерализации.

Площадь исследований – эта погружающаяся восточная составная часть Аджаро-Триалетской тектонической зоны, представленная разветвляющимися и затухающими антиклинальными структурами Мамадавидской и Телетской с южной стороны, и Мцхета-Норио-Сацхенисской с северной стороны. На фоне этих ведущих структур развиты вторичные складки Норио-Сацхенисская, Марткопская, Варкетильская, Лисская, Самгори-Патардзеульская, Южно-Самгорская и Телетская. Последние три являются эксплуатируемыми нефтяными залежами и объектами нашего эксперимента.

Испытанию методом нормированного градиента подверглись гравимагнитные аномальные поля съемки масштаба 1:50000.

Аномалия Буге $2,67 \text{ г/см}^3$ с поправкой за рельеф $R=200 \text{ км}$, на площади исследования в структурном отношении представляет собой погружающуюся «периклинально» подобной формой относительного максимума с эпицентром (-52 мГл), находящимся далеко на западе за пределами площади. Интенсивность на восточном окончании равна $(-60) \div (-87) \text{ мГл}$. Здесь овално закругленные изолинии Δg с равномерной укладкой все же слабо криволинейны, местами наблюдаются слабые аномальные возмущения. Можно полагать, что такие признаки являются отражением какого-то глубинного явления (рис.1).

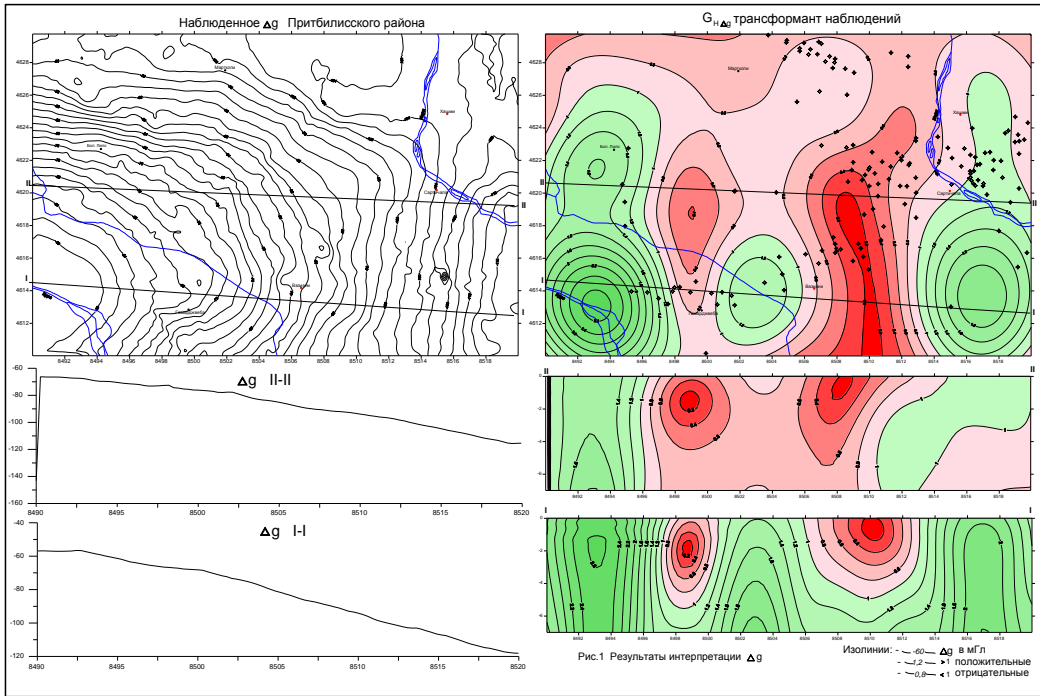


Рис. 1

На той же площади АМП, съемки масштаба 1:50000, представлено другой конфигурацией изолиний и интенсивности. В юго-западном углу площади отмечен мелко возмущенный относительный минимум с интенсивностью 70-95 нТл, который в направлении северо-восточного угла площади плавно повышается до 180 нТл. Изолинии ΔT_a по простиранию волнисто слабо искривлены (рис.2).

Следует заметить, что на приведенных примерах явных признаков возмущений полей, обусловленных нефтегазоносными месторождениями, не выявлено; надо полагать - в приведенных гравимагнитных полях они находятся в скрытой форме.

Проведена трансформация вышеприведенных полей способом полного нормированного градиента в нижнее полупространство среды. Результаты распределения оператора $Gn_{\Delta g}$ и $Gn_{\Delta T_a}$ Притбилисского района представлены на рисунке 1 и 2. Они почти идентичные в отношении оценки территории на нефтегазоносность.

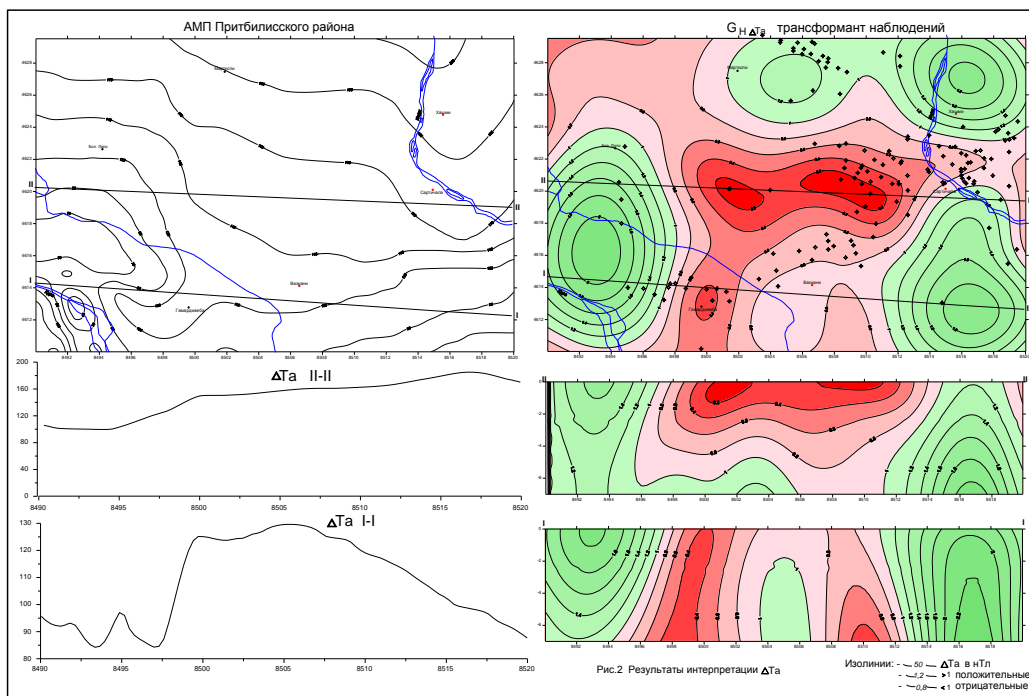


Рис. 2

Их суммарная картина уточняет контуры, «разнополярных» площадей и повышает достоверность правильного решения задач прямых поисков нефти и газа (рис.3).

На рисунке 3 нанесены контуры нефтяных залежей по состоянию на 1988 г. Самгори-Патардзеульской, Южно-Самгорской и Телетской. Там же вынесены разведочные скважины.

Глубинный продольный геологический разрез Самгори-Патардзеульского месторождения с горизонтом нефтяной залежи полностью располагается в пределах «отрицательных» интенсивных контуров суммарного оператора $G_{H\Delta g\Delta Ta}$ (рис.3). Более детально изученная визуальная корреляция между геологическими данными и геофизическими результатами такова.

- Площадь исследования охватывает Телетскую, Южно-Самгорскую, Самгори-Патардзеульскую залежи полностью и Норю-Сацхенискую, Марткопскую частично. Последние две, из-за не полного охвата, здесь не рассматриваются (рис.3).

- На плоскости наблюдений выделяются эпицентры «отрицательных» экстремальных значений $G_{H\Delta g\Delta Ta}$ на участках: Гамарджвевском (Телетском), Гачианском, Самгори-Патардзеульском и Б.Лило-Варкетильском. На Гамарджвеба-Телетском контур нефтяной залежи располагается в пределах отрицательной аномалии за исключением одной скважины, попавшей рядом на неперспективную площадь. На Самгори-Патардзеульском аномальном участке разведано месторождение этого названия и Южно-Самгорское, уместающиеся также в пределах аномалии. На площади Варкетили, в пределах аномалии, пробурена одна скважина №4; по техническим причинам она не может быть решающей для определения перспективности этого аномального участка.

- Аналогичная корреляционная зависимость наблюдается в распределении оператора нормированного градиента в вертикальной плоскости с контурами нефтяных залежей, с той разницей, что эпицентры экстремальных значений $G_{H\Delta g\Delta Ta}$ находятся по глубине выше, чем кровля нефтесодержащего горизонта. Это не исключение, в специальной литературе такие примеры нередко приводятся [Березкин 1978, 1988].

Геологическую эффективность способа нормированного градиента на площади Прибильского нефтепромыслового района можно определить вероятностью попадания

результативных скважин в зону, оцененную данным способом как перспективную. Такую оценку можно выполнить на отмеченных выше месторождениях статистическим методом.

На Самгорско-Патардзеульском участке пробурена 71 скважина. Из них нефтеносными оказались 42, и они попадают в области, оцененные перспективными, 14 скважин оказались не продуктивными, но попали в зону перспективную, в 12 скважинах нефти также не оказалось, и попадают в неперспективную зону, 3 нефтяные скважины попадают в зону неперспективную.

На Южно-Самгорском участке пробурено 16 скважин. В 13 скважинах пересечен нефтяной горизонт и они попали в перспективную зону, 3 скважины не содержат нефти, но расположены в перспективной зоне.

На Телетском (Гамарджвевском) участке пробурено 16 скважин. Из них продуктивными оказались 10 и попадают в перспективную область, 1 скважина содержит нефть, но попала в неперспективную область, 2 скважины не содержат нефти и попадают в перспективную область, 3 скважины не содержат нефти и расположены на неперспективной площади.

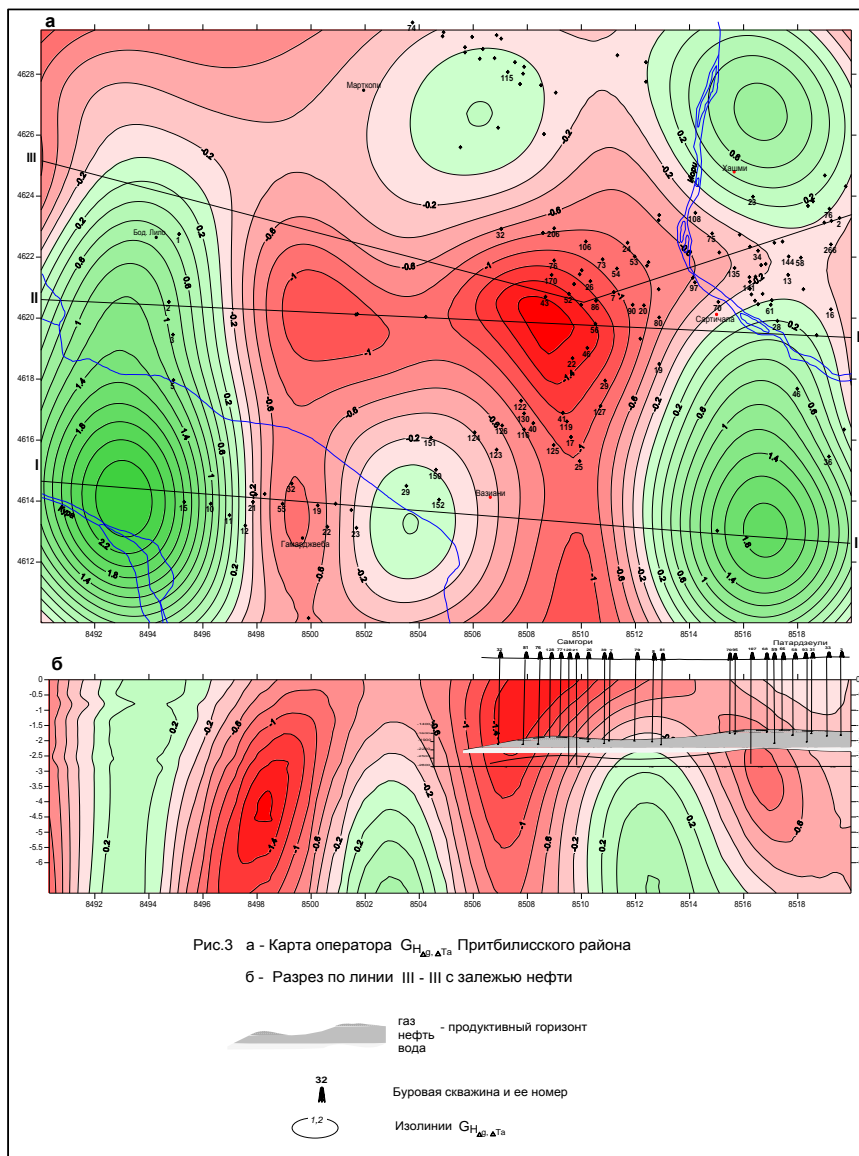


Рис. 3

Добиться однозначного решения обратных задач физических полей любого метода в одиночном порядке - большая проблема, почти не решаемая. Во избежание и наибольшей аппроксимации данного вопроса обращаются к использованию комплекса методов и комплексной интерпретации новейшими достижениями в этой области. Нам доступно использование, благодаря наличию программных обеспечений, сейсмотомографии и совместной интерпретации гравимагнитных полей.

На сегодняшний день на основе имеющихся у нас материалов КМПВ и ГСЗ и ПО «GeoGiga» Seismic PRO 7.0 (Канада), «ХТомо-LM» (Санкт-Петербург), «SeisImager» (Geometrics, USA), мы попытались получить информацию о геологическом разрезе данного участка, в частности по скоростному разрезу методом сейсмотомографии.

Математической основой лучевой сейсмотомографии является закон, сформулированный Радоном в 1917 году, который гласит, что любая непрерывная двумерная функция может быть восстановлена по ее одномерным проекциям, если число этих проекций бесконечно.

Проекции представляют собой некоторые функционалы физических характеристик среды исследований. В сейсмической томографии характеристиками обычно являются скорости сейсмических волн, поглощающие свойства среды, а проекции - это либо времена пробега, либо данные о затухании волн за счет неупругого поглощения, получаемые из наблюдений.

Рассмотрим принцип решения задачи сейсмотомографии. Параметры сейсмических волн (время прохождения, амплитуда волны), прошедших через среду, содержат информацию об этой среде. В частности, время прохождения луча по той или иной траектории равно сумме времен прохождения через элементарные интервалы (ΔS) вдоль этого луча. Если элементарные отрезки равны по длине, то время прохождения луча будет равно:

$$t = \sum_i \frac{1}{V_i} \Delta S, \quad (2.1)$$

где V_i - скорость сейсмической волны вдоль луча.

Однако, по $V(r)$ функции сферической модели Земли Джефриса и Буленна возможно предсказать времена пробега с высокой точностью - 0,005%. Если длины отрезков сделать бесконечно малыми, то время распространения по i -му лучу будет равно:

$$t_i = \int_{L_i} \frac{1}{V(r)} dS, \quad (2.2)$$

где $\frac{1}{V(r)}$ - медленность распространения волны на расстоянии r от начала L_i - го луча вдоль этого луча. Задержка времени определяется формулой

$$\Delta T_i = T_i - T_i^o = \int_{s_i} \frac{dS}{V} - \int_{s_i^o} \frac{dS}{V_o} = \int_{s_i^o} \left(\frac{1}{V} - \frac{1}{V_o} \right) dS = - \int_{s_i^o} \left(\frac{\Delta V(r_i)}{V_o(r)} \right) dS, \text{ где } \Delta V = V - V_o$$

Для решения томографической задачи данное выражение удобнее записывать в форме интеграла по пространственной области Ω :

$$t_i = \int_{\Omega} G_i(r) \frac{1}{V(r)} dr,$$

где $G_i(r)$ сингулярно на луче L_i и равно нулю во всей остальной части области.

Приведенные формулы являются основными при решении обратных задач томографии.

В современной практике решения томографических задач успешное применение нашли

методы улучшения заданного начального приближения. Суть заключается в следующем: выбирается опорная модель, как начальное приближение, и далее производится расчет нескольких последовательных итераций, когда улучшенная модель после предыдущих итераций используется как опорная на следующей.

Одним из важных методических вопросов при проведении итерационной томографической обработки является критерий останова, поскольку излишние итерации приводят к ухудшению качества получаемого решения. Основным показателем необходимости продолжения итерационного процесса является соотношение между текущей среднеквадратичной невязкой времен пробега и погрешностью измерения первых вступлений. Если обе эти величины становятся примерно одного порядка, то некоторая случайная величина ошибки исходных данных будет интерпретироваться как регулярная невязка между теоретическими и наблюдаемыми временами пробега, что, в свою очередь, как правило, приводит к появлению хаотически расположенных ложных мелкомасштабных аномалий.

Надежность получаемого при сейсмотомографии решения данным методом во многом зависит от корректности модели первого приближения. На практике очень часто в качестве первого приближения выбирается результат решения обратной томографической задачи для случая однородной среды, рассчитанной по средней для данного разреза скорости упругих волн.

Годографы преломленных волн, которые вводятся в программные обеспечения в виде цифровых таблиц, обрабатываются методом томографии, при этом вводятся априорные геологические данные модели: глубина, минимальные и максимальные средние скорости среды. Количество итераций, при которых теоретическая модель методом наименьших квадратов приближается к практической, не больше 5-ти. Невязка в среднем составляет 30-80 мсек. Полученные фациальные скоростные разрезы дают качественный анализ той геологической обстановки, с какого профиля они были получены, при сопоставлении с геологической картой территории Грузии 1:500 000 масштаба, авторов Г.Е. Гуджабидзе и И.П.Гамкрелидзе.

Профили были обработаны всеми тремя, имеющимися у нас программами, для подтверждения того, что имеющиеся у нас годографы КМПВ имеют качественную характеристику. По результатам видно, что томографические разрезы идентичны по всем трем программам (рис.4).

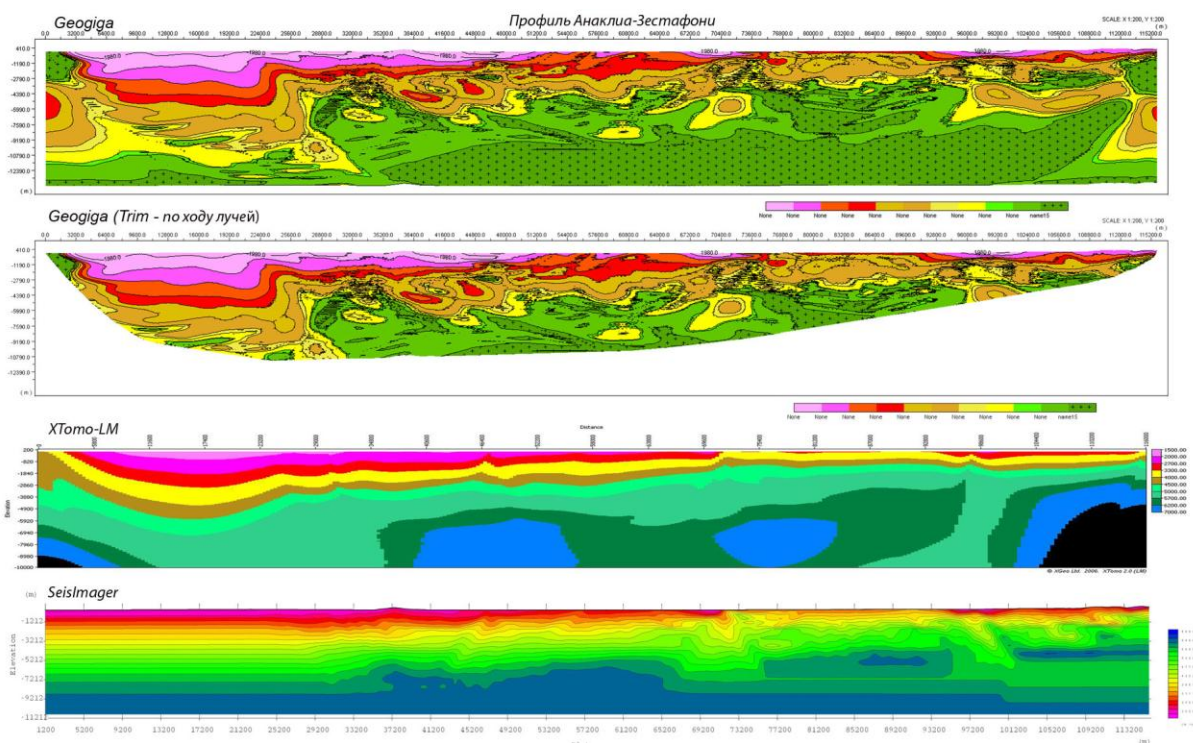


Рис.4

Для большей убежденности мы обработали ПО «Geogiga» материал профиля ГСЗ 25, проходящего по Западно-Черноморской впадине, предоставленный нашими киевскими коллегами из Института геофизики им. Субботина. Они выполняли построение скоростной модели по методике численного моделирования путем многократного решения прямой кинематической задачи с использованием программы К. Зельда [Zelt, Smith, 1992]. При сравнении скоростной модели и томографии видно значительное сходство (рис.5)

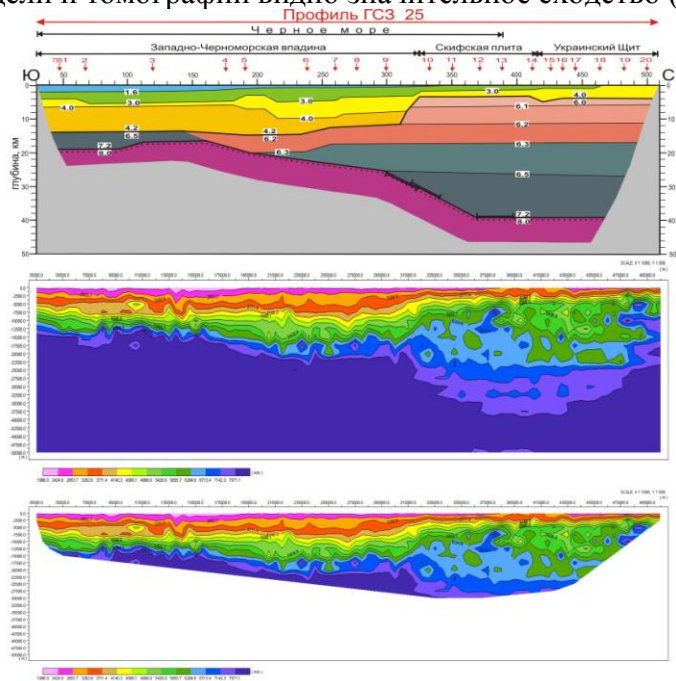


Рис. 5

Исследуемый участок пересекают несколько профилей КМПВ (рис.6). Все они были обработаны ПО «GeoGiga».

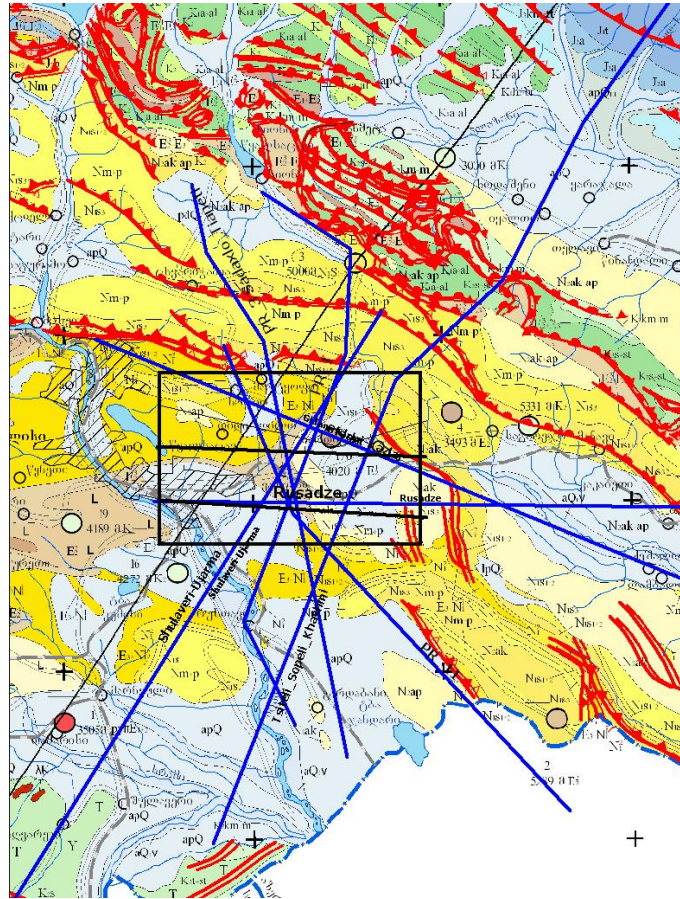


Рис. 6

Томографические картины, полученные по профилям, увязываются между собой по пересечениям (рис.7).

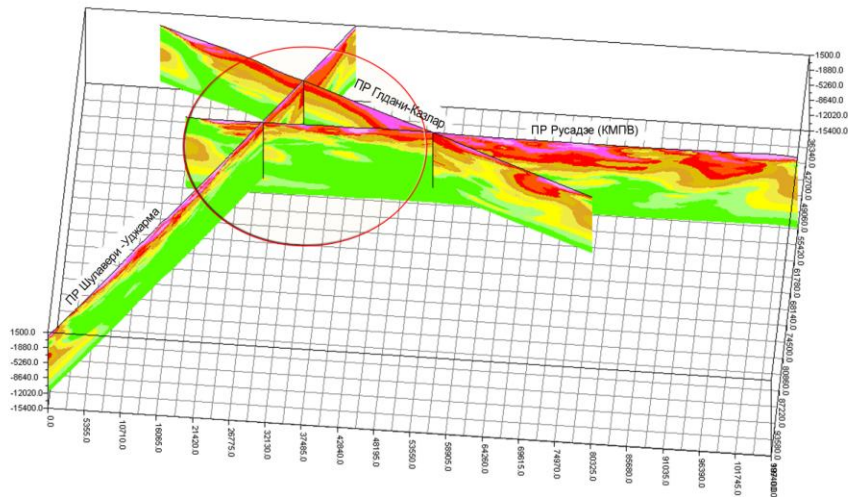


Рис. 7

За опорный профиль для построения геолого-геофизической модели был принят профиль КМПВ Шулавери – Уджарма, который пересекает участок исследований с юго-запада на северо-восток. Принципиальная роль при построении модели отводилась томографии этого профиля полученной в результате обработки ПО «GeoGiga» (рис. 8).

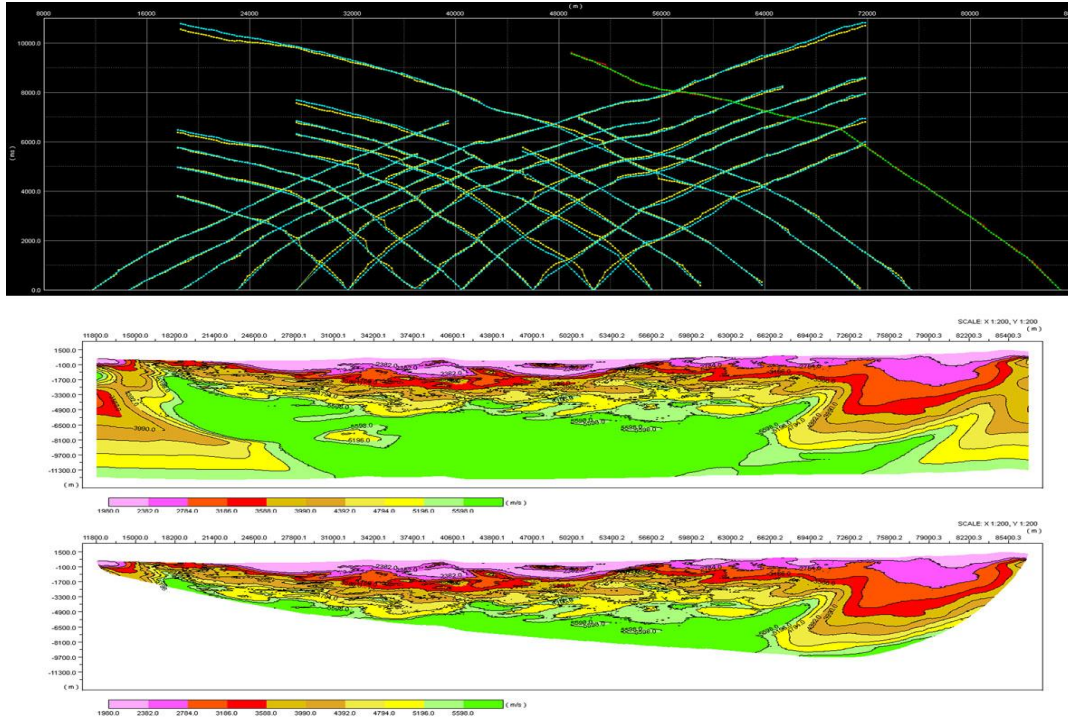


Рис. 8

Прежде, чем приступить к построению модели, гравиметрические и магнитометрические данные были проинтерпретированы ПО «Oasis montaj» фирмы Geosoft (Канада).

Наиболее общие представления о глубинах особых точек и источников магнитных и гравиметрических аномалий можно получить, анализируя энергетический спектр магнитного поля.

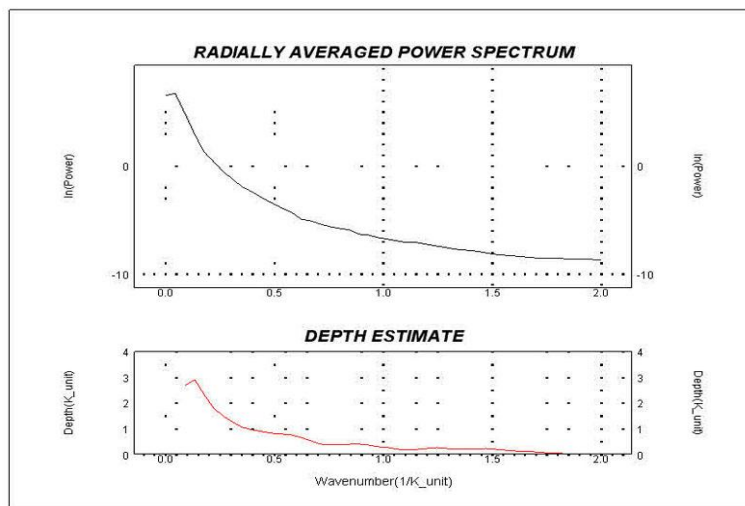


Рис. 9

На рис.9 показан график логарифма радиально осредненного амплитудного спектра аномального гравитационного поля в зависимости от пространственной частоты, полученный с помощью специальной опции пакета программ «Oasis montaj». Анализ графика показывает, что узкая полоса частот в низкочастотной части спектра связана с источниками, особые точки которых соответствуют глубинам до 3 км.

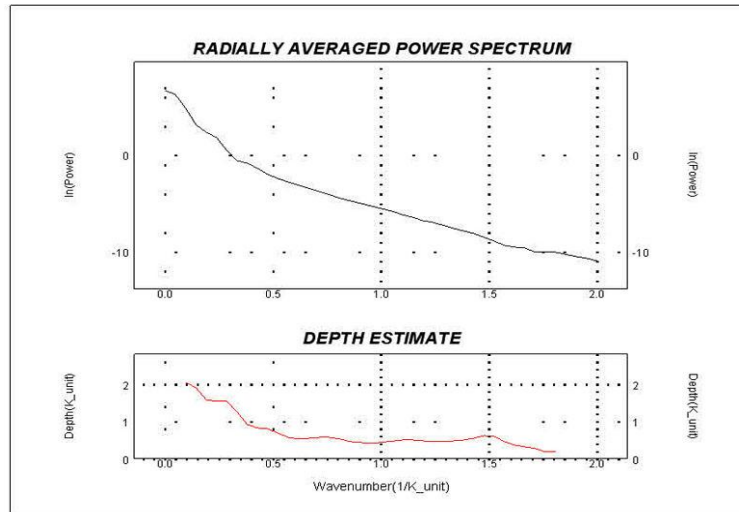


Рис. 10

На рис.10 показан график логарифма радиально осредненного амплитудного спектра магнитного поля в зависимости от пространственной частоты, полученный с помощью описанной выше опции. Анализ графика показывает, что узкая полоса частот в низкочастотной части спектра связана с источниками, особые точки которых соответствуют глубинам около 2 км. Средняя и высокочастотная части спектра описывают источники, содержащиеся в верхних частях разреза: от поверхности Земли до глубин менее 1 км.

Одномерная интерпретация по профилю Шулавери – Уджарма была проведена опять же ПО «Oasis montaj». Был рассчитан аналитический сигнал для гравитационной и магнитной наблюдаемой кривой. Аналитический сигнал может использоваться для определения местоположений границ тел с остаточной намагниченностью. Аналитический сигнал (as) поля определяется как:

$$as = \sqrt{dz \cdot dz + dx \cdot dx}$$

где dz – вертикальная производная

dx – горизонтальная производная

Вертикальная производная вычисляется с помощью процесса быстрого преобразования Фурье (БПФ). Горизонтальная производная вычисляется с применением фильтра свертки в пространственной области. Затем по этим двум наборам оценивается аналитический сигнал.

Для наблюдаемых аномальных кривых были использованы фильтры для кажущейся плотности и кажущейся магнитной восприимчивости. Фильтр кажущейся восприимчивости, фактически, является составным фильтром, который выполняет редукцию к полюсу, пересчет поля вниз на глубину источника, коррекцию за геометрический эффект вертикальной призмы и разделение значения полного поля для получения восприимчивости. Плотностной фильтр вычисляет кажущуюся плотность разреза, обуславливающую наблюдаемое поле по профилю. При этом принимается, что гравитационное поле создается набором прямоугольных призм, бесконечных по простиранию, верхняя кромка которых совпадает с плоскостью наблюдения, нижняя находится на глубине. Поле было предварительно пересчитано на 500 м вниз, чтобы

приблизиться к верхней кромке рассматриваемой модели, при средней плотности вмещающих пород 2,67 г/см³.

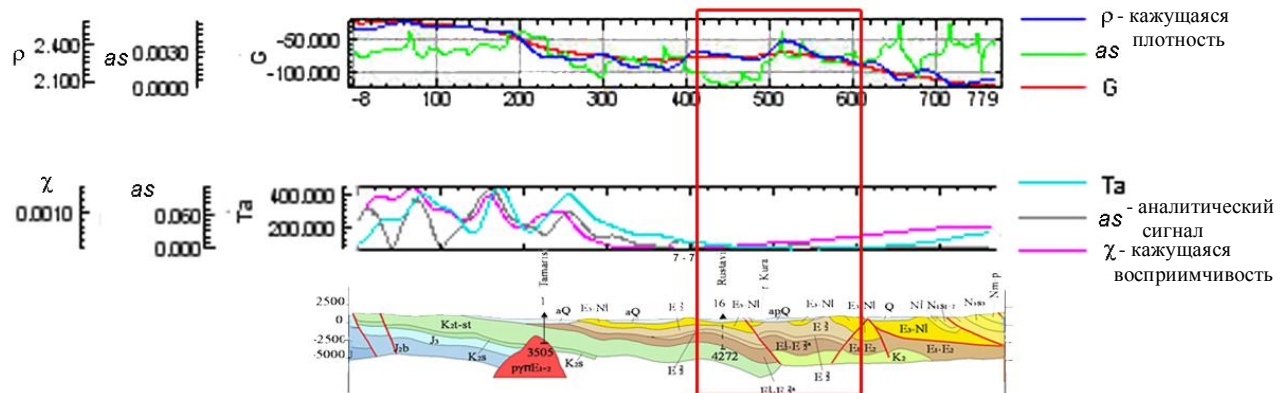


Рис.11

При анализе графиков кажущейся плотности и восприимчивости (рис.11), и сопоставлении с геологическим разрезом видно, что северо-западный фланг профиля характеризуется повышенными значениями, обусловленными намагниченными плотными породами. Интересующий нас участок выделен красным контуром. Аналитический сигнал на юго-западной периферии профиля по магнитным данным характеризуется повышенными значениями, здесь в аномальном магнитном поле выделяются три аномалии, возможно связанные с интрузиями, что подтверждается геологическими данными.

При построении геолого-геофизической модели в качестве априорной модели была принята томографическая картина профиля Шулавери-Уджарма. При сопоставлении ее с геологическим профилем 7-7' изданной геологической карты 1:500000 масштаба (Г.Е. Гуджабидзе, И.П.Гамкрелидзе и др.) видно соответствие скоростных неоднородностей геологическим формациям.

Геолого-геофизическую обстановку Притбилисского района можно представить следующим образом.

Площадь в отношении обнаженности глубинных горизонтов почти полностью замаскирована современными образованиями. Сведения о глубинном геологическом строении имеются лишь с верхнего мела, с глубины (4,5-5,0 км) доступных разведочным скважинам. На этих глубинах геологический разрез представлен вулканогенами - туфами, туфобрекчиями, туфопесчаниками, альбитофирами, дацитами и пр. сантон-коньякского возраста. Эта нижняя часть, вскрытая скважинами, характеризуется петрофизическими свойствами: $\sigma = 2,45-2,50$ г/см³; $\chi = 14-31 \cdot 10^{-4}$ А/м. Выше этих образований следуют плитчатые, пелитоморфные известняки с прослойками мергелей и редко песчаников маастрихт-датского возраста. Для них характерны $\sigma = 2,55$ г/см³ и $\chi = 251-377 \cdot 10^{-6}$ А/м. Мощность последних составляет 180-200 м. На них налегают мергелистые известняки и песчаники, глинистые алевролиты. За ними беспрерывно следуют глины и песчаники с редким прослоями известняков нижнего эоцена. Они объединены в охребскую свиту суммарной мощностью 2000-2700м с относительно низкими параметрами: $\sigma = 2,40-2,45$ г/см³; $\chi = 314 \cdot 10^{-6}$ А/м. Эти отложения сменяются выше резким фаціальными изменениями - вулканогенными образованиями среднего эоцена. Они в этом регионе известны как дабаханская свита и делятся на две части, нижнюю - песчаники, глины, алевро-аргиллиты небольшой мощности с параметрами: $\sigma = 2,5$ г/см³ и $\chi = 625 \cdot 10^{-6}$ А/м. Верхняя часть представлена алевролитами, аргиллитами, туфами, туфопесчаниками,

туфобрекчиями, т.е. «горизонтами запутанного напластования», общей мощностью 700 м. Она изменчива по площади, на Самгорском участке ее мощность максимальна, на Южно-Самгорском равна 500 м, на Телетском – 450 м, Варкетильском – 200 м. На данных участках эти горизонты являются продуктивными - нефтеносными. Для них характерны повышенные петрофизические свойства $\sigma = 2,55 \text{ г/см}^3$ и $\chi = 45-63 \cdot 10^{-4} \text{ А/м}$.

Вышеназванных горизонтов следует чередование песчаников, глин, туфопесчаников, с тонкими прослоями туфов. Этот горизонт известен под названием навтлугской свиты. Распространена она по площади с изменчивой мощностью 300-500 м и характеризуется умеренными параметрами плотности и магнитной восприимчивости $\sigma = 2,45 \text{ г/см}^3$ и $\chi = 754 \cdot 10^{-6}$. На Патардзеульском участке с горизонтом связана небольшая нефтяная залежь. Горизонт относится к верхнему эоцену.

Олигоцен представлен майкопской свитой - чередованием тонкослоистых глин и слабо уплотненных песчаников с меняющейся по площади мощностью 300-600 м и низкими петрофизическими параметрами: $\sigma = 2,25-2,30 \text{ г/см}^3$ и $\chi = 250 \cdot 10^{-6} \text{ А/м}$.

Средний и верхний миоцен (сармат) представлен обычно глинопесчанистой фацией. В последней немалое место занимают конгломераты. В связи, с чем их петрофизические параметры повышены ($\sigma = 2,45 \text{ г/см}^3$ и $\chi = 520 \cdot 10^{-6} \text{ А/м}$). К этим отложениям приурочена небольшая, уже проэксплуатированная Норийская нефтяная залежь.

На палеогеново-неогеновых отложениях местами трансгрессивно налегают ачкагыльские слои глин, конгломератов и песчаников.

Полученная томографическая картина профиля Шулавери-Уджарма имеет качественное сходство с геологической обстановкой. В районе скважины Рустави наблюдается поднятие среднескоростных горизонтов к поверхности ($Vk = 3500-4000 \text{ м/сек}$), возможно, ориентируясь на колонку скважины среднеэоценового возраста. Под ними более высокоскоростная неоднородность ($Vk = 5200 \text{ м/сек}$) пересекает разрез скважины и по колонке отмечается скорость 5,3 км/мин. Под этой высокоскоростной неоднородностью, опять прослеживается горизонт со среднескоростной характеристикой, затем на глубине 4300 м по скважине отмечаются верхнемеловые отложения со $V_{cp} = 5,5 \text{ км/мин}$, на томографии это соответствует скорости $Vk = 5300-5500 \text{ м/сек}$. Весь разрез профиля можно сказать «перемят» и осложнен серией разнопадающих разломов. Эта «пестроцветная» картина скоростных неоднородностей возможно связана с трансгрессией местами, отмечаемой в скважинах. Севернее от скважины Рустави выделяется высокоскоростная неоднородность, заключенная в области более низких скоростей, ее можно приурочить к разлому северо-восточного падения. По нарушению скоростной картины можно выделить несколько разломов, падающих в юго-западном направлении. Нас, конечно, интересуют низкоскоростные неоднородности в области более высоких скоростей, такая наблюдается севернее скв. Рустави на глубине 5000 м, но данных бурения здесь не имеется, и мы не можем определенно сказать с чем это связано. Главное, что на томографической картине и на геолого-геофизической модели видна антиклинальная структура, заключенная между разломами разного направления.

Полученное распределение скоростей на краях профиля можно рассматривать как интерполяцию скорости, заложенную в программе. Более достоверная информация представлена на рисунке 8, где обрезаны края профиля по ходу лучей. Мы использовали полную скоростную картину только для сравнения с геолого-геофизической моделью (рис.12).

На основании вышеописанного можно сделать заключение, что данные сейсмической томографии хорошо коррелируются и с гравимагнитными данными, и с геологическим разрезом.

Поэтому, на следующем этапе - построение геолого-геофизической модели в ПО «Oasis montaj», в качестве априорной модели мы использовали, как подложку, томографию профиля Шулавери – Уджарма.

Основным требованием к объемной геологической модели является возможность получить характеристику геологической среды в любой точке изучаемого пространства. Набор геологических характеристик (свойств) зависит от назначения геологической модели (от круга решаемых геологических задач) и определяется в начале моделирования. Модель является приближенным отображением среды и, следовательно, моделью прогнозируются гипотетические (вероятностные) свойства среды, достоверность которых повышается при приближении к точкам фактических данных (скважины, сейсмические профили и т.п.). В качестве основного источника информации использовались наблюдаемые аномальные кривые гравимагнитных полей, петрофизические характеристики пород по имеющимся у нас петроплотностным картам, и данные интерпретации, полученные в результате обработки ПО Oasis montaj. При этом важными процедурами гравимагнитного моделирования является вычисление теоретического поля от формируемых геолого-плотностных границ.

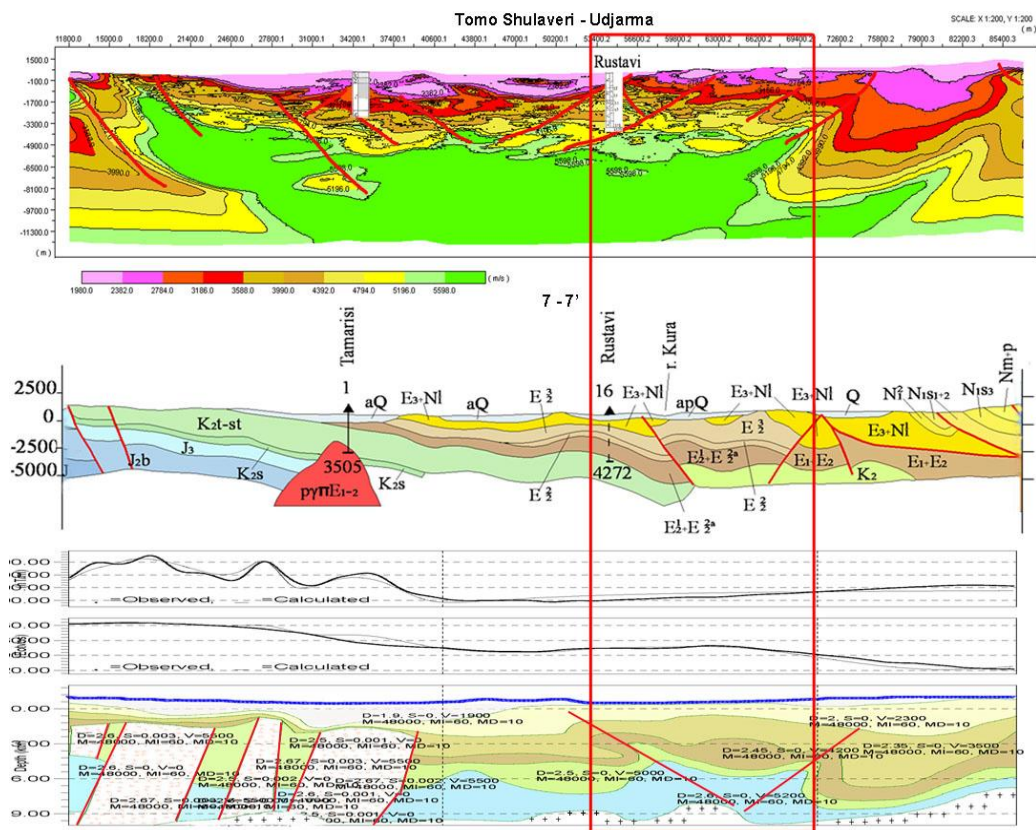


Рис.12

Анализируя графики наблюдаемых и теоретических кривых (рис.12), полученных уже от модели, можно сказать, что гравитационная аномальная кривая имеет лучшее совпадение до 6% сходимости. Сложнее дело обстоит с магнитной аномальной кривой, здесь сходство до 15%, Это по-видимому связано со сложной геологической обстановкой участка, тем более юго-западный фланг осложнен несколькими аномалиями, что на модели подтверждают четыре выделенных блока. Но нас пока не интересует эта аномальная область, т.к. мы работаем на опробованном

бурением участком и имеющимися здесь нефтеносными скважинами. На модели участок исследований (красный контур) выделяется структурой сводового поднятия, заключенной между двумя разнопадающими разломами, понижением магнитных и плотностных свойств. В целом можно сказать, что наблюдаемая картина весьма благоприятна для накопления УВ, тем более это подтверждается данными бурения.

Если обобщить все описанное выше, то можно сформировать структуру методики комплексной интерпретации гравимагнитных и сейсмометрических данных для прямых поисков нефти и газа, а возможно и рудных месторождений.

Итак:

1. Обработка гравимагнитных данных методом полного нормированного градиента (Березкин).
2. Интерпретации гравимагнитных данных ПО Oasis montaj, а именно применение различных фильтров на основе быстрого преобразования Фурье.
3. Использование метода сейсмотомографии для обработки профилей КМПВ и ГСЗ.
4. Комплексная интерпретация при построении геолого-геофизической модели, используя ПО Oasis montaj

В результате, полученная методика, позволяет поставить вопрос об использовании ее для исследования всех благоприятных структур на возможную перспективность УВ территории Грузии.

Литература

1. Березкин В.М. и др. Применение геофизических методов разведки для прямых поисков месторождений нефти и газа. Москва «Недра».- 1978 г.
2. Березкин В.М. Метод полного градиента в геофизической разведке. Москва «Недра».-1988.- С.188.
3. Гамкрелидзе Н.П., Гонгадзе С.А., Гиоргобиани Т.В., Миндели П.Ш., Глonti Н.Я., Яволовская О.В. - Глубинное геологическое строение Картли-Кахети по геофизическим данным, Монография.- 2013.-149с.
4. Гамкрелидзе Н.П., Гонгадзе С.А., Миндели П.Ш., Д.К. Кириа, Яволовская О.В. - Физика земной коры Грузии. Монография.- 2012.-221с.
5. Гамкрелидзе Н.П., Гонгадзе С.А. К вопросу происхождения «красноколотских известняков» и распространения аналогичной им фации в Кахетии на глубине. საქართველოს ნაკობი და ვაზი.- 2005. №12. გვ. 79-88
6. Иобадзе Э. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Пересчет запасов нефти и газа по месторождению Самгори и подсчет запасов по участку Ниноцминда». Фонды Департамента геологии Грузии.
7. Карус Е.В., О.Н. Кузнецов, М.А. Киричек. Прямые поиски залежей нефти и газа по комплексу геофизических и геохимических методов. – В: Тр.ХХХ Международного геофизического симпозиума. «А» - геофизические работы на нефть и газ.-1988.-С. 63-72.
8. Миндели П.Ш.- Гравитационная модель литосферы Кавказа и Восточного Средиземноморья. Тбилиси, из-во. ГСҮ. -. 1999.
9. P.Mindeli, G.Jashi, T.Gvantseladze, S.Ghonghadze - A model of Earth's crust structure in the depression zone of West Georgia, Bulletin of the Georgian National Academy of Science, 173, #2, 2006.
10. Метревели В.Н. - Результаты сейсморазведочных работ метода ОГП МПВ и МПВ на площадях Гурджаани, Вашлиани и Рустави. Отчет с/п 0389, фонды Департ. Геологии 1990.

**ნახშირწყალბადების ძიებისას სეისმური ტომოგრაფიის მეთოდის გამოყენება
გტკმ და სსზ მასალების გრავიმეტრიულ და მაგნიმეტრიულ მონაცემებთან
კომპლექსში**

ღონღაძე ს., მინდელი პ., ქირია ჯ., ესაკია ა.

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია სეისმური, გრავიმეტრიული და მაგნიტომეტრიული მონაცემების გამოყენებით ნავთობგაზშემცავი სტრუქტურების ძიებაში სეისმური ტომოგრაფიის მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობები.

ჩატარებულია გეოფიზიკური მონაცემების კომპლექსური ანალიზი და დადგენილია აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის ზოგიერთ უბანზე ნავთობგაზშემცავი საბადოების შესაძლო განაწილების სურათი.

**APPLICATION OF THE SEISMIC TOMOGRAPHY METHOD ACCORDING TO
THE MATERIALS OF CORRELATION METHOD OF REFRACTED WAVES AND
DEEP SEISMIC SOUNDING TOGETHER WITH GRAVIMETRIC AND
MAGNETOMETRIC DATA FOR HYDROCARBON PROSPECTING**

Ghonghadze S., Mindeli P., Kiria J., Esakia A.

Abstract

The article surveys the possibilities of use of seismic tomography method in prospecting the structures containing oil and gas by means of seismic, gravimetric and magnetometric data.

A complex analysis of geophysical data has been carried out and an image of probable distribution of the structures containing oil and gas on some territories in Eastern Georgia has been determined.

ВЛИЯНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ НА ТЕКТОНИКУ ЗЕМЛИ ПРИ ЕЁ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕЙТРАЛЬНЫЙ СЛОЙ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ (ММП)

Хазарадзе Н. Г., Кордзадзе Л.Б., Бакрадзе Т.С., Элизбарашвили М.А., Базерашвили Е.Т.,
Квавадзе З.А., Туския И.И.

Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

Введение

Допуская, что вращение земли происходит вокруг одной свободной оси и рассматривая непривливаемые суточные вариации скачкообразного изменения периода вращения во вращающейся системе отсчёта, жестко скрепленной с Землей, можно написать: $I_1 \cdot \vec{\omega}_1 = -I_2 \vec{\omega}_2$;

Это соотношение может служить прямым указанием на то, что моменты количества движений, которые получают отдельные зоны около земного пространства, условно именуемые первой и второй зоной, будут равны и противоположно направлены. В результате получаем вращающуюся систему. суммарный момент количества движения которого не изменяется. Он всегда будет равным нулю, а следовательно, оставаться постоянным [6].

$$\Delta \vec{L} = I_1 \cdot \vec{\omega}_1 - I_2 \vec{\omega}_2 = 0 = const,$$

Таким образом, закон сохранения момента количества движения, который ранее был получен в предположении, что момент инерции I остается постоянным, как это и должно было быть для абсолютно твердого тела, получил более ёмкое содержание. Смысл нового физического содержания состоит в том, что предел действия закона расширился. Закон оказался справедливым и в том случае, когда момент инерции I меняется во время вращения [6].

Оснополагающим условием этого может служить наличие внутренней силы, которая вызывает перераспределение скоростей вращающихся частиц. В результате получается такая система, при котором вся вращающаяся масса делится на две такие части, что моменты инерции и угловые скорости полученных частей становятся разными, но суммарный момент количества движения системы как целого, всегда остаётся без изменений.

Безусловно, при этом. должно исключаться действие всяких внешних F сил, способных вызвать изменение момента относительно оси вращения. В этом можно убедиться из анализа частного случая, ниже приведённого примера.

Пусть к некоторому телу, которое может вращаться около неподвижной оси и имеет момент инерции I приложена внешняя сила F с плечом r (рис. 1).

Определим угловое ускорение $\frac{d\omega}{dt}$ приобретаемое телом под действием указанной силы.

Допустим, что за время dt тело поворачивается с угловой скоростью ω на угол $d\varphi = \omega dt$, причём точка приложения силы F описывает дугу $dl = r \cdot d\varphi$. Работа совершаемая

силой F за время dt , будет равна $F \cdot dl$, или, иначе, $F \cdot r\omega dt$. Эта работа идёт на увеличение кинетической энергии вращения тела и, следуя правилам дифференциального исчисления можно написать:

$$F r \omega dt = d\left(\frac{I \cdot \omega^2}{2}\right).$$

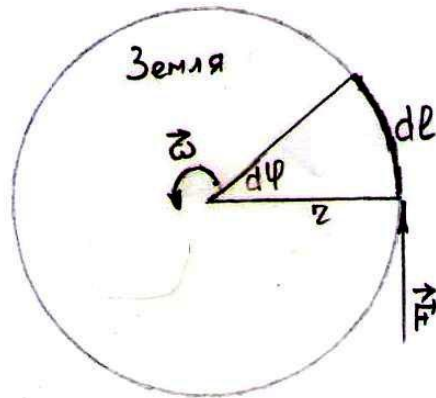


Рис. 1

При неизменности момента инерции I , нахождение дифференциала сводится к отысканию приращения функции, в роли которого выступает кинетическая энергия вращающегося тела. Сокращая на ω и вводя под знак дифференциала момент инерции I , получим:

$$F \cdot r \omega dt = I \omega d\omega$$

$$F \cdot r dt = I d\omega = d(I\omega); \quad (1)$$

Если момент внешней силы ($F \cdot r$) обозначить через M , оставляя I постоянной величиной, то уравнение (1) можно записать в виде:

$$M = I \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

Как видим, это основное уравнение динамики вращательного движения по своему начертанию аналогично основному уравнению динамики поступательного движения.

$$F = m \frac{dv}{dt},$$

если вместо силы подразумевать момент силы, вместо массы – момент инерции, а вместо линейного ускорения – угловое ускорение. Теперь обратимся к основному уравнению динамики вращательного движения (2) и рассмотрим частный случай, когда на тело либо вовсе не действуют внешние силы, либо они таковы, что их равнодействующая не даёт момента относительно оси вращения ($M = 0$). Однако, действует внутренняя сила, которая может изменить момент инерции I во время вращения. Тогда уравнение (2) можно записать в ином, обновлённом виде:

$$\frac{d(I \cdot \omega)}{dt} = 0 \quad (3)$$

В этом уравнении момент инерции I не является постоянной величиной, как это имело место в уравнении (2). В силу этого, уравнение выходит за рамки абсолютно твёрдого тела и охватывает любую сплошную среду, в пределах которой внутренняя сила может вызвать перераспределение скоростей вращающихся частиц. Для выяснения природы внутренней силы и выявления её действия на динамику вращения, рассмотрим частный случай, когда поток плазмы от вспышки на Солнце, устремляется к поверхности Земли. Раскроем, прежде всего, физический смысл произведения $(I \cdot \omega)$, входящего в уравнение (3). При вращательном движении каждая его частица с массой m описывает окружность некоторого радиуса, имея при этом некоторую скорость v . (рис.1). Произведение mv есть количество движения данной частицы. Произведение количества движения на кратчайшее расстояние r от оси вращения Земли, т.е., величина mvr называется моментом количества движения L относительно оси. Известная связь линейной скорости с угловой скоростью даёт: $v = \omega r$, вследствие чего для момента количества движения имеем:

$$mvr = m\omega r \cdot r = mr^2 \omega;$$

Взяв сумму количества движения всех частиц, составляющих вращающееся тело, получим полный момент инерции в виде: $I = \sum_i m_i r_i^2$. Перемножив эту величину на угловую скорость ω , получим произведение $I \cdot \omega$, стоящее под знаком производной уравнения (3). Уравнение (3) исключает наличие внешней силы F , но с другой стороны, допускает действие внутренней силы, способной вызвать изменение момента инерции I во время вращения, Есть ли физические основания для такого допущения?

Рассмотрим пространство, охватываемое солнечно-земной связью. После вспышки на Солнце поток солнечной плазмы устремляется к Земле. Проходя точку, где силы гравитационного притяжения со стороны Солнца и Земли становятся равными, поток покидает сферу гравитационного притяжения Солнца и «вступает» в сферу гравитационного притяжения Земли. После этого вся масса плазменного потока становится составной частью получившейся системы и начинает вращаться вместе с Землёй. Поскольку частицы плазмы стартуют с поверхности Солнца, то наряду с высокой энергией несут высокие линейные скорости, которые переносят в то место, куда они попадают. В результате происходит хорошо известный процесс, который называется процессом перераспределения скоростей. Околоземное пространство обогащается частицами с высокими линейными скоростями. В первую очередь, это касается частиц близлежащей к оси вращения зоны, которые будут вытеснены частицами с высокими скоростями в область более удаленной от оси вращения зоны, в зону I. (рис. 2).

Простой анализ уравнения (3) говорит о том, что изменение величины $(I \cdot \omega)$ равно нулю, тогда сама величина $(I \cdot \omega)$ остаётся постоянной $L = I \cdot \omega = const.$

Итак, если на тело не действуют внешние силы, или результирующий момент их относительно оси вращения равен нулю, то момент количества движения тела или системы, взаимно расположенных тел остаётся неизменным. [6].

В пространстве, охватываемом солнечно-земной связью, закон можно записать в векторном виде: $\vec{L} = [I \cdot \vec{\omega}]$ (4).

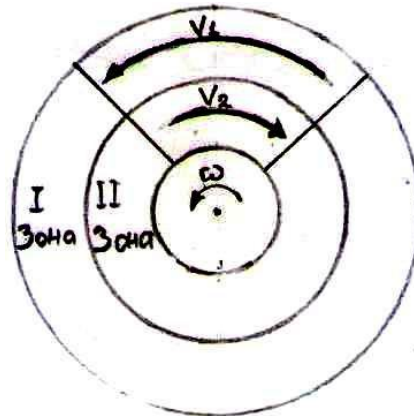


Рис. 2

где $\vec{\omega}$ - аксиальный вектор, который совпадает с осью вращения Земли и направлен в ту сторону, которая определяется правилом правого винта. Аналогичное направление, в ту же сторону оси вращения будет расположен вектор момента количества движения L . (рис. 3).

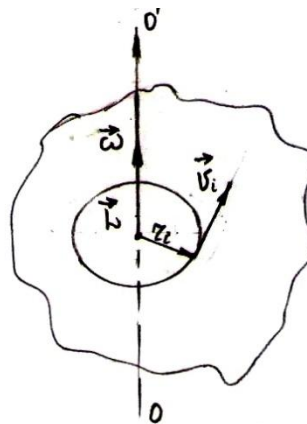


Рис. 3

Как уже было отмечено, масса приносимая потоком плазмы после вспышки на Солнце при приближении к Земле, вызывает уменьшение момента инерции I , что согласно уравнению (4) вызывает скачкообразное увеличение угловой скорости вращения ω . Скачкообразное увеличение или торможение Земли приводит к увеличению подвижности тектонических плит, на границах которых расположено подавляющее число очагов землетрясений. Поскольку плиты свободно плавают в астеносфере, происходит накопление механических сил, возникновение сейсмических волн и той «пусковой» силы, которая приводит к началу землетрясения.

Аналогичные явления развиваются и в том случае, когда Земля приближается и пересекает нейтральный слой межпланетного магнитного поля [3]. Поскольку нейтральный

слой образуется силовыми линиями Солнца, имеющими противоположные направления, то внутри слоя магнитное поле отсутствует. Но границы слоя наоборот, отличаются высокой плотностью силовых линий, несущих плазму с высокой концентрацией частиц с направленной скоростью [5]. Поэтому при пересечении нейтрального слоя период суточного вращения несколько раз меняется. Другими словами, сближение или удаление Земли от нейтрального слоя приводит к изменению момента инерции I , что в свою очередь, приводит к вариационному изменению угловой скорости ω . Это оказывает триггерное воздействие на сейсмический неустойчивый очаг, который подготовлен к землетрясению силами внутриземного характера [4].

Литература

1. N. G. Khazaradze et al. Geomagnetism and Aeronomy, Anomalous Solar-Diurnal Variations in Cosmic Rays Related to Crossing of the IMF Sector Boundaries by the Earth and the problem of Earthquakes.- 2007. V. 47, No. 3 -PP. 395-398.
2. N. G. Khazaradze, A. I. Gvelesiani, Journal of Georgian Geophysical Society, intersection of the boundaries of the heliospheric neutral layer by the Earth and problem of strong earthquakes, -2006. V. 11.- PP. 80-86.
3. N. G. Khazaradze, G. K. Vanishvili, T. S. Bakradze, L. B. Kordzadze, M. Elizbarashvili, E. T. Bazerashvili, COSMO-PHYSICAL APPROACH TO EARTHQUAKE FORECASTING, THE SECOND WORKSHOP OF EU FP7 IRSES 2011 PROJECT: COMPLEX RESEARCH OF EARTHQUAKE'S FORECASTING POSSIBILITIES, SEISMICITY AND CLIMATE CHANGE CORRELATIONS. Blackseazhnet Series. V. 2. PP.202-204.
4. N. Khazaradze, G. Vanishvili, T. Bakradze, E. Bazerashvili, L. Kordzadze, M. Elizbarashvili, SOLAR-DIURNAL VARIATIONS OF COSMIC RAYS (CR), CONNECTED WITH THE PASSAGE OF THE EARTH THROUGH THE NEUTRAL LAYER OF THE INTERPLANETARY MAGNETIC FIELDS (IMF) AND THE EARTHQUAKE PROBLEM, is submitted to 23-rd European Cosmic Rays Symposium and 32-th Russian Cosmic Rays conference, July 03-07, 2012. Moscow. Russia. ecrs_sh_193.
5. Сытинский А.Д. Геомагнетизм и Аэрономия, О планетарных атмосферных возмущениях во время сильных землетрясений. -1997. Т. 37 -С.132-137.
6. О. Савельев И.В. Курс общей физики. Москва.-1968. Москва. Т. 1. -С. 129-130.

მოძრაობის რაოდენობის მომენტის შენახვის კანონის გავლენა დედამიწის ტექტონიკაზე, როდესაც მას უხდება საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის ნეიტრალური ფენის გადაკვეთა

ხაზარაძე ნ., კორძაძე ლ., ბაქრაძე თ., ელიზბარაშვილი მ.,
ბაზერაშვილი ე., ყვავაძე ზ., თუსკია ი.

რეზიუმე

განხილულია მოძრაობის რაოდენობის მომენტის შენახვის კანონის ახალი ინტერპრეტაცია, რასაც გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ძლიერი დამანგრეველი მიწისძვრების პროგნოზირებისათვის მაგნიტუდით $M \geq 6$.

ხანგრძლივი თეორიული კვლევის და წინასწარი პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე გამოვლენილია მიღებული კანონის ქმედითუნარიანობა განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც დედამიწას უხდება საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის ნეიტრალური ფენის გადაკვეთა ან ძლიერი აალებისას მზეზე.

THE INFLUENCE OF THE LAW ON MAINTENANCE OF MOVEMENT FREQUENCY ON THE EARTH TECTONICS, WHEN THE EARTH HAS TO CROSS THE NEUTRAL PHASE OF INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD OF AT TIMES OF A STRONG SUN BLAZE UP

Khazaradze N., Kordzadze L., Bakradze T., Elizbarashvili M.,
Bazerashvili E., Kvavadze Z., Tuskia I.

Abstract

New interpretation of the law on maintenance of movement frequency has been discussed, that is vital in forecasting strong and destructive earthquakes with magnitude $M \geq 6$.

Based on long term research and practical data the validity of the adopted law has been proven, especially when the earth has to cross the neutral phase of interplanetary magnetic field of at times of a strong sun blaze up.

ЭФФЕКТ ЭКРАНИРОВАНИЯ В МЕТОДЕ КМПВ

Китовани Д.Ш.

Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

Изучение кристаллического фундамента – важная задача при разведке на нефть, газ, руды, при гидрогеологических и региональных исследованиях. При разведке на нефть и газ исследуются районы с глубоким залеганием фундамента ($H > 2\text{км}$). Перед сейсморазведкой ставятся задачи определения мощности осадочной толщи, изучения соотношения структур фундамента и осадочного чехла, выявления и трассирования тектонических нарушений. При разведке на руды и при решении гидрогеологических задач, объектом исследований является фундамент при неглубоком его залегании ($H < 500\text{м.}$). При этом изучаются физические свойства пород фундамента, выявляются контакты, тектонические нарушения, рудные тела, определяются глубины залегания кровли фундамента и его приповерхностных границ, определяется мощность зоны выветривания.

При региональных исследованиях с использованием разных методов, требуется определить глубину залегания поверхности фундамента, изучить его внутреннюю структуру.

Все сказанное свидетельствует о необходимости и важности изучения фундамента: его структуры и физических свойств в приповерхностных и внутренних частях, соотношения их с покрывающим осадочным чехлом и др.

Для изучения фундамента применяют разные сейсмические методы: отраженных волн (МОВ), общей глубинной точки (МОГТ), корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), обменных проходящих волн (МОПВ), глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ).

Наиболее детальные и точные методы МОВ и МОГТ в ряде случаев не позволяют надежно разведать фундамент из-за характера отражающей границы, соответствующей поверхности фундамента (рассеяние колебаний др.) Даже в случае надежной регистрации отраженных волн изучается только геометрия границы. МОПВ также позволяет определить только положение и рельеф границы, свойства среды не изучаются. ГСЗ позволяет изучать поверхность фундамента и скорость в нем с очень малой степенью детальности, что обусловлено использованием низких частот и малой плотностью систем раблюдений.

Методом, обеспечивающим определение поверхности фундамента и скорости распространения волн в нем, является КМПВ. Этот метод применяется для разведки фундамента и при мелком и при глубоком его залегании, но решаются не все задачи из вышеперечисленных и не всюду с достаточной точностью.

Одной из главных причин недостаточной точности данных КМПВ по фундаменту – недостаточная разработанность физических основ метода применительно к задаче разведки фундамента, особенно для таких сред, которые характеризуются сложным строением.

Задача данной статьи заключается в том, чтобы на примере некоторых теоретических моделей показать как сильные, так и слабые стороны метода КМПВ.

Модель 1.(вертикальная ступень)

Допустим имеется двухслойная среда с постоянными скоростями в слоях. Будем считать , что слои толстые , соблюдаются законы геометрической сейсмоки и выполняется условие $V_2 > V_1$, где V_1 и V_2 соответственно скорости распространения продольных волн в первом и во втором слоях($V_1 = 4,0$ км./с, $V_2 = 6,0$ км/с). Допустим также, что в разделяющей границе этих слоев имеется вертикальная ступень, а крылья – плоские и горизонтальные. Уравнения годографов тех волн, которые будут регистрироваться в первых вступлениях, будут иметь вид:

$$t(OABx) = 2H/V_1 \cos i + x_1/V_2 \quad 2H \operatorname{tgi} \leq x_j \leq x_{BC} + H \operatorname{tgi}$$

$$t(OA_1CDx) = x_j - x_{BC}/V_2 + H/V_1 \cos \alpha + h/V_2 \cos \beta + (H+h) \cos i / V_1$$

$$x_j \geq x_{BC} + (H+h) \operatorname{tgi}$$

$$t_{\text{диф}}(OABX_j) = x_{BC}/V_2 + H \cos i / V_1 + \sqrt{H^2 + (x_j - x_{BC})^2}$$

$$t(O_1DFx_j) = x_j / V_2 + 2(H+h) \cos i / V_1 \quad 2(H+h) \operatorname{tgi} \leq x_j \leq x_{BC} + H \operatorname{tgi}$$

$$t(O_1DCKx_j) = x_{BC}/V_2 + (H+h) \cos i / V_1 + h/V_2 \cos \delta + h/V_1 \cos \gamma$$

$$x_j = x_{BC} + h \operatorname{tg} \delta + H \operatorname{tg} \gamma \quad \sin \gamma = n \sin \delta$$

Где h – амплитуда ступени ($h = 1$ км), H – глубина залегания нижнего слоя над поднятым крылом ступени ($H = 2$ км), x_j – текущая координата, n – показатель преломления (остальные обозначения см. Рис. 1).

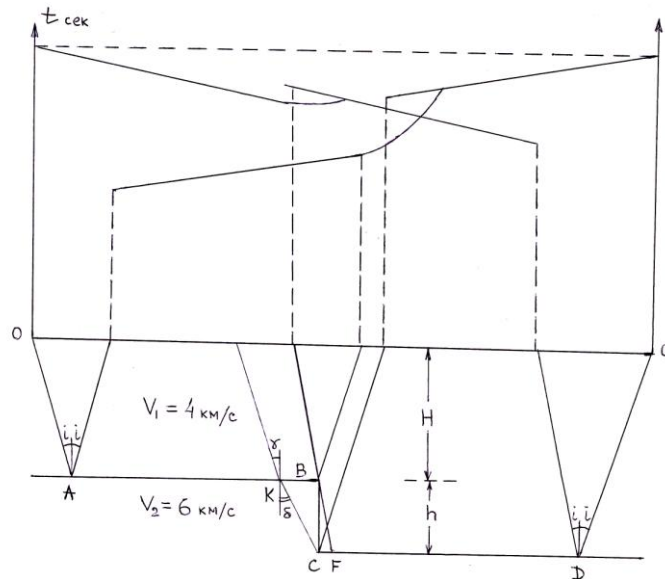


Рис. 1

Если с помощью этих уравнений построить годографы первых вступлений, то получим следующую картину (рис.1).

График интервальных граничных скоростей $\langle V_{г, \text{инт}} \rangle$ построенный с помощью метода полей времен [1], дает картину (рис.2), интерпретация которой не представляет трудности. Как видим из этого графика, над поднятым крылом вертикальной ступени имеется максимум (MAX), а над опущенным крылом минимум (MIN) в значениях интервальных граничных скоростей. Прямой годограф ($t_{пр}$) состоит из трех отрезков: первый отрезок, как и третий, соответствует головной волне с граничной скоростью $V_2 = 6,0$ км/с. Второй отрезок соответствует годографу дифрагированной волны от края вертикального сброса. Этот отрезок располагается над опущенным крылом ступени и характеризуется кажущейся скоростью $V_{\text{дифр}} < V_2$. Поэтому над опущенным крылом вертикальной ступени имеем минимум в значениях интервальных граничных скоростей.

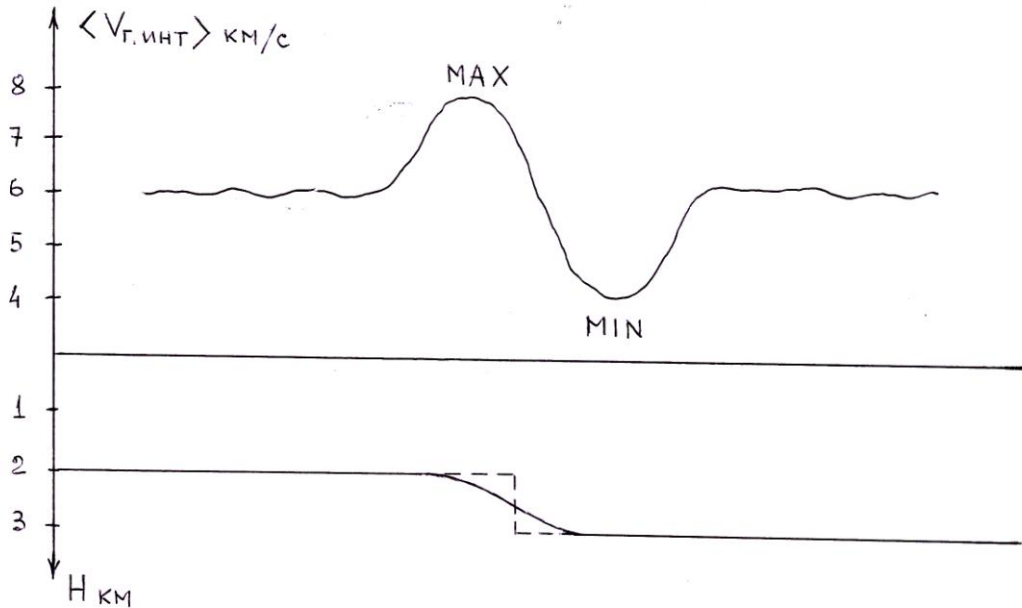


Рис. 2

Что касается обратного годографа ($t_{обр}$), то он состоит из двух отрезков. Первый отрезок соответствует головной волне с граничной скоростью $V_2 = 6,0$ км/с. Второй отрезок, это годограф дифрагированно-проходящей волны, которая отличается переменной кажущейся скоростью. Над поднятым крылом $V^* = \infty$ (фронт волны параллелен дневной поверхности), а потом, по мере удаления от вертикальной ступени, быстро уменьшается и к концу профиля $V^* \approx V_2 = 6,0$ км/с. Итак, можно сделать следующие выводы:

1. КМПВ дает возможность с достаточно большой точностью и детальностью определить как граничную скорость исследуемого горизонта, так и глубину его залегания.
2. С помощью этого метода можно выделять различные тектонические нарушения в исследуемой границе, т.е. дает возможность определять геометрию границы.

Модель 2. (Тонкий слой с повышенной скоростью)

Допустим имеется та же самая двухслойная среда, что и в первой модели с теми же параметрами. В первый, т.е. в верхний слой, включим тонкий слой, скорость распространения продольной волны в котором отличается повышенным значением ($V_3 = 5,5$ км/с). По существу мы получили четырехслойную среду. В первом и третьем слоях скорость волны равняется $V_3 = 5,5$ км/с, а в четвертом исследуемом слое скорость распространения волны $V_2 = 6,0$ км/с.

Определение «тонкий» означает, что мощность слоя $\Delta h < \lambda/2$ где λ длина той волны, регистрация которой производится во время полевых работ с помощью метода КМПВ. Для конкретности примем, что $h = 200$ м.

В том случае, когда в среде с горизонтальными границами имеется тонкий слой, в котором скорость распространения волны отличается повышенным значением, чем в соседнем нижнем слое, экранирование нижележащих слоев не происходит, так как волна как бы не «замечает» такую преграду и «перепрыгивает» ее.

Ситуация существенно меняется, когда преломляющая граница под тонким слоем не плоская, а содержит какое-нибудь тектоническое нарушение.

Уравнения годографа головных волн, которые должны регистрироваться в первых вступлениях, будут иметь следующий вид:

$$t_{1,пр} = H - \Delta h / V_1 \cos i + \Delta h / V_3 \cos \alpha + \{x_{BC} - [(H - \Delta h) \operatorname{tgi} + \Delta h \operatorname{tg} \alpha]\} / V_2 \quad (1)$$

$$t_{2,пр} = H - \Delta h / V_1 \cos \varphi + \Delta h / V_3 \cos \theta + h / v_2 \cos \psi + H - h - \Delta h / V_1 \cos i + \Delta h / V_1 \cos \alpha +$$

$$+ \{ 2X_{BC} - [(H - \Delta h) \operatorname{tg} \varphi + \Delta h \operatorname{tg} \theta + (H + h - \Delta h) \operatorname{tg} i + \Delta h \operatorname{tg} \alpha] \} / V_2 \quad (2)$$

$$t_{1,обр} = 2(H + h - \Delta h) / V_1 \cos i + 2 \Delta h / V_3 \cos \alpha + \{ X_{BC} - [(H + 2h - \Delta h) \operatorname{tg} i + \Delta h \operatorname{tg} \alpha] \} / V_2 \quad (3)$$

$$t_{2,обр} = (H + h - \Delta h) / V_1 \cos i + \Delta h / V_2 \cos \alpha + \{ X_{BC} - [(H + h - \Delta h) \operatorname{tg} i - \Delta h \operatorname{tg} \alpha] \} / V_2 +$$

$$+ h / v_2 \cos \delta + (H - \Delta h) / V_1 \cos \beta + \Delta h / V_3 \cos \gamma \quad (4)$$

$t_{1,пр}$, $t_{2,пр}$ и $t_{1,обр}$ представляют уравнения годографов головных волн, и поэтому они характеризуются постоянной кажущейся скоростью, а так как преломляющая граница горизонтальная, то $V^* = V_r = \text{const}$ (в нашем случае $V_r = V_2 = 6,0$ км/с).

$t_{2,обр}$ - представляет собой уравнение годографа проникающей волны через поднятый край ступени. Кажущаяся скорость этой волны над ступенью равна бесконечности (фронт волны в этом месте параллелен дневной поверхности), а потом быстро уменьшается, и к концу профиля его значение становится равным граничной скорости $V^* = V_2$. Криволинейный отрезок в годографе обратной волны, который характеризуется повышенной кажущейся скоростью, отвечает за максимум в графике граничных интервальных скоростей над поднятым крылом вертикальной ступени (рис. 3).

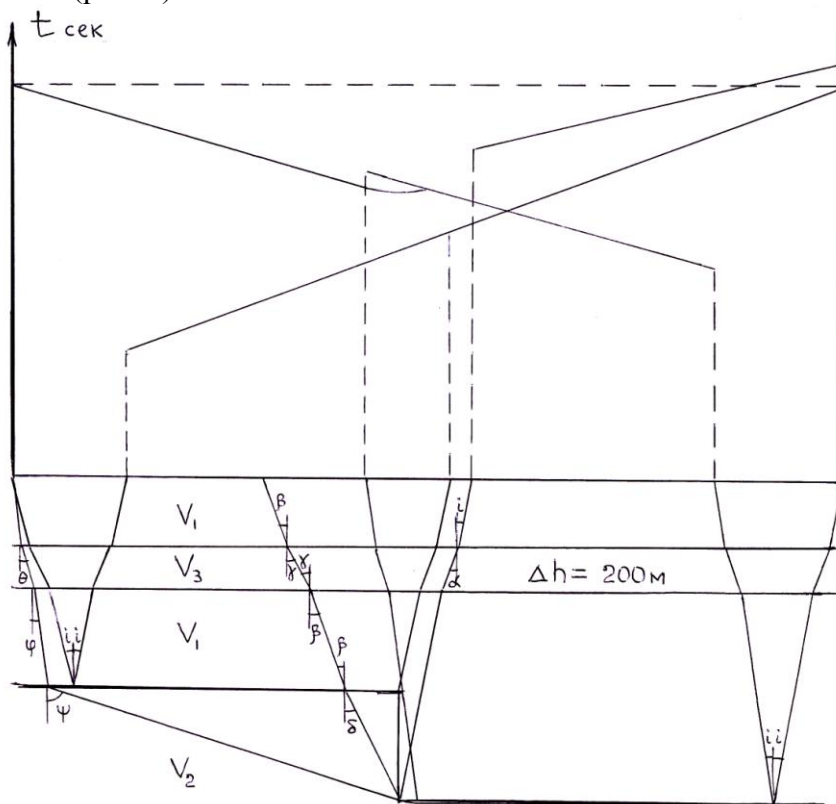


Рис. 3

Как известно, на верхней точке вертикального сброса возникает дифрагированная волна (волна такого же характера возникает и на нижней точке вертикальной ступени, но так как эта волна не участвует в формировании годографов первых вступлений, то мы ее не будем рассматривать), у которой кажущаяся скорость меньше, чем у головной волны. Поэтому в обычных условиях над опущенным крылом вертикального сброса появляется минимум на графике граничных интервальных скоростей.

В нашем случае картина существенно образом меняется из-за наличия тонкого слоя, в котором скорость распространения волны отличается повышенным значением ($V_3 = 5,5$ км/с).

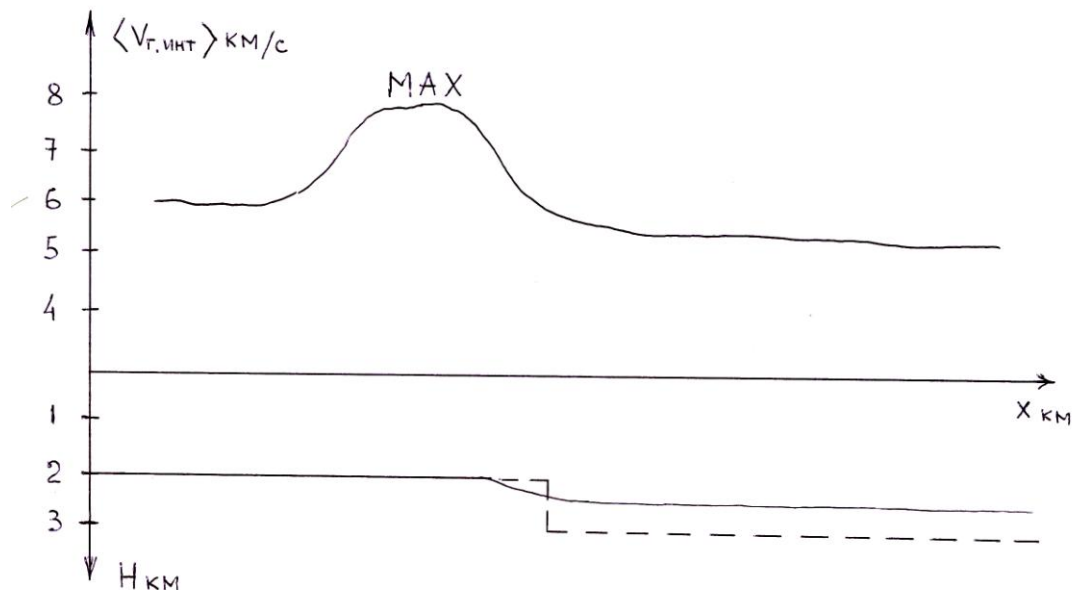


Рис. 4

Уравнение годографа дифрагированной волны, которая возникает на верхней точке вертикального сброса и после этого просвечивает верхние слои (в том числе и тонкий слой), имеет следующий вид:

$$t_{дифр} = H - \frac{\Delta h}{V_1 \cos i} + 2 \frac{\Delta h}{V_3 \cos \alpha} + \frac{(H - \Delta h)}{V_1 \cos \mu} + \frac{\Delta h}{V_3 \cos \nu} + \{x_{вс} - ((H - \Delta h) \operatorname{tg} i + \Delta h \operatorname{tg} \alpha) / V_2 \quad (5)$$

Если с помощью уравнений (1)-(5) построим годографы, то увидим, что волна $t_{пр,дифр}$ на всем протяжении профиля наблюдается в первых вступлениях и экранирует головную волну $t_{2,пр}$ (рис.3). В результате этого на графике граничных интервальных скоростей будет отсутствовать минимум (рис.2). Кроме того, определение глубины залегания опущенного крыла вертикального сброса приводит к существенным ошибкам (рис.4).

Все вышесказанное имеет большое практическое значение, так как при изучении кристаллического фундамента в тех районах, где в покрывающей толще предполагается наличие тонкого слоя, в котором скорость распространения волны отличается повышенным значением, чем в соседнем нижнем слое, то при наличии различных тектонических нарушений происходит, как было показано выше, эффект экранирования, что приводит к существенным ошибкам во время построения поверхности кристаллического фундамента.

Литература

1. Гамбурцев Г.А., Епинатьева А.М. и др. Корреляционный метод преломленных волн. М., Академиздат, 1952.
2. Епинатьева А.М., Невский М.В. Граничная скорость. - Географический сборник АН УССР, Вып.5. Киев, Наукова Думка. С.3-14.

ეკრანირების ეფექტი გტკ მეთოდის დროს

კიტოვანი დ.

რეზიუმე

სტატიაში ნაჩვენებია, რომ თუ გარდამტეხი საზღვრის ზემოთ, რომელიც შეიცავს ტექტონიკურ საფეხურს, არსებობს თხელი ფენა, რომელშიც დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარე მომატებულია, ადგილი აქვს ქვემოთ მდებარე ფენის ეკრანირებას, რაც იწვევს მნიშვნელოვან ცდომილებას გარდამტეხი საზღვრის ჩაწოლის სიღრმის განსაზღვრის დროს.

SHIELDING EFFECT IN THE METHOD OF REFRACTION WAVES

Kitovani D.

Abstract

The article shows that if above the refractive border which contains tectonic step, the thin layer exists where the speed of resilient waves is increased, lower layer is screening, what causes the error during the determination of the depth of the refractive border.

ГЕНЕРАЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНОГО ЗОНАЛЬНОГО ТЕЧЕНИЯ ЗАМАГНИЧЕННЫМИ ВОЛНАМИ РОССИИ В ДИССИПАТИВНОЙ ИОНОСФЕРЕ, УПРАВЛЯЕМОЙ ФОНОВЫМ СДВИГОВЫМ ТЕЧЕНИЕМ (ВЕТРОМ)

^{1,2}Абурджания Г.Д., ²Харшиладзе О.А., ^{1,2}Чаргазия Х.З.

¹*Институт прикладной математики им. И.Векуа Тбилисского государственного университета
им И. Джавахишвили*

²*Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили*

Работа посвящена проблеме теоретического описания генерации зонального течения в турбулентной ионосфере, управляемой фоновым неоднородным ветром. Получено обобщенное уравнение типа Чарны-Обухова, описывающее нелинейное взаимодействие пяти разномасштабных мод: первичного, относительно коротковолнового ультранизкочастотного (УНЧ) замагниченного волны Россби (ЗВР) (волны накачки), двух сателлитов ЗВР, длинноволновой зональной моды и крупномасштабного фонового сдвигового течения (неоднородного ветра). Исследована роль нелинейных (скалярных, векторных) эффектов в формировании крупномасштабных зональных течений замагниченными волнами Россби конечной амплитуды в диссипативной ионосфере. Использован модифицированный параметрический подход. На основе теоретического анализа соответствующей системы уравнений для амплитуд возмущений (обобщенной задачи на собственное значение) выявлены новые особенности перекачки энергии относительно мелкомасштабных УНЧ ЗВР и фонового сдвигового течения в энергию крупномасштабных зональных течений и нелинейной самоорганизации пяти волновой коллективной активности в ионосферной среде. Генерация зонального течения обусловлена напряжением Рейнольдса замагниченной волны Россби конечной амплитуды и воздействием фонового сдвигового течения.

1. ВВЕДЕНИЕ

В ионосферной среде, в отличие от низких слоев атмосферы, при изучении динамики крупномасштабных планетарных процессов необходимо учитывать неоднородность, нестационарность ветрового процесса, турбулентное состояние нижней ионосферы и влияние неоднородных электромагнитных сил. Эти факторы, которые из-за малой плотности среды в ионосфере и сравнительно большой проводимости ионосферного газа особенно сильно выражены и могут вызвать значительные отклонения действительного ветра (обычной планетарной волны Россби) от геострофического. Следовательно, общая циркуляция в ионосфере должна иметь специфические особенности, отсутствующие в условиях тропосферы.

Действие геомагнитного поля приводит, с одной стороны, к индукционному затуханию планетарных волн типа Россби, связанных с педерсеновской или поперечной (по отношению к магнитному полю) проводимостью, а с другой – к гигроскопическому эффекту, обусловленному холловской проводимостью ионосферы и действующему на возмущения подобно силе Кориолиса. В результате совместного действия пространственно-неоднородных кориолисовой и электродинамической (связанной с геомагнитным полем) сил в ионосфере может существовать новый тип волн, физически отличающийся от обычной волны Россби, который можно назвать замагниченными волнами Россби (ЗВР) или волнами типа Россби [1,2].

Результаты многолетних наблюдений [3-5] показывают, что в атмосферно-ионосферных слоях постоянно присутствуют фоновые пространственно-неоднородные зональные ветры – сдвиговые течения – обусловленные неравномерным нагревом атмосферных слоев солнечной радиацией. В связи с этим, актуальным становится задача особенности динамики эволюции обычной и замагниченной волн Россби в разных слоях атмосферы при их взаимодействии с фоновым неоднородным зональным ветром (сдвиговым течением) [6].

Интерес к сдвиговым течениям вообще обусловлен их повсеместной реализацией как в околоземном пространстве (как уже отмечалось выше) и астрофизических объектах (в галактиках, звездах, струйных выбросах, мировом океане и т.д.), так и в лабораторных и технических устройствах (нефтепроводах, газопроводах, в плазменных магнитных ловушках, магнитогидродинамических генераторах и т.д.). Сдвиг скорости в течениях является мощным источником разнообразных энергоёмких процессов в сплошной среде.

Циркуляция земной атмосферы и океана, усредненная по большим пространственным масштабам, характеризуется синоптическими волновыми структурами типа Россби (антициклонов, циклонов и др.), а также тесно связанными с ними крупномасштабными, аксиально-симметричными зональными ветрами. Характерные масштабы синоптического движения ($10^2 - 10^4$ km) существенно превышают высоту атмосферы. Это дает возможность описывать синоптические движения как волны в приближении β -плоскости. Частотный диапазон планетарных волн типа замагниченной Россби ($10^{-5} - 10^{-3}$) s⁻¹ охватывает ультранизкочастотный (УНЧ) регион возмущений. УНЧ планетарные волновые структуры дрейфуют в разных слоях атмосферы со скоростью порядка ($1 - 10^2$) m s⁻¹. Среди них особое внимание следует уделять возмущениям типа Россби, распространяющимся вдоль параллели на фиксированных широтах [2, 7].

УНЧ планетарные волны играют существенные роли в процессе общей циркуляции и переноса энергии в атмосфере, ионосфере, океана [3,4,8]. В последнее время уделяется все возрастающее внимание исследованию генерации крупномасштабных зональных структур, оказывающих большое влияние на процессы переноса в атмосфере [9], замагниченной плазме [10], в ряде астрофизических объектов [11]. Возбуждение анизотропных крупномасштабных структур, таких как конвективные ячейки, зональные течения, стриммеры и струйные течения относительно мелкомасштабной турбулентности интенсивно исследуются как в лабораторной плазме [10, 12-15], так и в геофизических и астрофизических течениях [11,16-18].

Известно, что при присутствии в среде фонового сдвигового течения происходит усиление/генерация волновых возмущений разных масштабов, и в их динамике существенную роль начинают играть нелинейные эффекты [19-21]. А нелинейное взаимодействие волн разных масштабов между собой и со средой может генерировать разнообразные нелинейные структуры, в том числе относительно крупномасштабные зональные течения [10,17, 22].

По-видимому, идея о генерации крупномасштабного зонального течения тропосферной волной Россби на базе кинетического уравнения для волновых пакетов исходит из работы [23]. Теория генерации зонального течения волнами Россби далее были развиты в работах [14, 24], используя параметрический формализм на основе трехволнового нелинейного взаимодействия.

Необходимо различать зональное течение от фонового сдвигового течения, генерируемого внешними источниками в ионосфере. Этот последний возникает и сохраняется в среде даже при отсутствии турбулентного движения (солнечным нагревом, магнитным штормом и др.), тогда как зональное течение генерируется и управляется лишь процессами нелинейного волнового взаимодействия (из-за модуляционной неустойчивости) [10,15, 22]. В отличие от статического фонового течения, зональное течение имеет более сложную, возможно случайную пространственную структуру. Для ясности заметим, что характерные размеры зонального течения L_{ZF} , фонового сдвигового течения L_{MF} и начальной волны накачки L_{PW} удовлетворяют соотношению – $L_{MF} \gg L_{ZF} \gg L_{PW}$, где $L_{PW} \approx k^{-1}$ характерная длина, а k волновое число волны накачки-ЗВР.

В естественных условиях в ионосферной среде одновременно могут присутствовать как относительно мелкомасштабные распространяющиеся ЗВР, крупномасштабные зональные течения и более крупномасштабные фоновые сдвиговые течения, которые могут вступить в сложные нелинейные взаимодействия между собой и со средой. В связи с этим, актуальным становится задача исследования особенностей коллективной активности в такой динамической системе–иерархического взаимодействия разномасштабных возмущений. В данной работе исследуется влияние фонового сдвигового течения на генерацию крупномасштабного зонального течения модуляционно неустойчивого замагниченного волной Россби в диссипативной ионосфере.

Соответственно, целью настоящей работы является теоретическое исследование особенностей генерации, интенсификации и самоорганизации УНЧ планетарных замагниченных волновых структур типа Россби в виде крупномасштабных зональных течений в разных атмосферно-ионосферных слоях, обусловленных присутствием фоновых зональных неоднородных ветров (сдвиговых течений). В разделе 2 разъясняется модель среды и приводятся основные гидродинамические уравнения для нижней ионосферы. В разд. 3 выводится модельное динамическое нелинейное уравнение типа обобщенного уравнения Чарни-Обухова, описывающее взаимодействие планетарных замагниченных волн типа Россби с фоновым сдвиговым течением для D, E, F-регионов диссипативной ионосферы. Используя прямой метод временного и пространственного разделения относительно мелкомасштабного турбулентного колебания ЗВР и крупномасштабного зонального и сдвигового течений на базе полученных динамических уравнений в разд. 4 выводятся уравнения для взаимосвязанных мелко и крупномасштабных возмущений и строится задача на собственное значение для генерируемой зональной моды. В разд. 5 анализируются особенности параметрической-модуляционной неустойчивости зонального течения. Обсуждения полученных результатов проводятся в разделе 6.

2. МОДЕЛЬ СРЕДЫ И ИСХОДНЫЕ УРАВНЕНИЯ

В данной работе нас будут интересовать, в основном, крупномасштабные (планетарные) волновые движения в ионосферной среде (состоящей из электронов, ионов и нейтральных частиц), имеющие горизонтальный пространственный масштаб L_h порядка 10^3 км и выше, вертикальный масштаб L_v порядка шкалы высот H_0 ($L_v \approx H_0$) и временный масштаб τ порядка полусуток и выше. Именно такие движения связаны с глобальными распределениями структуры ионосферы и ее крупномасштабными вариациями – суточными, сезонными, 27- дневными и т.д. Согласно экспериментальным данным [3-6] в ионосферных крупномасштабных движениях

отношение характерной вертикальной скорости V_v к горизонтальной V_h мало: $V_v/V_h \leq L_v/L_h < 10^{-2}$. Из этого соотношения следует, что крупномасштабные движения в ионосфере в основном являются квазигоризонтальными. Причем, динамические свойства такой среды и движения определяются нейтральной компонентой, поскольку выполняется условие $N_{e,i}/N_n \ll 1$ (где N_e, N_i, N_n - концентрация электронов, ионов и нейтральной компоненты соответственно). Присутствие же заряженных частиц обуславливает электропроводность рассматриваемой среды.

Из теоретически возможных ионосферных крупномасштабных волновых движений мы выделим класс возмущений, для которых эффективное магнитное число Рейнольдса $R_{эфф} \approx 4\pi\sigma_{эфф}V \cdot L \cdot c^{-2} \ll 1$ (где $\sigma_{эфф}$ есть эффективное значение проводимости для ионосферы, c – скорость света, V и L – характерные размеры скорости и возмущений соответственно), что достаточно хорошо выполняется почти вплоть до F- слоя ионосферы [5, 25]. Вследствие этого, для нижней ионосферы, можно пренебречь индуцированным магнитным полем $b \approx R_{эфф}B$ и возникающим при изменении \mathbf{b} вихревым электрическим полем $E_v \sim R_{эфф}(VB)$. Следовательно, для рассматриваемого класса волновых возмущений магнитное поле можно считать заданным и равным внешнему, пространственно-неоднородному геомагнитному полю \mathbf{B}_0 ($\mathbf{B} = \mathbf{b} + \mathbf{B}_0 \approx \mathbf{B}_0, \mathbf{E}_v \rightarrow 0$). Оно удовлетворяет уравнениям $\text{div}\mathbf{B}_0 = 0, \text{rot}\mathbf{B}_0 = 0$. В подобном безиндукционном приближении достаточно рассматривать лишь возникающие в среде токи \mathbf{j} , пренебрегая создаваемым ими магнитным полем. При этом, действие геомагнитного поля \mathbf{B}_0 на индукционный ток \mathbf{j} в ионосферной плазме приводит к необходимости учитывать пондермоторную силу $[\mathbf{j} \times \mathbf{B}_0]$ в известных уравнениях динамики ионосферы (помимо сил: давления, Кориолиса и вязкого трения). Наличие этой силы не только модифицирует геострофический ветер (из-за холловских токов), но и вызывает отклонение ветра от геострофического вследствие появления индукционного торможения (из-за педерсеновских токов) в ионосфере Земли, более значительного, чем вязкое торможение, особенно, в F- области [25, 26].

Крупномасштабные возмущения типа Россби в ионосфере, казалось бы, должны описываться на базе уравнений мелкой воды. Однако, при использовании уравнений мелкой воды для атмосферных длинноволновых процессов, атмосфера обычно предполагается баротропной. В действительности, как видно из синоптических карт, это предположение выполняется не всегда. В работе [19] показано, что система уравнений мелкой атмосферы должна учитывать сжимаемость среды.

Исходя из вышесказанного, основные свойства планетарной волны типа Россби в ионосфере целесообразно рассматривать, взяв в качестве исходных уравнение для горизонтальной скорости среды $\mathbf{V}(V_x, V_y)$, в котором принято, что ускорение определяется градиентом давления, силами Кориолиса, объемным электродинамическим и вязким трениями [3, 4, 25]

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \nabla) \mathbf{V} = -\frac{\nabla P}{\rho} - 2 \left[\boldsymbol{\Omega}_0 \times \mathbf{V} \right] + \frac{1}{\rho} \left[\mathbf{j} \times \mathbf{B}_0 \right] + \nu \Delta \mathbf{V}, \quad (1)$$

уравнение неразрывности [19]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{V} \nabla) \rho + \rho \gamma^{-1} \text{div} \mathbf{V} = 0, \quad (2)$$

и уравнение состояния

$$\frac{\partial P}{\partial t} + (\mathbf{V}\nabla)P + P\text{div}\mathbf{V} = 0. \quad (3)$$

Здесь P и $\rho = N_n M$ - давление и плотность среды, M - масса иона или нейтральной частицы (молекулы), \mathbf{g} - ускорение силы тяжести, γ - показатель адиабаты, ν - кинематическая вязкость, $\Delta = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2$ - горизонтальный лапласиан. Пондермоторная сила $[\mathbf{j} \times \mathbf{B}_0]$ в значительной степени определяет специфику ионосферных движений [1, 2, 7]. Плотность индукционного тока \mathbf{j} определяется из обобщенного закона Ома для ионосферы [26]:

$$\mathbf{j} = \sigma_{\parallel} \mathbf{E}_{d\parallel} + \sigma_{\perp} \mathbf{E}_{d\perp} + \frac{\sigma_H}{B_0} [\mathbf{B}_0 \times \mathbf{E}_d], \quad (4) \text{ где}$$

параллельная проводимость (в направлении магнитного поля \mathbf{B}_0) σ_{\parallel} , педерсеновская или поперечная проводимость (поперек \mathbf{B}_0) σ_{\perp} и проводимость Холла σ_H определяются следующими выражениями

$$\begin{aligned} \sigma_{\parallel} &= e^2 N \left(\frac{1}{m \nu_e} + \frac{1}{M \nu_{in}} \right), \\ \sigma_{\perp} &= e^2 N \left\{ \frac{\nu_e}{m(\nu_e^2 + \omega_{Be}^2)} + \frac{\nu_{in}}{M(\nu_{in}^2 + \omega_{Bi}^2)} \right\} \\ \sigma_H &= e^2 N \left\{ \frac{\omega_{Be}}{m(\nu_e^2 + \omega_{Be}^2)} - \frac{\omega_{Bi}}{M(\nu_{in}^2 + \omega_{Bi}^2)} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

e , m , $\nu_e = \nu_{ei} + \nu_{en}$, $\omega_{Be} = eB_0/m$ - заряд, масса, частота столкновений электронов с ионами и нейтральными молекулами и циклотронная частота электронов, ν_{in} и $\omega_{Bi} = eB_0/M$ соответствующие значения для ионов. Считая ионосферу с высокой степенью точности квазинейтральной, мы пренебрегли электростатической ($\mathbf{E}_e = -\nabla\Phi$, Φ - электростатический потенциал) и вихревой \mathbf{E}_v частями электрического поля. Таким образом, в ур. (2.4) напряженность электрического поля при учете движения среды определяется только лишь динамо-полем [25, 26]

$$\mathbf{E}_d = [\mathbf{V} \times \mathbf{B}_0]. \quad (6)$$

Поскольку, длина планетарных волн сравнима с радиусом Земли R , мы исследуем такие движения в приближении β -плоскости, специально разработанных для анализа, крупномасштабных процессов [3, 4], в „стандартной” системе координат [27,28]. В этой системе ось x направлена вдоль параллели на восток, ось y - вдоль меридиана на север, а ось z - вертикально вверх (локальная декартова система координат). При этом дифференциалы dx , dy , dz связаны с параметрами сферической системы координат λ , θ , r следующими приближенными формулами: $dx = R \sin \theta d\lambda$, $dy = -R d\theta$, $dz = dr$. Скорости соответственно равны $V_x = V_{\lambda}$, $V_y = -V_{\theta}$, $V_z = V_r$. Здесь $\theta = \pi/2 - \phi$ - коширота, ϕ - географическая широта, λ - долгота, r отсчитывается из центра вдоль радиуса Земли. В дальнейшем примем $V_z = 0$ (по отмеченным выше причинам) и геомагнитное поле дипольным $\mathbf{B}_0 (B_{0x}, B_{0y}, B_{0z})$, которое в выбранной системе координат имеет следующие компоненты [25]

$$B_{0x} = 0, \quad B_{0y} = -B_e \sin \theta', \quad B_{0z} = -2B_e \cos \theta', \quad (7)$$

где $B_e \approx 3,5 \times 10^{-5}$ Тесла (Тл) – значение индукции геомагнитного поля на экваторе. При этом, полная индукция геомагнитного поля $B_0 = B_e (1 + 3 \cos^2 \theta')^{1/2}$ и $\theta' = \pi/2 - \phi'$, ϕ' – геомагнитная широта. В этой же системе координат для компонент вектора угловой скорости вращения Земли $\Omega_0(\Omega_{0x}, \Omega_{0y}, \Omega_{0z})$ можно записать

$$\Omega_{0x} = 0, \quad \Omega_{0y} = \Omega_0 \sin \theta, \quad \Omega_{0z} = \Omega_0 \cos \theta. \quad (8)$$

Далее предполагается, что географические ϕ и геомагнитные ϕ' широты совпадают ($\phi = \phi', \theta = \theta'$) и возмущения располагаются возле широты $\phi_0 = \pi/2 - \theta_0$.

Замкнутая система уравнений (1) – (8) описывает линейную и нелинейную динамику планетарных волн типа Россби, помимо других ветвей, при их взаимодействии с неоднородным (сдвиговым) зональным течением и геомагнитным полем в сжимаемой диссипативной ионосфере.

3. МОДЕЛЬНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ ЗАМАГНИЧЕННОЙ ВОЛНЫ РОССБИ

Для изучения взаимодействия волн типа Россби с локальным неоднородным зональным ветром, крупномасштабным зональным течением и неоднородным геомагнитным полем, используем систему уравнений (1)–(8), выделив скорость фонового плоского зонального сдвигового течения (ветра) $\mathbf{V}_0(y)$: $\mathbf{V} = \mathbf{V}_0(y) + \mathbf{V}'(x, y, t)$, $\rho = \rho_0 + \rho'(x, y)$, $P = P_0 + P'(x, y)$; где величины со штрихом являются возмущенными, а средние (фоновые) значения обозначены индексом нуль (для простоты, далее штрих у возмущенных величин опускаем). Здесь $\mathbf{V}_0(V_{0x}, 0, 0)$ – является скоростью фонового зонального ветра и для горизонтального сдвигового течения дается в виде:

$$\mathbf{V}_0(y) = V_0(y) \mathbf{e}_x \quad (9)$$

где $V_0(y)$ – пространственно-неоднородная скорость фонового сдвигового течения, которая пока не фиксируется, \mathbf{e}_x – единичный вектор, направленный вдоль оси x . ьтол

Для анализа эволюции волновых возмущений типа Россби необходимо на базе уравнений (1)-(3) построить самосогласованно-упрощенное нелинейное динамическое уравнение.

Итак, рассматриваем ветвь УНЧ возмущений, частоты которых ω много меньше частоты Кориолиса Ω_0 , ($\omega \ll \Omega_0$). При этом, уравнения (1)-(3) можно упростить. Для этого воспользуемся т.н. геострофическим приближением, т.е. разложением по степеням ω/Ω_0 . В этом приближении, с помощью уравнения (1) представляем горизонтальную скорость $\mathbf{V}(V_x, V_y)$ в виде:

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_0 + \mathbf{V}^{(1)} + \mathbf{V}^{(0)} + \mathbf{V}^\sigma + \mathbf{V}^\nu + \mathbf{V}^I, \quad (10)$$

где

$$\mathbf{V}^{(1)} = \frac{1}{\rho \Omega} [\mathbf{e}_z \times \nabla P], \quad \bar{\Omega} = 2\Omega_{0z} + b_{Hz}; \quad b_{Hz} = \frac{\sigma_H B_0 B_{0z}}{\rho_0 c^2}; \quad (11)$$

$$\mathbf{V}^{(0)} = \frac{1}{2\rho_0 \Omega_{0z} \Omega} (-V_0 \nabla(\nabla \frac{\partial P}{\partial x}) + V_0' \frac{\partial P}{\partial x} \mathbf{e}_y), \quad V_0' = \frac{dV_0}{dy}; \quad (12)$$

$$\mathbf{V}^\sigma = -\frac{\sigma_\perp}{2\rho_0 c^2 \Omega_{0z}} \left(\frac{B_0^2}{\rho_0 \Omega} \nabla P + B_0^2 V_y^{(1)} \mathbf{e}_x \right); \quad (13)$$

$$\mathbf{V}^\nu = \frac{\nu}{2\rho_0 \Omega_{0z} \Omega} \nabla(\Delta P); \quad (14)$$

$$\mathbf{V}^I = -\frac{I}{2\rho_0 \Omega_{0z} \Omega} \left\{ \frac{\partial}{\partial t} + \frac{I}{\rho_0 \Omega} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} - \frac{\partial P}{\partial y} \frac{\partial}{\partial x} \right) \right\} \nabla P; \quad (15)$$

Здесь $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ обозначают единичные векторы вдоль осей x, y, z , соответственно. Из второй формулы (11) видно, что присутствие геомагнитного поля приводит к изменению характерной частоты вращения частиц $\Omega_{0z} \rightarrow \Omega_{0z} + b_{Hz}$, т.е. к изменению гироскопического свойства среды, обусловленной холловской проводимостью. Сила, связанная с холловскими токами действует на движение подобно силе Кориолиса.

Для простоты, далее мы будем предполагать, что $\gamma \rightarrow \infty$ и $\rho = const$ (т.е. для рассматриваемых крупномасштабных возмущений среду считаем несжимаемой). Тогда подставляя (10)-(15) в уравнение состояния среды (3), получаем нелинейное уравнение, описывающее динамику замагниченной волновой структуры типа Россби в ионосфере:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial}{\partial \tau} + V_0(y) \frac{\partial}{\partial x} \right) (P - \Delta P) + (V_R + V_0'') \frac{\partial P}{\partial x} - b_{\perp 0} \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} - b_{\perp z} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \nu \Delta^2 P = \\ = -V_R P \frac{\partial P}{\partial x} + J(P, \Delta P). \end{aligned} \quad (16)$$

Здесь введены следующие параметры и безразмерные переменные:

$$\begin{aligned} \tau = 2\Omega_{0z} t; \quad P = P / P_0; \quad x, y = (x, y) / r_R; \quad \alpha + \beta = \partial \bar{\Omega} / \partial y, \quad \alpha + \beta = (\alpha + \beta) r_R / \bar{\Omega}; \\ V_0 = V_0 / (2\Omega_{0z} r_R); \quad b_{\perp 0} = \sigma_\perp B_0^2 / (\rho_0 c^2), \quad b_{\perp 0} = b_{\perp 0} / (2\Omega_{0z}); \\ b_{\perp z} = \sigma_\perp B_0^2 / (\rho_0 c^2), \quad b_{\perp z} = b_{\perp z} / (2\Omega_{0z}); \quad \nu = \nu / (2\Omega_{0z} r_R^2); \\ V_0'' = d^2 V_0 / dy^2; \quad J(a, b) = \partial a / \partial x \cdot \partial b / \partial y - \partial a / \partial y \cdot \partial b / \partial x; \end{aligned} \quad (17)$$

Уравнение (16) представляет собой обобщенное уравнение Чарни-Обухова-Хасегава-Мимы, описывающее взаимодействие замагниченной волны Россби с неоднородным зональным ветром в ионосферной среде и динамику дрейфовых волн в магнитоактивной плазме со сдвиговым течением. В правой части уравнения (16) содержится два типа нелинейностей: слагаемое пропорциональное $(\alpha + \beta) P \partial P / \partial x$ называется скалярной нелинейностью (или нелинейностью типа Кортевега-де Вриза (КДВ)), обусловленной неоднородностью частоты вращения Земли ($\sim \beta$) и геомагнитного поля ($\sim \alpha$). Второе слагаемое со скобкой Пуассона или Якобиана $J(P, \Delta_\perp P)$ называется векторной или вихревой нелинейностью, которая обычно появляется для вращающейся жидкости и замагниченной плазменной среды [19, 20]. Следует заметить, что в уравнение (16) члены с $b_{\perp 0}$ и $b_{\perp z}$ обусловлены поперечной-педерсеновской проводимостью ионосферы и вызывает индукционное затухание волновых структур.

Здесь введены обозначения

$$r_R = (P_0 / \rho_0)^{1/2} (2\Omega_{0z} \bar{\Omega})^{-1/2}, \quad (18)$$

баротропный радиус Россби-Обухова для ионосферы, модифицированный геомагнитным полем;

$$V_R = -(\alpha + \beta)r_R^2, \quad (19)$$

так называемая модифицированная геомагнитным полем скорость Россби для ионосферной среды. Обобщенное уравнение Чарни-Обухова для обычной волны Россби (для случая $V_0 = 0$, $\alpha = 0$, $B_0 = 0$) впервые было получено Петвиашвили [29].

Согласно формуле (11) видно, что давление P в уравнение (16) выступает в качестве функции тока ($\nabla \times V = \Delta P \cdot e_z$).

Интересно выяснить, как соотносятся друг к другу скалярные и векторные нелинейные члены в уравнении (16). Видно, что векторная нелинейность превышает скалярную при относительно коротких масштабах волновых структур, когда характерный масштаб структуры L меньше, чем, так называемый, промежуточный геострофический радиус r_{ig} :

$$L < r_{ig} = r_R^{2/3} R^{1/3}. \quad (20)$$

С другой стороны со скалярной нелинейностью связана асимметрия – циклон /антициклон в диспергирующей среде [30]. В данной работе мы сохраним оба вида нелинейности и проследим за особенностью влияния скалярной нелинейности на процесс генерации зонального течения в ионосфере.

Вид уравнения (15) сильно зависит от того, для какого ионосферного слоя он записан.

1. Начнем рассмотрение с D-области ионосферы, которая занимает слой с высотой от 60 до 100 км от поверхности Земли. В этом слое можно считать $v_{en} \gg v_{ei}; v_{in} v_{en} \gg \omega_{Be} \omega_{Bi}$ и $\omega_{Be} \gg v_{en}$. Далее используя типичные значения параметров для D-области ионосферы [26, 31] определяем иерархию параметров: $\Omega_0 = 7.3 \times 10^{-5} s^{-1}$, $\omega_{Bi} \sim 10^3 s^{-1}$, $N/N_n \sim 10^{-12} - 10^{-8}$, $v_{en} \sim 10^6 s^{-1}$, $\omega_{Be} \sim 10^7 s^{-1}$. Поэтому можно считать, что

$$\frac{b_{\perp 0}}{2\Omega_{0z}} \ll \frac{b_{Hz}}{2\Omega_{0z}} \ll 1. \quad (21)$$

При таком соотношении параметров, для D-области ионосферы из уравнения (16) мы можем получить следующее уравнение:

$$\left(\frac{\partial}{\partial \tau} + V_0(y) \frac{\partial}{\partial x} \right) (P - \Delta P) - (\beta - V_0'') \frac{\partial P}{\partial x} + v \Delta^2 P + V_R P \frac{\partial P}{\partial x} - J(P, \Delta P) = 0. \quad (22)$$

Уравнение (22) в случае отсутствия сдвигового течения ($V_0 = 0$), совпадает с известным нелинейным уравнением Чарни-Обухова [32,33].

2. Для E-области ионосферы (высота 100-150 км) можно предположить, что $v_e \approx v_{en}$; $\omega_{Be} \omega_{Bi} \gg v_{in} v_{en}$ и $v_{in}^2 \gg \omega_{Bi}^2$; $N/N_n \sim 10^{-8} - 10^{-6}$, $v_{in} \sim 5 \times 10^4 - 10^5 s^{-1}$, $\omega_{Bi} \sim 4 \times 10^3 s^{-1}$. Для таких значений параметров и высоты находим, что

$$\frac{b_{\perp 0}}{2\Omega_{0z}} \ll \frac{b_{Hz}}{2\Omega_{0z}} \sim 1. \quad (23)$$

Тогда, из (16) получаем нелинейное уравнение, которое описывает динамику нелинейных структур при их взаимодействии с сдвиговым течением в E- области ионосферы:

$$\left(\frac{\partial}{\partial \tau} + V_0(y) \frac{\partial}{\partial x} \right) (P - \Delta P) + (V_R + V_0'') \frac{\partial P}{\partial x} + v \Delta^2 P + V_R P \frac{\partial P}{\partial x} - J(P, \Delta P) = 0. \quad (24)$$

Здесь $V_R = -(\alpha + \beta)$, $\beta = 2\Omega_0 \sin \theta_0 / R > 0$ и $\alpha = -2\sigma_H B_0 B_e \sin \theta_0 / (R \rho_0 c^2) < 0$. Так как величины β и α в (19) имеют разные знаки в обоих полушариях, возможна частичная или полная компенсация вкладов действий силы Кориолиса и электромагнитной силы.

3. Наконец, рассмотрим F-область ионосферы (промежуток высот 150-400 км от поверхности Земли). В этом регионе $\omega_{Bi} \gg v_{in}$; $\omega_{Be}\omega_{Bi} \gg v_e v_{in}$ and $\omega_{Be} \sim 10^7 s^{-1}$, $\omega_{Bi} \sim 10^3 s^{-1}$, $N/N_n \sim 10^{-6} - 10^{-3}$, $v_{in} \leq 10 s^{-1}$, $v_e \sim 10^3 s^{-1}$. Так, что можно предполагать

$$\frac{b_{\perp 0}}{2\Omega_{0z}} \geq 1, \quad \frac{b_{Hz}}{2\Omega_{0z}} \ll 1, \quad b_{\perp 0} \gg \nu k^2. \quad (25)$$

Тогда, рассматривая средние широты (где $b_{\perp 0} \approx b_{\perp z}$), из (16) заключаем, что в ионосферной F- области нелинейные структуры описываются следующим уравнением:

$$\left(\frac{\partial}{\partial \tau} + V_0(y) \frac{\partial}{\partial x} \right) (P - \Delta_{\perp} P) + (\bar{V}_R + V_0'') \frac{\partial P}{\partial x} + \bar{V}_R P \frac{\partial P}{\partial x} - b_{\perp 0} \Delta_{\perp} P - J(P, \Delta_{\perp} P) = 0, \quad (26)$$

где $\bar{V}_R = -\beta$ скорость обычной тропосферной волны Россби.

Уравнение (26) отличается от уравнения (22) присутствием члена с $b_{\perp 0}$, который обусловлен магнитной индукцией Земли и педерсеновскими токами в ионосфере, которые вызывают индуктивное затухание возмущений и играют роль дополнительной вязкости.

На основе уравнения (16) можно определить временную эволюцию энергии E волновых возмущений в среднеширотной ионосфере (где $b_{\perp 0} \approx b_{\perp z}$)

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} \int [P^2 + (\nabla P)^2] d\eta dy = - \int V_0' \frac{\partial P}{\partial \eta} \frac{\partial P}{\partial y} d\eta dy - \int b_{\perp 0} (\nabla P)^2 d\eta dy - \nu \int (\nabla P)^2 d\eta dy, \quad (27)$$

и потенциальной энтропии возмущений

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} \int [(\nabla P)^2 + (\Delta P)^2] d\eta dy = - \int (V_0' + V_0''') \frac{\partial P}{\partial \eta} \frac{\partial P}{\partial y} d\eta dy - \int b_{\perp 0} (\Delta P)^2 d\eta dy \\ - \nu \int (\nabla \Delta P)^2 d\eta dy. \end{aligned} \quad (28)$$

Ясно, что уравнения (27) и (28) описывают процесс диссипации, в частности, уменьшение энергии и энтропии волновых структур из-за индукционного (член с $b_{\perp 0}$) и вязкостного затуханий (член с ν) в ионосферной среде. Однако, присутствие фонового зонального сдвигового течения (члены с $V_0(y)$) снабжает среду с внешним источником энергии для генерации и интенсификации волновых структур (см. также [21, 34]). Для генерации структур необходимо, что скорость сдвигового течения имела хотя-бы отличное от нуля первое производное по меридиональной координате ($V_0'(y) \neq 0$).

Далее для определенности, при анализе динамики волновых возмущений будем использовать уравнение для F-области (26). Используя Фурье-представление $P = P_k \exp\{i(k_x x + k_y y - \omega t)\}$ (где P_k -фурье-амплитуда, $\omega (= \omega_0 + i\gamma, \gamma < \omega_0)$ и $\mathbf{k}(k_x, k_y)$ – частота и волновой вектор, соответственно) из уравнения (26) в линейном приближении следует дисперсионное уравнение для собственной частоты (волны накачки), ω_0 ,

$$\frac{\omega_0}{k_x} = V_0 + \frac{\partial^2 V_0 / \partial y^2}{1 + k^2} - \frac{\beta}{1 + k^2}, \quad (29)$$

и выражение для декремента затухания замагниченной волны Россби в F-области

$$\gamma = -\frac{b_{\perp 0} k^2}{I + k^2}; \quad (30)$$

Здесь $k^2 = k_x^2 + k_y^2$. Выражение (29), (30) остается в силе и для D- и E-областей лишь с той разницей, что в D-области $\alpha \rightarrow 0$, $b_{\perp 0} \rightarrow 0$ (см. ур. (22)), а в E-области также $b_{\perp 0} \rightarrow 0$, $\beta \rightarrow \alpha + \beta$ и $\gamma = -vk^4 / (I + k^2)$ (см. ур. (24)). Видно, что присутствие неоднородного геомагнитного поля и равновесного зонального течения сильно влияет на диапазон линейных фазовых скоростей.

4. УРАВНЕНИЯ ДЛЯ АМПЛИТУД ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ МЕЛКО И КРУПНО-МАСШТАБНЫХ МОД

Пяти-волновое представление возмущений

Предположим, что зональное течение характеризуется намного большими временными и пространственными масштабами, чем первичная ЗВР (волна накачки), и проведем стандартную декомпозицию движения (мультимасштабную разложению) на относительно быструю \tilde{P} (относительно мелкомасштабную), связанную с первичной ЗВР, и медленную (относительно крупномасштабную), связанную с генерируемыми зональным и сдвиговым течениями. \bar{P} . Соответственно, в уравнении (26) функцию тока P представляем в виде: $P = \tilde{P} + \bar{P}$, где $\bar{P} = \hat{P} + P_0$. Здесь \hat{P} и P_0 – функции тока зонального течения и фонового сдвигового течения, соответственно. Причем, функцию тока первичной быстрой-мелкомасштабной ЗВР представляем как суперпозицию волны накачки \tilde{P}_0 и двух сателлитов \tilde{P}_+ и \tilde{P}_- , $\tilde{P} = \tilde{P}_0 + \tilde{P}_+ + \tilde{P}_-$. Так что, мы изучаем пятиволновый процесс – нелинейное взаимодействие относительно мелкомасштабных первичных волн накачки (замагниченных волн Россби), двух сателлит первичных волн, крупномасштабных зональных мод и еще более крупномасштабных сдвиговых течений. Учитывая, что коэффициенты динамического уравнения (26) зависят от пространственной координаты y из-за присутствия в среде фонового сдвигового течения, целесообразно предполагать что ЗВР распространяется вдоль параллели: $k_y = 0$ и $k_x \neq 0$. Тогда функции тока можно представить в виде:

$$\hat{P}(x, y, t) = \hat{P}_0(y, k) e^{i(q_x x - \Omega t)} + \hat{P}_0^*(y, k) e^{-i(q_x x - \Omega t)}, \quad (31)$$

$$\tilde{P}_0(x, t) = \tilde{P}_0 e^{i(k_x x - \omega_k t)} + \tilde{P}_0^* e^{-i(k_x x - \omega_k t)}, \quad (32)$$

$$\tilde{P}_{\pm}(x, y, t) = \tilde{P}_{\pm}(y, k) e^{i(k_{\pm} x - \omega_{\pm} t)} + \tilde{P}_{\pm}^*(y, k) e^{-i(k_{\pm} x - \omega_{\pm} t)}. \quad (33)$$

Здесь $k_{\pm} = k_x \pm q_x$, $\omega_{\pm} = \omega_k \pm \Omega$; знак “*” означает комплексное сопряжение; пара $(\omega, k_x \cdot e_x)$ и $(\Omega, q_x \cdot e_x)$ – представляют собой частоту и волновой вектор относительно мелкомасштабной накачки ЗВР и крупномасштабного зонального течения, соответственно.

Следуя стандартной квазилинейной процедуре [10, 22], подставляем выражения (31)-(33) в уравнение (26) и пренебрегаем малыми нелинейными членами, обусловленными мелкомасштабными, высокочастотными модами. Вклад малого высокочастотного нелинейного члена существенен лишь для динамики низкочастотного зонального течения. Далее,

приравнивая коэффициенты перед одинаковыми гармоническими функциями, получаем уравнения для амплитуд первичных относительно высокочастотных сателлит-мод, \tilde{P}_\pm :

$$\begin{aligned} \left[(\Omega + \omega_k - k_+ V_0) \left(1 + k_+^2 - \frac{d^2}{dy^2} \right) - k_+ (\bar{V}_R + V_0'') - ib_{\perp 0} \left(\frac{d^2}{dy^2} - k_+^2 \right) \right] \tilde{P}_+ = \\ = \tilde{P}_0 \left[k_+ \bar{V}_R - k_x \frac{d}{dx} \left(k_x^2 - q_x^2 + \frac{d^2}{dy^2} \right) \right] \hat{P}_0, \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \left[(\Omega - \omega_k + k_- V_0) \left(1 + k_-^2 - \frac{d^2}{dy^2} \right) + k_- (\bar{V}_R + V_0'') - ib_{\perp 0} \left(\frac{d^2}{dy^2} - k_-^2 \right) \right] \tilde{P}_- = \\ = \tilde{P}_0^* \left[-k_- \bar{V}_R + k_x \frac{d}{dx} \left(k_x^2 - q_x^2 + \frac{d^2}{dy^2} \right) \right] \hat{P}_0. \end{aligned} \quad (35)$$

Подставляя выражения (31)–(33) в уравнение (26) и усредняя полученное выражение по быстрым-мелкомасштабным осцилляциям, приходим к уравнению для амплитуды генерируемой крупномасштабной зональной моды \hat{P}_0 :

$$\begin{aligned} \left[(\Omega - q_x V_0) \left(\frac{d^2}{dy^2} - q_x^2 - 1 \right) + q_x (\bar{V}_R + V_0'') + ib_{\perp 0} \left(\frac{d^2}{dy^2} - q_x^2 \right) \right] \hat{P}_0 = \\ = k_x \frac{d}{dy} \left[\tilde{P}_0 \left(\frac{d^2}{dy^2} - q_x^2 + 2k_x q_x \right) \tilde{P}_- - \tilde{P}_0^* \left(\frac{d^2}{dy^2} - q_x^2 - 2k_x q_x \right) \tilde{P}_+ \right]. \end{aligned} \quad (36)$$

Для простоты, амплитуду первичной относительно мелкомасштабной волны накачки \tilde{P}_0 в (32)–(35) считаем постоянной.

Обобщенная задача на собственное значение для зональных течений

Замкнутую систему уравнений (34)–(36) после несложных, но громоздких преобразований можно свести к обобщенной задаче собственного значения

$$\begin{pmatrix} -F & A_- & A_+ \\ B_+ & C_+ & 0 \\ -B_-^* & 0 & C_- \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{P}_0 \\ \tilde{P}_+ \\ \tilde{P}_-^* \end{pmatrix} = \Omega \begin{pmatrix} D & 0 & 0 \\ 0 & E_+ & 0 \\ 0 & 0 & E_- \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{P}_0 \\ \tilde{P}_+ \\ \tilde{P}_-^* \end{pmatrix}, \quad (37)$$

где

$$A_+ = k_x \tilde{P}_0 \frac{d}{dy} \left(\frac{d^2}{dy^2} - q_x^2 + 2k_x q_x \right), \quad A_- = -k_x \tilde{P}_0^* \frac{d}{dy} \left(\frac{d^2}{dy^2} - q_x^2 - 2k_x q_x \right), \quad (38)$$

$$B_{\pm} = \tilde{P}_0 \left[k_{\pm} \bar{V}_R - k_x \frac{d}{dx} \left(k_x^2 - q_x^2 + \frac{d^2}{dy^2} \right) \right], \quad D = \frac{d^2}{dy^2} - q_x^2 - 1, \quad (39)$$

$$C_{\pm} = \bar{\omega} (\omega_k - k_{\pm} V_0) E_{\pm} \pm k_{\pm} (\bar{V}_R + V_0'') + i b_{\perp 0} \left(\frac{d^2}{dy^2} - k_{\pm}^2 \right), \quad (40)$$

$$E_{\pm} = 1 + k_{\pm}^2 - \frac{d^2}{dy^2}, \quad F = q_x (\bar{V}_R + V_0 + V_0'') + (i b_{\perp 0} - q_x V_0) \left(\frac{d^2}{dy^2} - q_x^2 \right). \quad (41)$$

5. МОДУЛЯЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЗВР И ГЕНЕРАЦИЯ ЗОНАЛЬНОГО ТЕЧЕНИЯ

5.1. Нелинейное взаимодействие замагниченной волны Россби и зонального течения

При отсутствии фонового сдвигового течения ($V_0 = 0$), предполагая $\hat{P}_0, \tilde{P}_{\pm} \propto \exp(iq_y y)$, уравнение (36) сводится к виду

$$\left[\Omega(1 + q^2) - q_x V_R + i b_{\perp 0} q^2 \right] \hat{P}_0 = -i k_x q_y \left[(q^2 + 2k_x q_x) \tilde{P}_0^* \tilde{P}_+ - (q^2 - 2k_x q_x) \tilde{P}_0 \tilde{P}_-^* \right]. \quad (42)$$

Выражения входящих здесь фурье-гармоник для амплитуд спутников \tilde{P}_+ и \tilde{P}_- определяем из уравнений (34) и (35):

$$\tilde{P}_+ = - \frac{i k_x q_y (k_x^2 - q^2) - k_x V_R}{(\Omega + \delta_{k_+})(1 + k_+^2 + q_y^2) + i b_{\perp 0} (k_+^2 + q_y^2)} \tilde{P}_0 \hat{P}_0, \quad (43)$$

$$\tilde{P}_- = \frac{i k_x q_y (k_x^2 - q^2) - k_x V_R}{(\Omega - \delta_{k_-})(1 + k_-^2 + q_y^2) + i b_{\perp 0} (k_-^2 + q_y^2)} \tilde{P}_0^* \hat{P}_0, \quad (44)$$

где

$$\delta_{k_{\pm}} \equiv \omega_k - \frac{k_{\pm} V_R}{1 + k_{\pm}^2 + q_y^2}. \quad (45)$$

Подставляя (43) и (44) в уравнение (42), находим дисперсионное уравнение для генерируемых зональных мод:

$$\begin{aligned} & \Omega(1 + q^2) - \frac{q_x V_R}{(1 + q^2)} + \frac{i b_{\perp 0} q^2}{(1 + q^2)} = \\ & = \frac{i k_x q_y}{1 + q^2} \left[i k_x q_y (k_x^2 - q^2 - k_x V_R) \right] \left[\frac{(q^2 + 2k_x q_x)}{(\Omega + \delta_{k_+})(1 + k_+^2 + q_y^2) + i b_{\perp 0} (k_+^2 + q_y^2)} + \right. \end{aligned}$$

$$+ \frac{(q^2 - 2k_x q_x)}{(\Omega - \delta_{k_-})(1 + k_-^2 + q_y^2) + ib_{\perp 0}(k_-^2 + q_y^2)} \Big]. \quad (46)$$

Дисперсионное соотношение (46) является очень сложным для общего анализа, и его можно решить лишь численно, которое мы проведем ниже в этом же пункте. Сначала для простоты рассмотрим наиболее интересные случаи $\Omega \ll \omega_k$, $q \ll k$, $b_{\perp 0} \ll b_k$, которые являются типичными для теории генерации зонального течения [10, 15, 22], когда характерный масштаб зонального течения намного больше масштаба первичной волны накачки Россби. В этом случае мы имеем следующие соотношения:

$$\delta_{k_{\pm}} \approx \mp q v_g - \frac{q^2}{2} v_g', \quad v_g \equiv \frac{\partial \omega_k}{\partial k_y} = -\frac{2k_y \omega_k}{1 + k^2}, \quad v_g' \equiv \frac{\partial^2 \omega_k}{\partial k_y^2} = -\frac{2k_y \omega_k}{(1 + k^2)^2} (1 + k_x^2 - 3k_y^2), \quad (47)$$

$$\left[\frac{(q^2 + 2k_x q_x)}{(\Omega + \delta_{k_+})(1 + k_+^2 + q_y^2) + ib_{\perp 0}(k_+^2 + q_y^2)} + \frac{(q^2 - 2k_x q_x)}{(\Omega - \delta_{k_-})(1 + k_-^2 + q_y^2) + ib_{\perp 0}(k_-^2 + q_y^2)} \right] \approx \frac{2\Omega q^2 (1 + k_y^2 - 3k_x^2)}{(1 + k^2) \left[(\Omega - q v_g)^2 - (q_x^2 v_g' / 2)^2 \right]} \left(1 - i \frac{b_{\perp 0} k_x^2}{b_k} \right), \quad (48)$$

где

$$b_k = (1 + k^2) \left(\Omega - q v_g - \frac{q_x^2 v_g'}{2} \right). \quad (49)$$

Здесь v_g меридиональный компонент (y-компонент) групповой скорости волны накачки Россби. Подставляя (47)-(49) в уравнение (46), мы находим дисперсионное соотношение:

$$\Omega_{\pm} \cong q v_g \pm \left[i \frac{k_x^2 q^3}{1 + q^2} \frac{(1 + k_y^2 - 3k_x^2)}{(1 + k^2)^2} |\tilde{P}_0|^2 (i k^2 q - V_R) + \left(\frac{q^2}{2} v_g' \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (50)$$

Далее рассмотрим два специальных случая. В случае относительно мелкомасштабной турбулентности, когда $L < r_{ig}$ (см. формулу (20)), т.е. когда в динамических уравнениях вкладом скалярной нелинейности можно пренебречь, получим из (50)

$$\Omega_{\pm} \cong q v_g \pm \left[-\frac{k_x^2 k^2 q^4}{1 + q^2} \frac{(1 + k_y^2 - 3k_x^2)}{(1 + k^2)^2} |\tilde{P}_0|^2 + \left(\frac{q^2}{2} v_g' \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (51)$$

Видно что, необходимым условием для неустойчивости является $1 + k_y^2 - 3k_x^2 > 0$ и для относительно коротковолновой турбулентности $k^2 \gg 1$, неустойчивость возникает когда волновой вектор волны накачки Россби находится в конусе

$$-\sqrt{3}k_x < k_y < \sqrt{3}k_x. \quad (52)$$

Неустойчивость возбуждается для возмущений с волновыми числами $|k_y| \gg |k_x|$ и соответствующий инкремент имеет вид

$$\gamma \cong \left[\frac{2k_x^2 q^4}{1+q^2} |\tilde{P}_0|^2 - \frac{9q^4 \omega_k^2}{k_y^4} \right]^{1/2}. \quad (53)$$

Выражение (53) описывает начальную (линейную) стадию усиления зонального течения из-за параметрической неустойчивости относительно короткомасштабной замагниченной волной Россби. Для достаточно интенсивной волны накачки, когда $|\tilde{P}_0|^2 > \omega_k^2 / k^6$ и $k \gg 1$, $q \ll 1$ можем оценить инкремент

$$\gamma \approx k_x |\tilde{P}_0|. \quad (54)$$

Для характерного значения параметров земной ионосферы и волновых возмущений $2\Omega_{0z} \ll 10^{-4} s^{-1}$, $k_x \ll 10$, $\tilde{P}_0 \ll 10^{-2}$, переходя к размерным величинам ($\gamma \rightarrow 2\Omega_{0z}\gamma$) имеем оценку $\gamma \approx 10^{-5} s^{-1}$. Эта оценка согласуется с результатами существующих наблюдений [3,15, 35]. Физически такая неустойчивость является проявлением обратного каскада, когда спектральная энергия коротковолновой ЗВР турбулентности перекачивается в энергию длинноволнового зонального течения.

Теперь рассмотрим случай относительно крупномасштабной турбулентности, $V_R \gg k_x q$, когда вклад скалярной нелинейности в уравнение (50) является определяющим. В том случае выражение (50) преобразуется в вид

$$\Omega_{\pm} \cong qv_g \pm \left[-i \frac{k_x^2 q^3}{1+q^2} \frac{(1+k_y^2 - 3k_x^2)}{(1+k^2)^2} |\tilde{P}_0|^2 V_R \right]^{1/2}. \quad (55)$$

Неустойчивость возникает для любого знака $(1+k_y^2 - 3k_x^2)$ в отличие от выше рассмотренного случая. Подставляя в (55) $V_R = -(\alpha + \beta)r_R / (2\Omega_{0z})$, для крупномасштабной турбулентности $k \ll 1$, $q \ll 10^{-1}$ получим оценку инкремента

$$\gamma \approx q^{3/2} |\tilde{P}_0| \left(\frac{(\alpha + \beta)r_R}{2\Omega_{0z}} \right)^{1/2}. \quad (56)$$

Для характерных параметров ионосферы и волновых возмущений $\alpha + \beta \ll 10^{-11} m^{-1} s^{-1}$, $r_R \ll 10^6 m$, $2\Omega_{0z} \ll 10^{-4} s^{-1}$, $q \ll 10^{-1}$, $\tilde{P}_0 \ll 10^{-2}$, переходя к размерным величинам ($\gamma \rightarrow 2\Omega_{0z}\gamma$), находим $\gamma \ll 10^{-8} s^{-1}$. Так что, инкремент, связанный с скалярной нелинейностью или инкремент длинноволновой турбулентности в тысяча раз меньше, чем для коротковолнового случая (см. (54)). Такой перенос энергии от коротких к крупным масштабам в теории двумерной турбулентности согласуется с законами сохранения энергии и энтропии волновых возмущений [3, 4, 19, 20].

Сейчас перейдем к исследованию турбулентности произвольного масштаба. В этом случае, подставляя решения для \tilde{P}_{\pm} (43), (44) в уравнение (42), получаем общее дисперсионное соотношение для крупномасштабной зональной моды:

$$\Omega^3 + A\Omega^2 + B\Omega + C = 0, \quad (57)$$

где

$$A = A_1 - A_2 - \frac{q_x \bar{V}_R - ib_{\perp 0} q^2}{1 + q^2}, \quad A_1 = \omega_k - \frac{k_+ \bar{V}_R}{1 + k_+^2} + ib_{\perp 0} \frac{k_+^2 + q_y^2}{1 + k_+^2}, \quad A_2 = \omega_k - \frac{k_- \bar{V}_R}{1 + k_-^2} - ib_{\perp 0} \frac{k_-^2 + q_y^2}{1 + k_-^2},$$

$$B = 2i \frac{k_x q_y |\tilde{P}_0|^2}{(1 + q^2)(1 + k_+^2)(1 + k_-^2)} \left[k_x \bar{V}_R - ik_x q_y (k_x^2 - q^2) \right] \left[q^2 (1 + k_x^2 + q^2) - 4k_x^2 q_x^2 \right] -$$

$$-A_1 A_2 - \frac{(A_1 - A_2)(q_x \bar{V}_R - ib_{\perp 0} q^2)}{1 + q^2}, \quad (58)$$

$$C = \frac{A_1 A_2 (q_x \bar{V}_R - ib_{\perp 0} q^2)}{1 + q^2} + \frac{k_x q_y |\tilde{P}_0|^2 \left[k_x \bar{V}_R - ik_x q_y (k_x^2 - q^2) \right]}{(1 + q^2)(1 + k_+^2)(1 + k_-^2)} \times$$

$$\times \left\{ \left[q^2 (1 + k_+^2) A_1 - (1 + k_-^2) A_2 \right] - 2k_x q_x \left[(1 + k_+^2) A_1 + (1 + k_-^2) A_2 \right] \right\},$$

$$\omega_k = \frac{k_x \bar{V}_R}{1 + k^2}, \quad k^2 = k_x^2 + k_y^2, \quad q^2 = q_x^2 + q_y^2, \quad k_+^2 = k_x^2 + 2k_x q_x + q_x^2, \quad k_-^2 = k_x^2 - 2k_x q_x + q_x^2.$$

Действительная (реальная) часть решения кубического уравнения (42) определяет инкремент модуляционной неустойчивости $\gamma = \text{Im} \Omega \neq 0$, когда амплитуда волны накачки $|\tilde{P}_0|$ превышает соответствующее пороговое значение. Зависимость инкремента γ от волнового числа генерируемой зональной моды q_y для различного значения q_x представлена на рисунке 1. Мода с $q_x = 0$ имеет максимальный инкремент, что означает генерацию максимально-интенсивного зонального течения.....

В условиях неравенства $q_x \ll k_x$ максимальный инкремент зонального течения достигается при $q_{y,opt} = k_x |\tilde{P}_0| (1 + k_x^2)^{3/2}$ и соответствующее значение инкремента $\gamma_{max} = k_x^3 |\tilde{P}_0|^2 (1 + k_x^2)$.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе изучена задача нелинейной стадии генерации и дальнейшей эволюции крупномасштабного зонального течения относительно мелкомасштабной УНЧ замагниченной волной Россби (ЗВР) конечной амплитуды в управляемой фоновым сдвиговым течением (неоднородным ветром) в диссипативной ионосфере. Получено исходное нелинейное динамическое уравнение в виде обобщенного уравнения Чарни-обухова (26), содержащего как скалярную, так и векторную нелинейность и описывающего особенности турбулентного поведения замагниченной волнами Россби произвольной длины. Использован параметрический механизм раскачки и пятиволновое представление возмущений: первичная относительно коротковолновая ЗВР или волна накачки, две волны сателлиты ЗВР, длинноволновая зональная мода и еще более крупномасштабное фоновое сдвиговое течение. На базе исходного динамического уравнения получена система из трех взаимосвязанных уравнений (34)-(36) для амплитуд волн сателлит и генерируемой зональной моды, при заданных амплитудах (или профилей) волны накачки и фонового сдвигового течения. На основе теоретического анализа соответствующей системы уравнений для амплитуд возмущений (или обобщенной задачи на собственное значение (37)) выявлены новые особенности перекачки энергии относительно

мелкомасштабных УНЧ ЗВР и фонового сдвигового течения в энергию крупномасштабных зональных течений и нелинейной самоорганизации пятиволновой коллективной активности в ионосферной среде.

Из нашего анализа следует, что относительно мелкомасштабные замагниченные волны Россби в ионосферной среде являются модуляционно неустойчивыми по отношению крупномасштабных возмущений. Эта неустойчивость сопровождается возбуждением крупномасштабных зональных течений. Основными механизмами генерации-подпитки параметрической-модуляционной неустойчивости являются напряжение Рейнольдса и энергия фонового сдвигового течения.

Данное исследование выявило возможный механизм генерации, интенсификации (ослабления) зонального течения волнами Россби конечной амплитуды в ионосфере за счет влияния локальных фоновых сдвиговых течений в зависимости от параметров этого течения. Причем, фоновое течение относительно малой амплитуды способствует развитию модуляционной неустойчивости и интенсификации генерации зонального течения, увеличивая инкремент нарастания, тогда как более сильное сдвиговое течение существенно уменьшает инкремент неустойчивости и, соответственно, процесс генерации зонального течения ослабляется. Причиной ослабления генерации является расфазировка параметрических связей между разномасштабными возмущениями из-за выноса возмущений сильным фоновым сдвиговым течением из области благоприятствующей генерации мод. Начальным механизмом раскачки этой неустойчивости является напряжение Рейнольдса, которое является неизбежно присущей для относительно коротковолновой ЗВР конечной амплитуды. Происходит нелинейная перекачка спектральной энергии относительно коротковолновой замагниченной волны Россби и фонового сдвигового течения к длинноволновому зональному течению в ионосферной среде. Таким образом, флуктуация типа ЗВР может дестабилизироваться механизмом нелинейного пятиволнового взаимодействия с одновременной генерацией крупномасштабного зонального течения.

В случае коротковолновой турбулентности $kr_R \gg 1$, лишь векторная нелинейность ответственна за параметрическую неустойчивость и соответствующий инкремент нарастания имеет заметную величину. В случае длинноволновой турбулентности $kr_R \leq 1$, скалярная нелинейность типа КДВ дает основной вклад в возбуждение параметрической неустойчивости, но соответствующий инкремент нарастания на три порядка ниже, чем для мелкомасштабной турбулентности. Так что, скалярная нелинейность несколько расширяет область неустойчивости зональных течений и генерации турбулентных пульсации в сторону крупных масштабов.

Присутствие в ионосферной среде электромагнитной пондермоторной силы, т.е. неоднородного геомагнитного поля, токов Холла и Педерсена в разных слоях ионосферной среды улучшает эффективность взаимодействия и взаимообмен энергией между волновыми возмущениями, фоновым сдвиговым течением и средой.

Таким образом, относительно коротковолновая флуктуация типа ЗВР может дестабилизироваться механизмом нелинейного пятиволнового параметрического взаимодействия с одновременной генерацией крупномасштабных зональных течений в ионосферной среде. Характерное значение инкремента соответствующей параметрической модуляционной неустойчивости имеет порядок $\lambda \square 10^{-5} - 10^{-8} s^{-1}$.

Параметрическая неустойчивость, исследованная в данной работе может представлять интерес и для широкого класса аналогичных неустойчивостей космической и лабораторной плазмы. С одной стороны она может создавать турбулентное состояние в разных слоях ионосферы и магнитосферы [18, 36, 37]. С другой стороны подобная параметрическая-модуляционная неустойчивость может генерировать в лабораторной плазме крупномасштабные

зональные течения, в которых они могут существенно подавлять мелкомасштабную турбулентную активность и уменьшать коэффициенты переноса [10, 12, 15, 23].

Предложенные исследования были выполнены при поддержке гранта No 31/14 Национального Научного Фонда им. Шота Руставели.

Литература

1. Абурджания Г.Д., Хантадзе А.Г. Геомагнетизм и аэрономия. -2002. Т.42. №2.- С. 245.
2. Aburjania G.D., Chargazia Kh.Z., Khantadze A.G., Kharshiladze O.A. Ann.Geophys. -2004. V.22. №4. P.525.
3. Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. М.: Мир.- 1978.
4. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. М.: Мир.- 1984.-Т.1.
5. Казимировский Э.С., Кокоуров В.Д. Движения в ионосфере. Новосибирск: Наука.- 1979.
6. Lashkin V.M.// Phys. Plasmas. -2008.V. 15. 124502.
7. Aburjania G.D., Chargazia Kh.Z., Khantadze A.G., et al. Planet. Space Sci. -2005. V. 53.- P. 881.
8. Lawrence A.R., Jarvis M.J. J. Atm. Solar-Terr. Phys.- 2003. V. 65. -P. 765.
9. Galperin B, Sukoriansky S., Dikovskaya N., et al. Nonlinear Process. Geophys. -2006.V13. -P. 83.
10. Diamond P.H, Itoh S.-I., Itoh K., Hahn T.S. Plasma Phys. Control. Fusion.- 2005.V. 47. -P. R35.
11. Фридман А.М. Успехи Физ. Наук. -2007. Т.177. № 2.- С.121.
12. Terry P.W. Rev. Mod. Phys.- 2000. V. 72.- P. 109.
13. Shukla P.K., Stenflo L. Eur. Phys. J. D.- 2002. V.20.- P. 103.
14. Shukla P.K., Stenflo L. Phys. Lett. A.-2003. V. 307. -P. 154.
15. Fujisawa A. A. Nucl. Fusion. -2009. V. 49. 013001. Doi:10.1088/0029-5515/49/1/013001.
16. Busse F.H. Chaos. -1994. V. 4.- P. 123.
17. Rhines P.B. Chaos. -1994. V. 4.- P. 313.
18. Aburjania G.D., Chargazia Kh. Z., Zeleny L. M., Zimbardo G. Planet. Space Sci. -2009. V. 57. -P. 1474.
19. Петвиашвили В.И., Похотелов О.А. Уединенные волны в плазме и атмосфере. М. Энергоатомиздат. -1989.
20. Абурджания Г.Д. Самоорганизация нелинейных вихревых структур и вихревой турбулентности в диспергирующих средах. М.: КомКнига.- 2006.
21. Aburjania G.D., Chargazia Kh.Z., Kharshiladze O.A. J. of Atm. and Solar –Terr. Phy. -2010. V. 72.- P. 971.doi: 10.1016/j.jastp. 2010.05.008.
22. Itoh K., Itoh S.-I., Diamond P.H. et al. Phys. Plasmas.- 2006. V. 13. 055502.
23. Smolyakov A.I., Diamond P.D., Shevchenko V.I. Phys. Plasmas. -2000. V. 7. -P. 1349.
24. Onishchenko O.G., Pokhotelov O.A., Sagdeev R.Z. et al. Nonlin. Proc. Geophys.- 2004. V. 11.- P. 241.
25. Докучаев В.П. О. Изв. АН СССР. Сер. Геофизическая. -1959. №5. -С. 783.
26. Гершман Б.Н., Ерухимов А.Н., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. М.: Наука.- 1984.
27. Гандин.А.С., Лахтман Д.Л., Матвеев Л.Т., Юдин М.И. Основы динамической метеорологии. Л.:Гидрометиздат. -1955.
28. Холтон Дж. Р. Динамическая метеорология атмосферы и мезосферы.Л.: Гидрометиздат-1976.
29. Петвиашвили В.И. - 1980. Т.32. №11. -С. 632.
30. Незлин М.В, Черников Г.П. Физика плазмы.-1999. Т. 21. №11. -С. 975.
31. Гинзбург В.Л., Рухадзе А.А. Волны в магнитоактивной плазме. М.: Наука.- 1975.

32. Charney T.G. Geophys. Publ. -1947. V.17. №2. -P. 17.
33. Обухов А.М. Изв. АН СССР. Сер. географ.геофиз.-1949. Т. 13. №4. -С. 281.
34. Aburjania G.D., Chargazia Kh.Z., Khantadze A.G., Kharshiladze O.A. J.Geophys.Res. -2006. V.111. A09304. Doi:10.1029/ 2005JA011567.
35. Kamide Y., Chian A. (Editors). Handbook of the Solar-Terrestrial Environment. Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, -2007.
36. Pokhotelov O.A., Onishenko O.G., Sagdeev R.Z., Treumann R.A J. Geophys. Res. -2003. V. 108. - P. 1291. Doi: 10. 1029/2003JA009888.
37. Aburjania G.D., Chargazia Kh. Z., Zeleny L. M., Zimbardo G. Nonlin. Proc. Geophys.-2009. V. 16. - P. 11.

დიდმასშტაბიანი ზონალური დინებების გენერაცია დამაგნიტებული როსბის ტალღებით წანაცვლებითი დინებებით მართულ იონოსფეროში დისიპაციურ იონოსფეროში

აბურჯანია გ., ხარშილაძე ო., ჩარგაზია ხ.

რეზიუმე

ნაშრომი ეძღვნება ზონალური დინებების გენერაციის თეორიული აღწერის ამოცანას წანაცვლებითი დინებებით მართულ ტურბულენტურ იონოსფეროში. მიღებულია ჩარნი-ობუხოვის ტიპის განზოგადოებული განტოლება, რომელიც აღწერს ხუთი განსხვავებული მასშტაბების მქონე მოდების არაწრფივ ურთიერთქმედებას: პირველადი, შედარებით მოკლეთალღოვანი ულტრა დაბალი სიხშირის (უდს) დამაგნიტებული როსბის ტალღის, მისი ორი სატელიტის, გრძელთალღოვანი ზონალური დინების და დიდმასშტაბიანი ფონური წანაცვლებითი დინების (არაერთგვაროვანი ქარი). გამოკვლეულია არაწრფივი ეფექტების (ვექტორული, სკალარული) გავლენა დიდმასშტაბიანი ზონალური დინებების ფორმირებაზე სასრული ამპლიტუდის დამაგნიტებული როსბის ტალღებით დისიპაციურ იონოსფეროში. გამოყენებულია მოდიფიცირებული პარამეტრული მიდგომა. შემოთავაზებულია ამპლიტუდებისათვის შესაბამის განტოლებათა სისტემის თეორიული ანალიზის საფუძველზე (საკუთარ რიცხვებზე განზოგადოებული ამოცანა) გამოვლენილია შედარებით მცირემასშტაბიანი უდს დამაგნიტებული როსბის ტალღებისა და ფინური წანაცვლებითი დინების დიდმასშტაბიან ზონალურ დინებებში ენერჯიის გადაქაჩვის და ხუთი ტალღისგან შემდგარი კოლექტიური აქტივობის არაწრფივი ორგანიზაციის ახალი თავისებურებები იონოსფერულ გარემოში. ზონალური დინების გენერაცია განპირობებულია სასრული ამპლიტუდის დამაგნიტებული როსბის ტალღის რეინოლდსის ძაბვით და ფონური დინების ზემოქმედებით.

GENERATION OF ZONAL FLOWS BY MAGNETIZED ROSSBY WAVES SHEAR FLOW DRIVEN DISSIPATIVE IONOSPHERE

Aburjania G., Kharshiladze O., Chargazia Kh.

Abstract

In the work the features of generation of the zonal flows by magnetized Rossby waves in the shear flow driven dissipative ionosphere is considered. Modified Charney-Obykhov type equation describing the nonlinear interaction of amplitudes of five different scale modes is obtained. These modes are: ultra low frequency (ULF) primary magnetized Rossby wave, two satellites of this wave, long wavelength zonal mode and large scale background mode (inhomogeneous wind). The roles of effects of nonlinearities (scalar, vector) in formation of the large scale zonal flows by magnetized Rossby waves with finite amplitudes in the dissipative ionosphere is studied. Modified parametric approach is used. On the basis of theoretical analysis of the corresponding system for amplitudes of the perturbations the new features of energy pumping from comparably small scale ULF magnetized Rossby wave and the background flow into the large scale zonal flows and nonlinear self-organization of collective activity of above mentioned five modes in the ionosphere medium. Generation of the zonal flow is caused by the Reynolds stress of the magnetized Rossby wave with finite amplitude and effect of the background shear flow.

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАХЕТИИ

¹Амиранашвили А.Г., ²Дзодзуашвили У.В., ²Ломтадзе Дж. Д.,
²Саури И.П., ¹Чихладзе В.А.

¹*Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили*
²*Научно-технический центр «Дельта»*

Производственные работы по защите сельскохозяйственных культур от градобитий в Грузии проводились в период с 1967 по 1989 гг. [1]. Этому, как в Грузии, так и в других странах, предшествовали широкомасштабные научные и опытно-методические исследования процессов образования и роста града, радиолокационных способов индикации градоопасных и градовых облаков, методологических основ активных воздействий на мощные конвективные облака и др. [2-10]. К концу 80-х годов прошлого столетия площадь защищаемой территории (ЗТ) в районах Кахетии достигала 800 тыс. га и в районах Южной Грузии – 400 тыс. га. Эффективность противоградовых работ в Грузии к этому времени составляла около 70% [9-10].

В последующие после окончания противоградовых работ годы особое внимание было уделено тщательному анализу полученного ранее материала о градобитиях как в районах с активными воздействиями на атмосферные процессы, так и в целом для территории Грузии. В частности, целый ряд работ был посвящен климатологии града и изменчивости градобитий на территории Грузии [11-19]. Обнаружилось, что в годы после прекращения противоградовых работ площади, побитые градом в Кахетии увеличились и даже стали больше, чем до начала работы противоградовой службы [11]. Были созданы эмпирические радиолокационные модели одноячейкового, мультячейкового и суперячейкового конвективного облака [20-23], построены детальные карты распределения радиолокационных параметров конвективных облаков над территорией Кахетии [24-27]. Предложена концепция взаимодействия аэрозолей с конвективными облаками и стимулирования процессов образования ядер конденсации и кристаллизации в них с учетом электрических, ионизационных и других процессов, протекающих в атмосфере и облаках. На основании концепции предполагается, что это взаимодействие должно характеризоваться региональными особенностями, обусловленными как физическими условиями процессов образования облачности, так и физико-химическими свойствами аэрозольно-газового загрязнения воздуха [28-29].

Было установлено, что ионизация атмосферы естественными и антропогенными источниками (радионуклиды – радон и др., космическое излучение, гамма излучение почвы) играет существенную роль в образовании вторичных аэрозолей в атмосфере, в том числе и ядер конденсации, оказывающих большое влияние на формирование микрофизической структуры облаков [30-32]. Оценки влияния антропогенного (в том числе и радиоактивного) загрязнения атмосферы на интенсивность грозовых и градовых процессов, а также режим осадков [33-36], показали, что связь этого загрязнения с указанными явлениями атмосферы имеют достаточно сложный характер. В целом же аэрозольное загрязнение атмосферы приводило к усилению интенсивности градобитий и, соответственно, к уменьшению эффективности противоградовых работ [35, 36].

Учитывая важность работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, в том числе и борьбе с градом, перед правительством страны неоднократно ставился вопрос в необходимости возобновления этих работ [37,38]. Наконец, в 2014 году было принято решение о восстановлении в Грузии работ по модификации погоды, и в первую очередь – противогодовой службы в Кахетии [39]. С этого момента начался новый этап развития научных и практических изысканий в области активного воздействия на атмосферные процессы в Грузии. Были проведены аналитические исследования современных методов воздействия на конвективные процессы [40], обозначены контуры организационной структуры воссоздаваемой службы борьбы с градом [41] с учетом новых достижений в области активных воздействий на атмосферные процессы [10]. Учитывая, что после 25-летнего перерыва в работе противогодовой службы возникла проблема острой нехватки специалистов по активным воздействиям на погоду, было решено силами Института геофизики при поддержке научно-технического центра «Дельта» в краткие сроки провести подготовку соответствующих кадров, которым, помимо специальной [2-10], необходима и общая информация о градовых процессах в Грузии, особенно в Кахетинском регионе. Ниже представлены обобщенные данные многолетних исследований основных характеристик градовых процессов в Кахетии, которые могут быть полезны для работников противогодовой службы.

Общая характеристика региона.

Кавказ является одним из наиболее градоопасным регионом мира. Сложность рельефа, большие высоты над уровнем моря, высокие температуры подстилающей поверхности, способствующие усиленной конвекции, а также большое влагосодержание воздушных масс, приходящих с бассейна Черного моря, и обуславливают возникновение из года в год в тех или иных районах Кавказа интенсивных градовых процессов.

Табл. 1

Повторяемость фронтальных и внутримассовых градовых процессов, степень градоопасности Кавказского региона, высоты работ противогодовой службы [9]

Показатель	Вост. Грузия	Армения	Азербайджан	Сев. Кавказ, Краснодарский край
Фронтальные процессы (%)	81	69		87
Внутримассовые процессы (%)	19	31		13
Степень градоопасности (отн. ед.)	1	0.8	0.7	1
Высоты работ	200-1800	150-500	200-2000	200-1400

В частности, в [9] введен параметр, количественно характеризующий интенсивность градобитий, названный степенью градоопасности, максимальное значение которого составляет 1. К наиболее градоопасным районам бывшего СССР, где проводились противогодовые работы, относятся Грузия, Краснодарский край и Северный Кавказ (степень градоопасности 1). Степень градоопасности для Армении составляет – 0.8, для Азербайджана – 0.7 (табл. 1). К наименее градоопасным – Таджикистан (степень градоопасности 0.3). Для других регионов бывшего СССР степени градоопасности соответственно составляют: Молдавия и Узбекистан – 0.6, Одесская область – 0.5, Крым – 0.4. В Кавказском регионе (табл. 1) градовые процессы, главным образом, происходят при фронтальных процессах (69 – 87% случаев), реже – при внутримассовых процессах (13 -31 % случаев).

Климатология града.

О градобитиях, как о чрезвычайно опасном явлении для Грузии, имеются записи древних летописцев, а с середины XIX века газеты систематически публиковали сообщения о последствиях градобития. Так, упоминается о разрушении языческих идолов градом и ураганом в предхристианскую эпоху (IV век) в Грузии, вызванных молитвами Святой Нино [42]. Вахушти Багратиони [43] упоминает частые градобития в местности от Хеви до Сванетии, которые существенно повреждали выращиваемые здесь зерновые культуры (пшеница, ячмень, овес). В то же время, Вахушти Багратиони не упоминает о серьезном вреде от градобитий в других областях Грузии, в том числе и в Кахетии, где в средние века выращивали зерновые культуры, виноград, фрукты, хлопок, рис и др. По мнению авторов [44] причиной безградовой Кахетии в те времена могла быть значительная лесистость этого региона (более 80 % территории в 1730-1740 гг.), которая со временем уменьшилась, усилились конвективные процессы, приводящие к градобитиям. Газета «Иверия» в июле 1877 года сообщала о выпадении града с голубинное яйцо, уничтожившей посева и виноградники в Гурджаанском районе [19].

В настоящее время в Грузии мест, где бы не выпадал град, нет. Наименьшее число дней с градом наблюдается на Черноморском побережье и в Колхидской низменности. Здесь среднее число дней с градом за год не превышает 2, а наибольшее число дней с градом достигает 9 (Поти). Град может выпасть в течение года в любом месяце. В отличие от Восточной Грузии, здесь наблюдаются зимние и поздние осенние градобития, возникающие в циклонах, ложбинах циклонов, в передней части гребней и в малоградиентных полях давления.

В Восточной Грузии число дней с градом в год увеличивается и в Кахетии составляет 2–3, на Южно-Грузинском нагорье – 7–10, а в центральной части Большого Кавказа – более 6. Наибольшее же число дней с градом на Южно-Грузинском нагорье и в центральной части Большого Кавказа превышает 20 в течение года. Здесь градовые процессы отмечаются в теплый период года, и наиболее активны весной и в первой половине лета, когда создаются благоприятные условия для развития конвективных облаков. В сезонном ходе числа дней с градом максимум приходится в основном в мае и июне, в Центральной части Большого Кавказа вторичный максимум выпадения града отмечается в сентябре [12, 14, 16-19, 45-49].

Табл. 2

Статистические характеристики числа дней с градом в в теплое полугодие Кахетии
в 1941-1990 гг.

Станция	max	$N_{(41-90)}$	σ	$C_v, \%$	$CONF_L$	$CONF_U$
Гомбори (1160 м)	10	3.5	2.70	77	2.52	4.48
Сагареджо (806 м)	5	2.1	1.40	67	1.59	2.61
Ахмета (690 м)	4	1.38	1.19	86	0.94	1.82
Кварели (410 м)	8	1.8	1.54	85	1.24	2.36
Телави (562 м)	7	1.88	1.69	90	1.26	2.50
Лагодехи (435 м)	5	1.1	1.15	104	0.68	1.52
Гурджаани (415 м)	6	2.22	1.61	72	1.63	2.81
Цнори (294 м)	4	0.86	1.01	117	0.49	1.23
Алазани (200 м)	4	0.96	1.11	115	0.56	1.36
Шираки (550 м)	4	1.48	1.13	76	1.07	1.89

Существенное влияние на распределение числа дней с градом оказывает высота местности. При этом число дней с градом увеличивается примерно до высот 3000 м над уровнем

моря, а затем – убывает [12, 19, 45, 49]. Эффект увеличения числа градобитий усиливается в результате развития восходящих потоков перед препятствиями, усиления турбулентности в приземном слое воздуха и, как следствие, увеличения конвективной облачности. Однако, характер изменения числа дней с градом с высотой зависит от конкретного района, его климатических особенностей, экспозиции склона и других факторов.

В табл. 2 представлены статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие (апрель-сентябрь) в Кахетии в 1941-1990 гг. для 10 метеорологических станций.

Как следует из этой таблицы, в указанный период времени максимальное число дней с градом изменялось от 4 (Ахмета, Цнори, Алазани, Шираки) до 10 (Гомбори), среднее число дней с градом $N_{(41-90)}$ от 0.86 (Цнори) до 3.5 (Гомбори), стандартное отклонение σ – от 1.01 (Цнори) до 2.70 (Гомбори), коэффициент вариации C_v - от 67% (Сагареджо) до 117% (Цнори) [12]. В последних двух столбцах таблицы представлены значения нижнего $CONF_L$ и верхнего $CONF_U$ уровней 99% доверительного интервала величин $N_{(41-90)}$ с учетом автокорреляции в рядах наблюдений за числом дней с градом с лагом 1 год.

В период с 1941 по 1990 гг. в Грузии наблюдалась общая тенденция уменьшения числа дней с градом. Так, для 122 метеорологических станций (81 станция для Западной Грузии и 41 станция для Восточной Грузии), было установлено, что уменьшение среднего числа градобитий в указанный период времени для всей территории Грузии отмечалось на 65 станциях (в Восточной и Западной Грузии соответственно на 21 и 47 станциях), увеличение – на 14 станциях (в Восточной и Западной Грузии соответственно на 6 и 4 станциях), неизменность – на 43 станциях (в Восточной и Западной Грузии соответственно на 14 и 30 станциях). При этом, в Западной Грузии уменьшение числа дней с градом происходило сильнее, чем в Восточной [13,14].

Возможно, это связано с особенностями изменения климата в этих районах Грузии (похолодание и неизменность в Западной Грузии и потепление – в Восточной), обусловленными неравномерной эмиссией парниковых газов и аэрозолей (в Восточной Грузии эта эмиссия значительно выше, чем Западной), своеобразиями изменчивости общей циркуляции атмосферы и др. причинами [50-53]. Что касается Кахетии, то здесь (данные 8 метеостанций, кроме Гомбори и Алазани, указанных в табл. 1), по сравнению с контрольными территориями (Бакуриани, Ципа, Сакара, Джава, Гудаури, Гори, Мухрани, Душети), в годы с воздействием уменьшение числа дней с градом происходило с меньшими темпами [11, 15].

По всей видимости, это происходило в результате роста антропогенного загрязнения атмосферы над защищаемой территорией из-за переноса примесей от наиболее загрязненного города Грузии Тбилиси, а также промышленных и энергетических объектов, расположенных в Рустави, Гардабани, Каспи (контрольные территории расположены в экологически более чистой местности). Как было отмечено выше, рост антропогенного загрязнения атмосферы оказывал существенное влияние на динамику градовых процессов и эффективность работы противоградовой службы в Кахетии [35].

Детальное исследование влияния глобального потепления на климатологию града и методы оценки физической эффективности противоградовой защиты, учитывающий тренд градоопасности региона, выполнено для Северного Кавказа [10, 54]. К сожалению, из-за отсутствия надежных данных наблюдений за последние годы, а также отсутствия соответствующей противоградовой службы, эта проблема для условий Грузии к настоящему времени не может быть рассмотрена. На ее территории в последние два десятилетия функционирует всего 18 метеостанций. Тем не менее, некоторое представление об этом дает таблица 3, где представлены данные 6 метеостанций и постов в Кахетии, которые функционируют и в настоящее время.

В таблице 3 представлены данные об изменчивости среднего числа дней с градом в теплое полугодие в Кахетии в годы, когда не производились работы по воздействию на

градовые процессы (1941–1963), производились работы по борьбе с градом (1967–1989) и в годы, когда прекратилась деятельность противоградовой службы (1990–2012). Как следует из этой таблицы, в годы с воздействием в среднем на метеостанцию происходило уменьшение числа дней с градом (1.36 в 1967–1989 гг. против 2.14 в 1941–1963 гг. и 1.57 в 1990–2012 гг.). Что касается Ахмета, Телави и Гурджаани, то здесь в периоды без воздействия среднее число дней с градом мало отличаются друг от друга.

Отметим также, что величины $N_{(1990-2012)}$ для станций Ахмета, Телави, Лагодехи и Гурджаани (табл. 3) попадают в 99% доверительный интервал величин $N_{(41-90)}$ с учетом автокорреляции в рядах наблюдений (табл. 2). Значения $N_{(1990-2012)}$ для станций Сагареджо и Кварели чуть меньше величин нижнего уровня доверительного интервала $N_{(41-90)}$ (табл. 2 и 3). То есть, данные табл. 2 о средних многолетних значениях числа дней с градом достаточно репрезентативны и для нынешнего времени.

Табл. 3

Статистические характеристики числа дней с градом в Кахетии в 1941-1963, 1967-1989 и 1990-2012 гг.

Станции	Сагареджо	Ахмета	Кварели	Телави	Лагодехи	Гурджаани	Среднее по 6 станциям
Параметр	1941-1963						
Среднее	2.52	1.48	2.30	2.48	1.57	2.52	2.14
stdev	1.34	1.27	1.77	1.83	1.24	1.78	1.60
min	0	0	0	0	0	0	0
max	5	4	8	7	5	6	8
	1967-1989						
Среднее	1.61	1.22	1.35	1.22	0.70	2.09	1.36
stdev	1.16	1.17	1.19	1.31	0.93	1.41	1.26
min	0	0	0	0	0	0	0
max	4	4	4	5	3	5	5
	Разность (1967-1989) и (1941-1963)						
	-0.91	-0.26	-0.96	-1.26	-0.87	-0.43	-0.78
Значимость по крит. Стьюдента	0.02	0.45	0.05	0.01	0.01	0.35	0.001
	1990-2012						
Среднее	1.48	1.52	1.17	2.13	0.83	2.26	1.57
stdev	0.79	0.79	0.72	1.01	0.94	1.36	1.07
min	0	1	0	0	0	0	0
max	3	4	2	4	3	5	5
	Разность (1990-2012) и (1967-1989)						
	-0.13	0.30	-0.17	0.91	0.13	0,17	0.21
Значимость по крит. Стьюдента	незнач.	0.3	незнач.	0,015	незнач.	незнач.	0.15

Интенсивность градобитий.

Интенсивность градобитий в значительной степени зависит от размеров градин и продолжительности градобития. Диаметр градин колеблется в широких пределах, от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Согласно В.М. Гигинеишвили [45], максимальный диаметр града, выпавшего в Восточной Грузии составляет 4–5 см. В Самсарском районе Восточной Грузии И.Г. Бартишвили [55] отмечает выпадение градин диаметром 3 см, в Алазанской долине той же Восточной Грузии преимущественно выпадают градины диаметром

1.4–1.8 см [56,57]. Г.К. Сулаквелидзе приводит факт выпадения града на Северном Кавказе диаметром 8 см [4]. В целом, для территории Кавказа в большинстве случаев характерно выпадение мелкого интенсивного града – около 70%. Повторяемость выпадения среднего (20-30 мм) и крупного (диаметром более 30 мм) града составляет 25-30%. При этом на Северном Кавказе и в Грузии повторяемость града диаметром 30-50 мм доходит до 10%, а в Армении составляет только 1%. В 4% градобитий в Грузии и на Северном Кавказе выпадает град диаметром более 50 мм, по территории Армении эта доля не превосходит 1% [17, 49].

Чем больше размеры градин, тем сильнее эффект воздействия, например, градины диаметром более 5 см оказывают очень сильный – катастрофический эффект. С уменьшением размеров градин эффект воздействия уменьшается и градины диаметром менее 5 мм оказывают слабый эффект. Выпавший град образует на поверхности земли градовую дорожку. Градовые дорожки исследовались многими авторами [4, 45 и др.]. Согласно В.М. Гигинеишвили [45], в Восточной Грузии средняя длина градовых дорожек колеблется в пределах 20–30 км, а средняя ширина колеблется в пределах 5–7 км, таким образом площадь занятая градобитием составляет в среднем 100–200 км². Максимальная длина градовых дорожек, также по данным В.М. Гигинеишвили, составляет 100 км, а максимальная ширина равна 10 км. На Северном Кавказе максимальная длина градовой дорожки оценена величиной примерно в 400 км [4].



Рис. 1
Фотографии выпавшего града в Кахетии

В качестве примера на рис. 1 представлены фотографии выпавшего в Кахетии крупного града. Слева - 19 июля 2012 г., (<http://www.ghn.ge/news-70944.html>), справа - 15 мая 2013 г., (<http://gpressgroup.wordpress.com/2013/05/15/ბეჭყვს-ჯებჯთბი/>). Как следует из правой фотографии, размеры отдельных градин превышали 5 см.

В работах [17-19], на основании анализа литературных данных, предложена шкала интенсивности градобитий с учетом размера выпавших градин, площадей 100% повреждения и возможного повреждения и ущерба.

Градобития интенсивностью 1 балл (диаметр градин ≤ 5 мм, площадь повреждения менее 100 га, эффект слабый). При таких градобитиях частично повреждаются посевы и листья деревьев. Градобития интенсивностью 2 балла (диаметр градин 6-10 мм, площадь повреждения 100 - 500 га, эффект умеренный). Заметно повреждаются сады, виноградники, зерновые культуры и посевы. Градобития интенсивностью 3 балла (диаметр градин 11-20 мм, площадь повреждения 600 - 1000 га, эффект средний). Повреждаются парники, окна зданий и транспортных средств, матерчатые перекрытия и навесы, частично повреждаются крыши

зданий, сады, виноградники и посевы зерновых культур. Градобития интенсивностью 4 балла (диаметр градин 21-50 мм, площадь повреждения 1100 - 5000 га, эффект сильный). Полностью уничтожаются посевы, пробиты крыши домов, разбиты стекла окон, побиты домашние птицы и мелкий скот. Повреждаются стены кирпичных зданий, разбиты стекла транспортных средств и повреждаются их корпуса. Существует риск повреждения корпусов легких самолетов. Градобития интенсивностью 5 баллов (диаметр градин более 50 мм, площадь повреждения более 5000 га, эффект очень сильный). Полное уничтожение урожая сельскохозяйственных культур, посевов и пастбищ. Разрушение деревянных зданий, серьезное повреждение кирпичных зданий, корпусов самолетов и автомобилей, разрушение крыш некоторых зданий. Имеются жертвы домашнего скота, наличие риска гибели людей.

Следует отметить, что указанная шкала градобитий имеет достаточно общий характер. При сопровождении градобитий сильным или ураганным ветром значительно повышается степень повреждения как растений, так и строений и транспортных средств. В этих случаях даже градины небольшого диаметра, характерные для интенсивности 1-2 балла, могут приводить к ущербу, присущему градобитиям 3 и более баллов, не говоря о выпадении более крупного града. Крупные градины, вкупе с сильным или ураганным ветром, могут приводить к катастрофическим последствиям как экономического, так и гуманитарного характера (разрушение домов, транспортных средств, электропередающих коммуникаций, гибель домашних животных и людей, и др.). Еще более тяжелые последствия могут быть при сопровождении указанных процессов интенсивными ливнями, приводящими, помимо сказанного выше, к наводнениям, селям, оползням.

Продолжительность градобитий.

В Восточной Грузии продолжительность града менее 5 мин составляет около 60% случаев, в 80% случаев составляет менее 10 мин. Повторяемость продолжительности града более получаса составляет всего 3%, а повторяемость градобития продолжительностью более часа составляет менее 1%. Исходя из этих данных, средняя продолжительность градобития составляет 9–10 мин. В частности, наиболее продолжительные градобития отмечены 21 мая 1982 года в Кахетии (Сигнахи, Анага, Гурджаани, Тибаани), когда выпадение града длилось 240 минут, а также 8 июня 1986 года на Южно-Грузинском нагорье (Цалка), когда градобитие продолжалось 210 мин. [19].

Месячная и декадная повторяемость числа дней с градом.

По данным многолетних наблюдений метеорологических станций, град в Кахетии наблюдается во все месяцы с апреля по октябрь (рис. 2,3) [45].

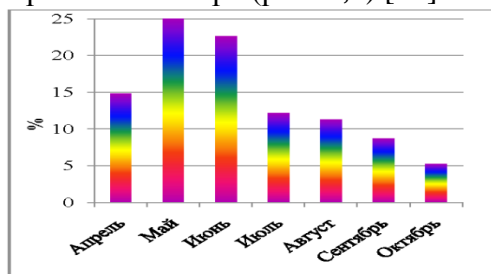


Рис. 2

Месячная повторяемость числа дней с градом в Кахетии.

Наибольшее среднемесячное число дней с градом (рис. 2) отмечается в мае (25% случаев), чуть меньше – в июне (около 23% случаев), меньше всего в октябре (5% случаев).

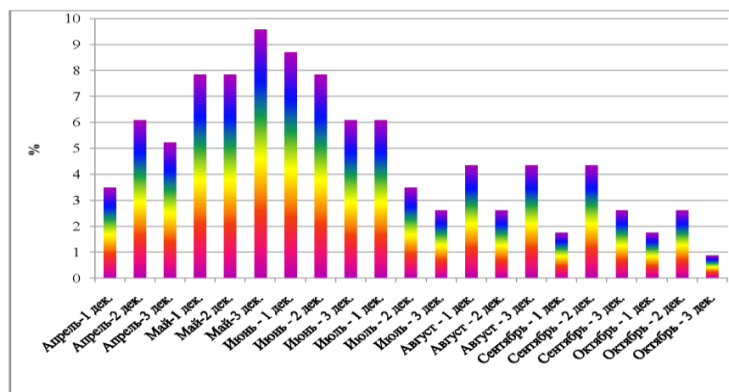


Рис. 3

Декадная повторяемость числа дней с градом в Кахетии.

Наибольшее среднемесячное число дней с градом (рис. 2) отмечается в мае (25% случаев), чуть меньше – в июне (около 23% случаев), меньше всего в октябре (5% случаев). Максимум среднедекадного числа дней с градом (рис. 3) приходится на третью декаду мая (9.6% случаев), минимум – на третью декаду октября (около 0.9% случаев).

Суточный ход градовых процессов.

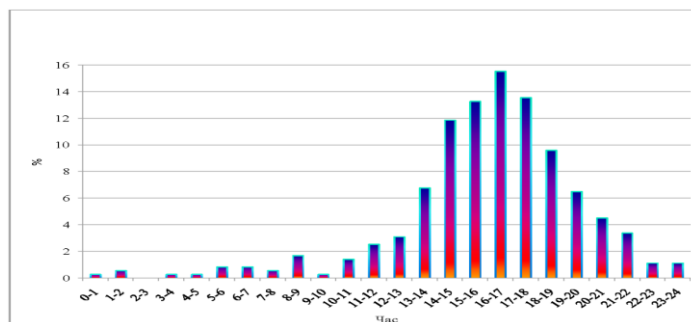


Рис. 4

Повторяемость градовых явлений по отдельным часам суток в Кахетии.

Выпадение града в Кахетии может наблюдаться практически в любое время суток [45]. Чаще всего град выпадает во второй половине дня, с 16 до 17 часов (15.5% случаев). Нередки случаи выпадения града в вечерние и ночные часы (рис. 4), реже в полуночные и ранние утренние. Алазанская долина представляет собой обширную и глубокую межгорную котловину, где в теплую половину года, благодаря большому различию термодинамических условий, между застоявшимся там воздухом и проникающим над ним в свободной атмосфере холодным воздухом возникают бурные процессы облакообразования, завихрения и развития мощных градовых процессов. К особенностям градовых процессов в Алазанской долине, в частности, можно отнести развитие ночных или поздневечерних градовых процессов на горном кряже Цив-Гомборского хребта или на склонах Главного Кавказского хребта. Благодаря этому, ночью над Алазанской долиной нередко наблюдается взрывное развитие градовых облаков.

Поэтому бороться с градобитиями в Алазанской долине труднее, чем в других районах Восточной Грузии [10, 44].

Повторяемость различных типов синоптических процессов в дни с воздействием.

Чаще всего градовые процессы (рис. 5) связаны с прохождением холодного фронта с запада (29.4% случаев) и действием волнового возмущения с юга (27.2% случаев). На внутримассовые процессы и действие фронта окклюзии приходится примерно по 1/5 случаев (20.7% и 19.3% соответственно). Очень редко градовые процессы в Кахетии связаны с волновой деятельностью в полярном фронте (2.4% случаев) и прохождением холодного фронта с востока (1.0% случаев) [56, 57].



Рис. 5

Повторяемость различных типов синоптических процессов над Кахетией в дни с воздействием в 1961-1966, 1982-1989 гг. (%)

Высота нулевой изотермы.

Одним из важнейших условий, определяющим образование и развитие градовых облаков, является толщина их переохлажденной части [3-10]. Кроме этого, данные об уровнях отрицательных температур в облаках необходимы для определения оптимальных зон засева в них льдообразующим реагентом при проведении операций по прерыванию града, вызыванию осадков и др. [8-10]. На рис. 6 представлены данные о среднедекадных значениях высоты нулевой изотермы $H_{(0^{\circ}\text{C})}$ в атмосфере в условиях Кахетии в дни с конвективной облачностью со второй декады апреля по вторую декаду октября [59]. Здесь же представлены значения изотерм -5°C и -10°C при условии уменьшения температуры воздуха с высотой на $6^{\circ}\text{C}/\text{км}$.

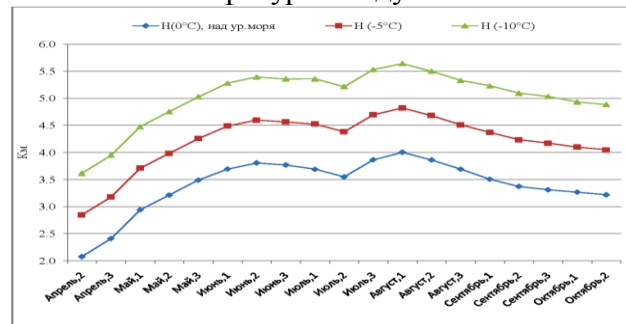


Рис. 6

Среднедекадное распределение высот нулевой изотермы, -5° и -10°C над Кахетией в дни с конвективной облачностью.

Как следует из рис. 6, среднедекадные значения нулевой изотермы над Кахетией имеют минимальное значение во второй декаде апреля (2.1 км над уровнем моря) и максимальное – в первой декаде августа (4.0 км). Со второй декады апреля по вторую декаду июня происходит рост значений $H_{(0^{\circ}\text{C})}$ с 2.1 до 3.8 км, затем некоторое уменьшение по вторую декаду июля до 3.5 км, снова рост по первую декаду августа до 4.0 км и уменьшения по вторую декаду октября до 3.2 км.

Следует отметить, что значения $H_{(0^{\circ}\text{C})}$ в дни с конвективными облаками ниже, чем во все дни наблюдений. Так, с мая по сентябрь среднемесячные значения высоты нулевой изотермы во все дни наблюдений [58] в среднем на 0.3 км выше, чем в дни в конвективной облачностью [59]. Наибольшая разность отмечается в в июле (0.5 км), наименьшая – в июне (0 км).

Важно учесть, что данные, представленные в работах [59,60], были получены в шестидесятых – семидесятых годах прошлого столетия. Учитывая, что в Восточной Грузии наблюдается процесс потепления [50,51], в настоящее время над Кахетией возможно некоторое повышения уровня нулевой изотермы по сравнению с вышеприведенными значениями.

Направление и скорость перемещения градовых ячеек и облаков.

Большинство градовых процессов зарождаются за пределами защищаемой территории и продолжают свое перемещение над ЗТ, принося ущерб расположенным на ее территории сельскохозяйственным угодиям, автотранспорту, строениям и др.

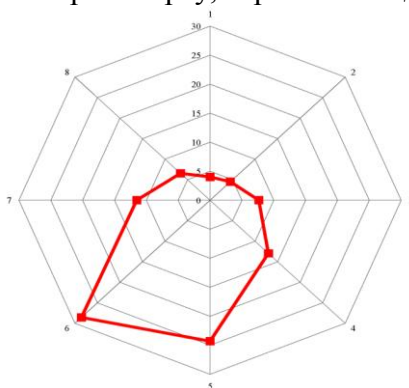


Рис. 7

Повторяемость направления перемещения градоопасных и градовых ячеек в Кахетии (%).

На рис. 7 представлена диаграмма повторяемости направления перемещения градоопасных и градовых ячеек над территорией Кахетии [59]. Как следует из этого рисунка большинство (77 %) ячеек перемещаются на ЗТ с запада, юго-запада, юга и юго-востока. Градоопасные ячейки перемещаются со средней скоростью 24 км/час, а градоносные – со скоростью 27 км/час. Скорость перемещения ячеек изменяется от ≤ 10 км/час до > 50 км/час [61].

Более подробная информация о направлениях перемещения градоопасных и градовых облаков [56, 62] представлена на рис.8. Данная карта распределения облаков по территории Кахетии дает как общую картину по всей территории, так и по отдельным квадратам со сторонами 5×5 км². При направлении ведущего потока в 240° , направление перемещения градовых облаков в отдельных квадратах в основном имеет юго-западное направление, в пределах 220° – 260° , хотя при обтекании возвышенностей направление может составлять от 170° до 280° . Важно отметить, что ни в одном из квадратов не наблюдается перемещения в западном направлении.

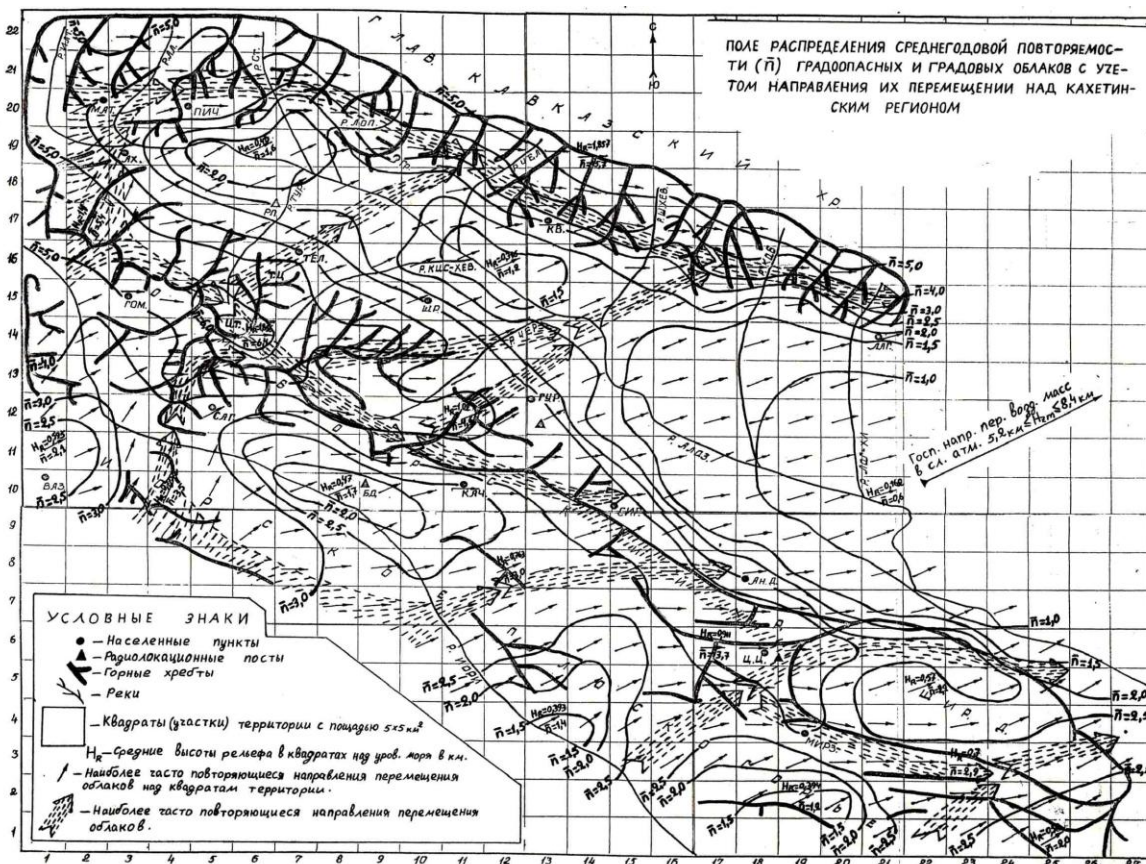


Рис.8

Поле распределения среднегодовой повторяемости (\bar{n}) градоопасных и градовых облаков с учетом направления их перемещения над Кахетией.

Направление перемещения основного потока градовых облаков имеет характерную закономерность, строго привязанную к орографии Внешней и Внутренней Кахетии. Во Внешней Кахетии облака, перемещающиеся с запада, до подхода к Цив-Гомборскому хребту в центральной части обтекают западную часть Иорского плоскогорья с северо-запада и юго-востока и направляются к виртуальной трассе вдоль юго-западных склонов Цив-Гомборского хребта, где основное направление перемещения – с северо-запада на юго-восток. Градовые облака южного сектора также перемещаются в северо-восточном направлении и по пути обтекают восточную часть Иорского плоскогорья с северо-запада и юго-востока. Градовые облака северного сектора могут перемещаться по двум основным направлениям - вдоль юго-западных склонов Цив-Гомборского хребта или на север – северо-восток, вдоль юго-восточного склона Картлийского хребта с последующим поворотом по часовой стрелке.

Во Внутренней Кахетии прослеживаются несколько трасс перемещения градовых облаков, одна из которых - вдоль юго-восточных склонов Главного Кавказского хребта в направлении с северо-запада на юго-восток, являющийся продолжением пути облаков северного сектора Внешней Кахетии. Имеется также два основных пути перемещения облаков поперек Алазанской долины – один из них начинается на юго-западном склоне Цив-Гомборского хребта в районе Гомборского перевала, проходит вдоль ущелья, по которому протекает река Турдо, пересекает Алазанскую долину в направлении ущелья реки Лопота до склонов Главного Кавказского хребта. Второй поперечник начинается на юго-западном склоне Цив-Гомборского

хребта и имеет два истока – один проходит вдоль ущелья реки Кисисхеви, по выходе в долину поворачивает и перемещается по широкой дуге в общем направлении на восток, а второй – вдоль ущелья реки Черемисхеви, затем эти трассы объединяются в районе Кучатани-Гавази, и перемещаются в направлении села Ахалсопели на северо-восток, до юго-восточных склонов Главного Кавказского хребта.

Район Цив-Гомборского хребта, а также район Дедоплис Цкаро, за исключением коридора Гомбори - долина реки Турдо и коридора вдоль долины реки Кисисхеви – область низких скоростей перемещения градоопасных облаков – 21 – 30 км/час [56, 62]. Основная часть Алазанской долины, включая коридор Гомбори - долина реки Турдо и коридора вдоль долины реки Кисисхеви – область более высоких скоростей, порядка 31 – 40 км/час. В зоне северо-западнее этой области, вдоль Главного Кавказского хребта, скорость перемещения облаков повышается до уровня 41 – 50 км/час. Далее, при приближении к водоразделу поле скоростей падает до уровня 31 – 40 км/час. На самом северо-западе Кахетии, к северо-западу от Ахмета, находится область низких скоростей перемещения градоопасных облаков – 21 – 30 км/час, окаймлённая с севера, востока и юга областью с более высокой – порядка 31 - 40 км/час скоростью перемещения облаков

Области максимальных скоростей – 61 – 70 км/час находятся в районах, прилегающих с севера, северо-востока и востока к Вазиани, в районе южнее долины реки Иори на траверсе Иор-Муганло – Тулари и в районе между Лагодехи и Цнори. Естественно, вокруг этих областей находятся зоны со сравнительно низкими (51 - 60 км/час) скоростями, переходящими в зоны со скоростями 41 – 50 км/час вдоль долины реки Иори, а также вдоль юго-западных склонов Главного Кавказского хребта. С юго-востока, в районе восточной части Иорского плоскогорья преобладает область со скоростями 41 – 50 км/час, а скорости перемещения градоопасных облаков на северо-востоке этой области и в центральной её части выше – порядка 51 – 60 км/час.

Среднемесячные значения количества дней с конвективными процессами.

На рис. 9 представлены данные о среднемесячных значениях числа дней с грозой и ливнями, а также числа дней с воздействием и градом в Кахетии в 1982-1989 гг. [57].

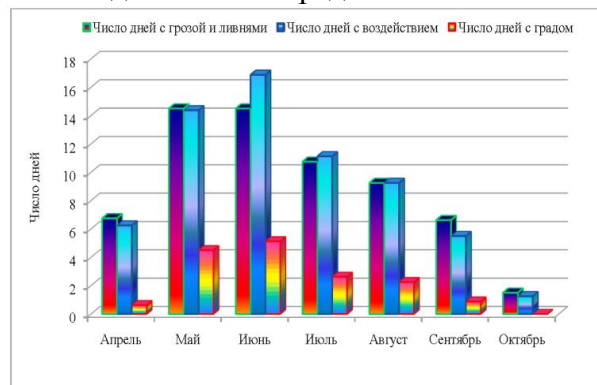


Рис. 9

Среднемесячные значения количества дней с грозой и ливнями, числа дней с воздействием и градом в Кахетии в 1982-1989 гг.

По сравнению с многолетними данными о среднемесячных значениях числа дней с градом в Кахетии (рис. 2), в период 1982-1989 гг. максимальное число дней с градом наблюдалось в июне. В этом же месяце в среднем было около 17 дней с воздействием. Число дней с грозами и

ливнями в мае и июне было одинаковым, по 14.5. В целом, в указанный период времени с апреля по октябрь было в среднем 64 дня с грозой и ливнями, 16 дней с градом и 65 дней с воздействием.

Радиолокационные модели градоопасных и градовых облаков.

В работах [20-23] проанализированы результаты многолетних радиолокационных наблюдений за 1534 конвективными облаками теплого сезона года в Кахетии. Из них на одноячейковые, многоячейковые и суперячейковые облака приходится соответственно 352, 872 и 310 конвективных облаков соответственно (табл. 4).

Табл. 4

Краткая характеристика конвективных облаков в Кахетии.

Тип облака Параметр	Одноячейковое		Мультиячейковое		Суперячейковое	
	Мод.	Мин.- Макс.	Мод.	Мин.- Макс.	Мод.	Мин.-Макс.
Скорость миграции облака в км/час.	12	3 – 16	18	9 - 64	66	25 - 78
Скорость господствующего ветра км/час.	16	10 – 22	50	28 - 110	58	10 - 100
Время жизни облака в мин.	38	30 – 70	57	8 - 108	56	44 - 119
Максимальная высота радиоэха H_m .	8.8	5 – 11.2	10.3	5.7 – 13.5	10.8	7.8 – 16.5
Высота расположения максимальной радиолокационной отражаемости в облаке H_{η_m} км.	4.7	2.3 – 7.7	5.2	3.0 – 8.2	6.7	3.9 – 10.3
Температура в свободной атмосфере на уровне H_m , °С.	-24.3	-7.4 – -48.1	-35	-21.4 – -58.5	-51.3	-31.3 - -64.1
Температура в свободной атмосфере на уровне верхней границы $H_{\Delta\eta}$, °С.	-9.9	-3.0 – -26.4	-21	-2.4 – -46.8	-11.8	- 2.8 – -52.1
Высота появления первого радиоэха, км.	3.2	2 – 5	4.4	2.7 – 8.8	4.9	4.1 – 9.8
Максимальная радиолокационная отражаемость η_m , dBZ.	47	25 - 58	56	32 - 69	65	29 - 83
Максимальный размер поперечного сечения радиоэха D_m км.	8.3	6 – 18	16	8 - 29	14	8 – 33
Максимальный размер поперечного сечения зоны повышенной радиолокационной отражаемости $D_{\Delta\eta}$, км.	4.1	5 – 14	7	4 - 10	10	5 – 14
Максимальный размер поперечного сечения радиоэха S_m км ² .	17	10 – 93.8	56	16 – 400	59	18 – 470
Максимальный размер поперечного сечения зоны повышенной радиолокационной отражаемости $S_{\Delta\eta}$, км ² .	10.2	5.4 – 42.4	19	6 - 93	31	26 – 98
Число случаев.	352		872		310	

Одноячейковые облака образуются в условиях слабо выраженного западного барического градиента или безградиентного поля давления при умеренной конвективной неустойчивости. Мульти - и суперячейковые облака развиваются при прохождении основных и

вторичных холодных фронтов и наложении этих процессов на внутримассовые процессы. Все три класса облаков, зарождающиеся на вершинах гор (обычно на Картлийском и Цив-Гомборском хребтах) или на их склонах, после их прогрева солнцем, быстро развиваются, в среднем: одноячейковые облака за 5 – 20 мин., мульти – и суперячейковые – за 10 – 20 мин.

Время жизни одноячейковых, мульти- и суперячейковых конвективных облаков соответственно составляет: 30÷70, 8÷108 и 44÷119 мин. Время от появления первого радиоэха для этих облаков соответственно составляет: до максимального развития - 13÷21, 10÷31 и 11÷30 мин.; до выпадения осадков: 12÷20, 8÷28 и 13÷30 мин.; до первой грозы: 14÷26, 18÷36 и 15÷32 мин. [20-23].

Скорость миграции облаков всех типов варьирует от 3 до 78 км/час при скорости господствующего ветра от 10 до 100 км/час. Значения H_m изменяются от 5 до 16.5 км, $H_{\eta m}$ – от 25 до 83 dBZ, D_m – от 6 до 33 км, $D_{\Delta\eta}$ - от 5 до 14 км, S_m - от 10 до 470 км², $S_{\Delta\eta}$ - от 5.4 до 98 км². Температура в свободной атмосфере на уровне H_m изменяется от -7.4 до -64.1, а на уровне верхней границы $H_{\Delta\eta}$ – от -3.0 до -52.1°С (табл. 4).

Ущерб от градобитий на территории Кахетии .

Оценка ущерба от градобитий в годы работы противоградовой службы проводилась органами государственного страхования, местными агропромышленными организациями (РАПО – районные агропромышленные объединения), а также специальным экономическим отделом Службы борьбы с градом. Обычно, размеры ущерба, определенные этими организациями, отличались друг от друга. Ниже представлены данные об ущербе от градобитий на основании анализа данных госстраха по обследованию поврежденных градом территорий.

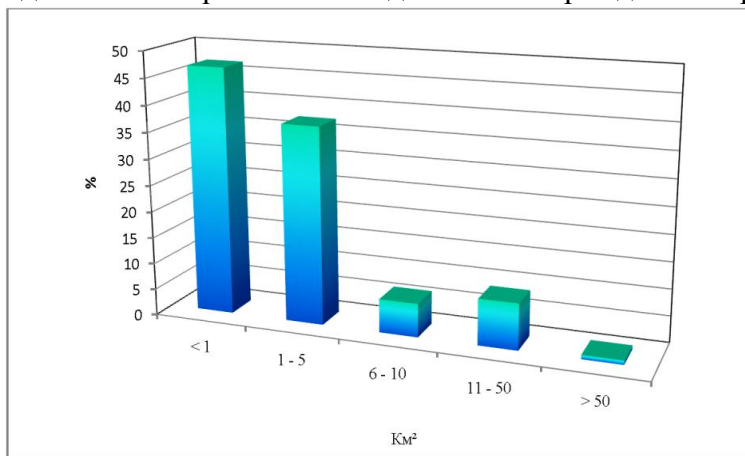


Рис. 10

Повторяемость площадей, поврежденных градом на 100 % в Кахетии в 1982, 1984-1989 гг.

На рис. 10-13 представлены результаты анализа 124 дней с градом в Кахетии в 1982, 1984-1989 гг о повторяемости поврежденных градом на 100 % территориях в день с градом, повторяемости экономического ущерба в день с градом, повторяемости экономического ущерба по площадям градобитий и площадям, поврежденные градом на 100% на территориях угодий отдельных населенных пунктов.

Град в день с градобитием наиболее часто повреждал территории площадью менее 1, а также от 1 до 5 км² (соответственно в 46 и 37.9% случаев). Территории площадью 6-10 км² повреждаются на 100% в менее 7% случаев, 11-50 км² – в 9% случаев, более 50 км² – в менее 1%

случаев (рис. 10). В среднем в день с градом на 100% поврежденная территория составляла 4.0 км².

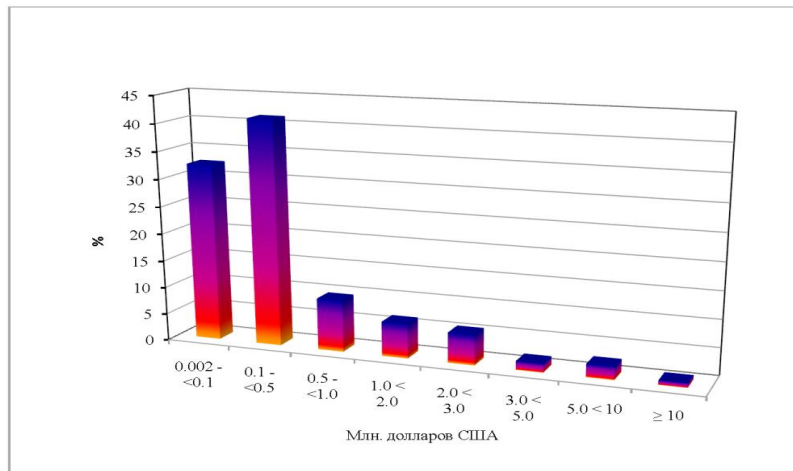


Рис. 11
Повторяемость экономического ущерба в день с градом в Кахетии в 1982, 1984-1989 гг.

Наиболее часто в день с градом ущерб от градобитий составлял 100-500 тыс. долларов США (чуть более 41% случаев), ущерб до 100 тыс. долларов был в 32.3% случаев. В 9.7% случаев градобития в день с градом повреждали сельскохозяйственные культуры на сумму от 0.5 до 1 млн. долларов, от 1.0 до 2.0, от 2.0 до 3.0, от 3.0 до 5.0, от 5.0 до 10.0 и более 10 млн. долларов соответственно в 6.5, 5.6, 1.6, 2.4 и 0.8 % случаев (рис. 11). В среднем в день с градом ущерб составлял 0.827 млн. долларов.

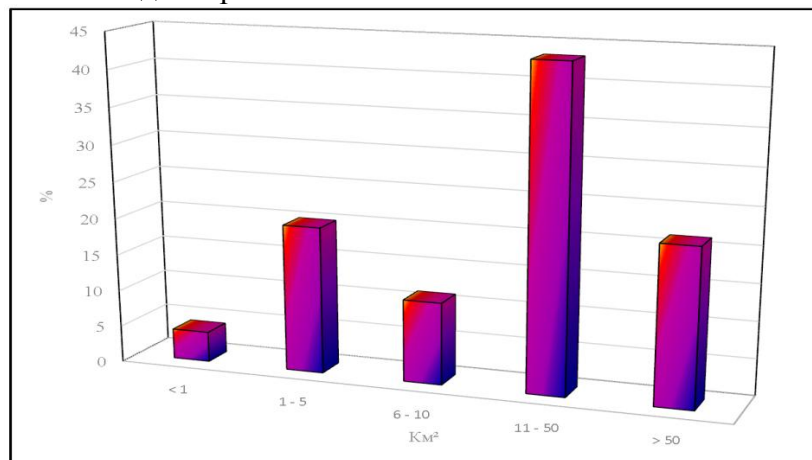


Рис.12
Повторяемость экономического ущерба по площадям градобитий в Кахетии в 1982, 1984-1989 гг

Как следует из рис. 12, наибольший ущерб в Кахетии приносили градобития интенсивностью 4 балла (площадь повреждения на 100 % 11-50 км², ущерб - 43.3% от общего экономического ущерба). Примерно одинаковый экономический ущерб приходился на градобития интенсивностью 2 и 5 баллов (соответственно, площади повреждения 1-5 км² и более 50 км², ущерб - 20.1 и 21.4% от общего экономического ущерба). Наименьший экономический ущерб приходился на градобития интенсивностью 1 балл (площади

повреждения менее 1 км², ущерб - 4.0% от общего экономического ущерба). Градобития интенсивность 3 балла (площади повреждения 6-10 км²) приносили экономический ущерб в размере 11.2% от суммарного экономического ущерба.

Ущерб от градобитий на территориях угодий муниципалитетов и отдельных населенных пунктов Кахетии

В табл. 5 приведены данные об общих и среднегодовых значениях числа случаев с градом и площадей, поврежденные градом на 100%, на территориях муниципалитетов Кахетии в 1982, 1984-1989 гг. Здесь же приведены данные о количестве населенных пунктов, сельскохозяйственные угодия которых пострадали от градобитий.

Табл. 5

Общие и среднегодовые значения числа случаев с градом и площадей, поврежденные градом на 100%, на территориях муниципалитетов Кахетии в 1982, 1984-1989 гг.

Муниципалитет	Площадь, км ² (колич. насел. пункт.)	Общее число случаев с градом по насел. пункт. (% от суммы)	Общий ущерб на 100%, км ² (% от суммы)	Среднее в год число случаев с градом по насел.пункт.	Средний в год ущерб на 100%, км ²
Ахмета	2208 (12)	46 (8.4)	25 (5.1)	6.6	3.6
Гурджаани	846 (21)	122 (22.3)	105 (21.3)	17.4	15.1
Дедоплисцкаро	2529 (14)	51 (9.3)	44 (8.8)	7.3	6.2
Кварели	1000 (11)	44 (8.0)	54 (10.9)	6.3	7.7
Лагодехи	890 (15)	36 (6.6)	21 (4.2)	5.1	3.0
Сагареджо	1491 (16)	51 (9.3)	62 (12.5)	7.3	8.9
Сигнахи	1251 (13)	39 (7.1)	68 (13.6)	5.6	9.7
Телави	1078 (21)	158 (28.9)	117 (23.6)	22.6	16.7
Сумма	11293 (123)	547 (100)	496 (100)	78.1	70.8

Как следует из табл. 5, за указанный промежуток времени всего пострадали сельхозугодия 123 населенных пунктов. При этом, наибольшее число этих населенных пунктов относилось к Телавскому и Гурджаанскому муниципалитетам (по 21 населенному пункту, наименьшее – к Кварельскому муниципалитету (11 населенных пунктов). За этот период времени на 123 населенных пунктах всего было зафиксировано 547 случаев с градом (или, в среднем, 78 случаев с градом). Наибольшее число дней с градом было зафиксировано на территориях 21 населенного пункта Телавского муниципалитета (28.9 % случаев), наименьшее – территориях 15 населенных пунктов Лагодехского муниципалитете (6.6% случаев). Соответственно, наибольший ущерб от градобитий отмечался на территории Телавского муниципалитета (117 км² поврежденных на 100% сельхозугодий за 7 лет, или 16.7 км² в год, что составляло 23.6% от общей площади поврежденных на 100% площадей). Наименьшее - на территории Лагодехского муниципалитета (21 км² поврежденных на 100% сельхозугодий за 7 лет, или 3.0 км² в год, что составляло 5.1% от общей площади поврежденных на 100% площадей). Среднегодовой ущерб от градобитий на всей территории Кахетии за указанный период времени составлял 70.8 км² поврежденных на 100% площадей сельхозугодий.

Для сравнения отметим, что в 1982, 1984-1989 гг. по данным [1], площадь ЗТ изменялась от 6700 до 7850 км² (среднее значение – 7664 км²), площадь сельхозугодий – от 2810 до 4810 км² (среднее значение – 4381 км²). Максимальная площадь, поврежденная градом на 100%, составляла 205.9 км², минимальная – 8.7 км², средняя – 62 км² (по данным табл. 5 несколько выше -70.8 км²). Максимально ожидаемая площадь сельхозкультур, поврежденных градом на

100% без воздействий на градовые облака, составляла 377 км², минимальная – 80 км², средняя – 208 км². Или, соответственно, по отношению к площади сельхозугодий, 8.6, 1.8 и 4.75 %. С учетом данных табл. 5 среднегодовой ущерб от градобитий составлял 1.6% от средней площади сельхозугодий в то время, или меньше ожидаемого минимального и среднего ущерба в отсутствии противоградовых работ, несмотря на различие оценок площадей поврежденных градом сельхозкультур по данным госстраха и [1]. В среднем за указанные семь лет экономический эффект по данным госстраха составлял 66%, против 70% по данным [1].

Табл. 6

Число дней с градом на территориях угодий отдельных населенных пунктов Кахетии в 1982, 1984-1989 гг.

Среднее число дней с градом в год (за 7 лет)	Населенный пункт (Муниципалитет).
0.14 (1)	Ахалшени, Дуиси, Хорхели (Ахмета); Совхоз Лакбе (Гурджаани); Дедоплисцкаро, Зилича (Дедоплисцкаро); Балгоджиани (Кварели); Апени, Арешперани, Бебуриани, Гургениани, Кабали, Картубани, Совхоз Орджоникидзе (Лагодехи); Тулари, Удабно (Сагареджо); Дзвели Анага (Сигнахи); Лапанкури, Телапи (Телапи)
0.29 (2)	Кистаури (Ахмета); Джимити, Кодало, Чалаубани (Гурджаани); Сабатло (Дедоплисцкаро); Гавази, (Кварели); Гиоргети, Лелиани (Лагодехи); Верхвиани, Ламбало, Хашми (Сагареджо); Анага, Вакири, Квемо Мачхаани, Санерге, Совхоз Ульяновский (Сигнахи); Джугаани, Караджала (Телапи)
0.43 (3)	Земо Алвани (Ахмета); Арашенда (Гурджаани); Архило, Земо Мачхаани, Колхоз им. Ленина, Самтацкаро (Дедоплисцкаро); Кварели, Мтисдзире, Энисели (Кварели); Нинигори, Пона, Цоднискари, Чабукиани (Лагодехи); Богдановка, Гиоргицминда, Кандаура, Чаилури, Шиблиани (Сагареджо); Сакобо, Ульяновка, Хирса (Сигнахи)
0.57 (4)	Ахмета, Маграани, Матани (Ахмета); Мелаани (Гурджаани); Гамарджвеба, Джапаридзе, Мирзаани (Дедоплисцкаро); Киндзмараули, Чикаани (Кварели); Баисубани (Лагодехи); Какабети, Манави, Тохлиаури (Сагареджо); Бодбисхеви, Тибаани (Сигнахи)
0.71 (5)	Панкиси (Ахмета); Колаги, Наниани, Шашвиани (Гурджаани); Квемо Кеди, Озаани (Дедоплисцкаро); Греми (Кварели); Ниноцминда, Патардзеули (Сагареджо); Бодбе (Сигнахи); Гулгула, Кондоли, Лалискури, Саниоре (Телапи)
0.86 (6)	Ожио (Ахмета); Карданахи, Качрети, Чумлаки (Гурджаани); Арбошики (Дедоплисцкаро); Сабуе, Шилда (Кварели); Сагареджо (Сагареджо); Нукриани (Сигнахи); Курдгелаури, Руиспири (Телапи)
1.0 (7)	Земо Ходашени (Ахмета); Ахашени, Бакурцихе, Калаури (Гурджаани); Земо Кеди (Дедоплисцкаро); Ахалсепели (Кварели); Напареули, Шалаури (Телапи)
1.14 (8)	Квемо Алвани (Ахмета); Веджини (Гурджаани); Ванта, Пшавели (Телапи)
1.29 (9)	Вазисубани, Гурджаани, Мукузани, Чандари (Гурджаани); Шрома (Лагодехи)
1.43 (10)	Велисцихе (Гурджаани)
1.57 (11)	Икалто, Квемо Ходашени, Цинандали (Телапи)
1.71 (12)	Вардисубани, Кисисхеви (Телапи)
2.14 (15)	Бушети (Телапи)
2.57 (18)	Акура (Телапи)

Отметим, что в соответствии с [1] средняя экономическая эффективность противоградовых работ в Кахетии по данным о поврежденных на 100% территориях сельскохозяйственных угодий до начала работы противоградовой службы и в период ее

деятельности с 1967 по 1989 гг. составляла около 75%. Средняя физическая эффективность (сопоставление данных об ожидаемых и реальных случаях града) – около 85%.

В табл. 6 представлена информация о числе дней с градом, нанесших ущерб сельхозкультурам на территориях угодий 123 отдельных населенных пунктов Кахетии в 1982, 1984-1989 гг.

Как следует из этой таблицы, число дней с градом для указанных населенных пунктов изменяется в значительных пределах, от 0.14 до 2.57 в год. Десять и более дней с градом за указанные семь лет были зафиксированы в Велисцихе, Икалто, Квемо Ходашени, Цинандали, Вардисубани, Кисисхеви, Бушети и Акура. Для интереса отметим, что среднегодовое число дней с градом на один населенный пункт (табл. 6) составляло 0.64. По данным девяти метеостанций, за те же годы среднегодовое число дней с градом на одну метеостанцию в Кахетии (перечень станций в табл. 2, кроме Гомбори) было равно 1.24. Это различие легко объяснима существенной разностью в количестве пунктов, фиксирующих град (9 метеостанций и 123 населенных пункта).

На рис. 13, в качестве иллюстрации, представлена карта распределение поврежденных градом на 100% суммарных площадей на территориях угодий указанных выше 123 населенных пунктов Кахетии в 1982, 1984-1989 гг.

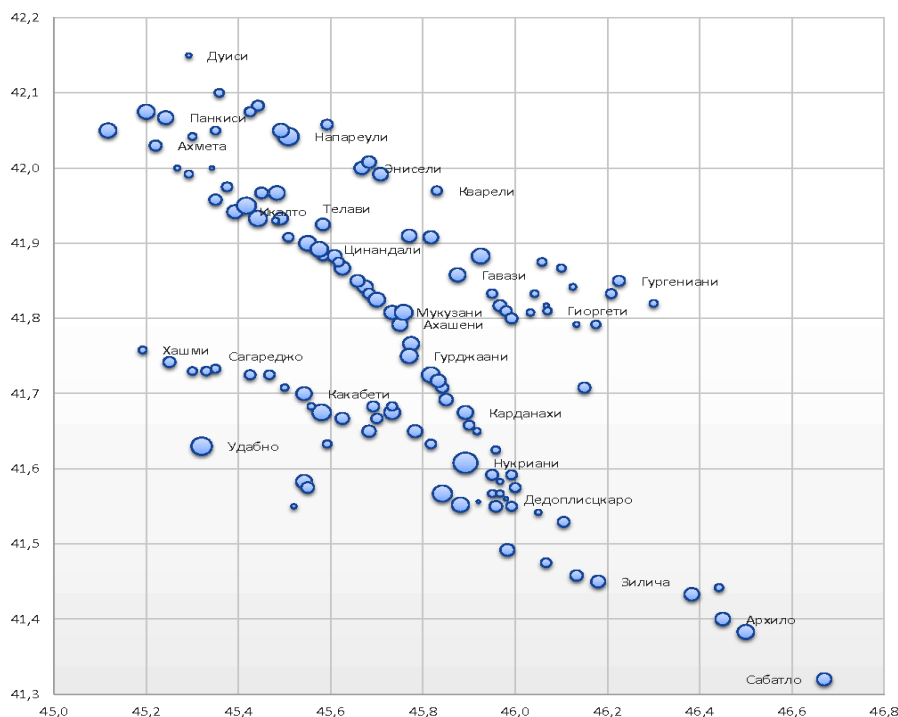


Рис.13

Площади, поврежденные градом на 100% на территориях угодий отдельных населенных пунктов Кахетии в 1982, 1984-1989 гг.

Как следует из этого рисунка, распределение поврежденных градом площадей сельскохозяйственных угодий, как и числа дней с градом на этих территориях (табл. 6), имеет весьма неравномерный характер. Наименьшая и наибольшая общая площадь сельхозкультур, поврежденная градом на 100%, за указанные семь лет отмечалась в Сигнахском муниципалитете, соответственно в Санерге (0.042 км²) и Нукриани (32.5 км²). В среднем на один

населенный пункт эта площадь составляла 4.03 км² за семь лет (или 0.58 км² в год). Для справки отметим, что средняя степень повреждения сельхозкультур от града составляла 42%. Поэтому, общая площадь повреждения без приведения к 100%-му ущербу, примерно в 2.4 раза больше, указанных выше. Соответственно, в среднем на один населенный пункт площадь повреждения сельхозкультур от града без приведения к 100%-му ущербу составляла 9.6 км² за семь лет (или 1.4 км² в год).

В табл. 7 представлены данные о среднегодовых значениях площадей, поврежденные градом на 100% на территориях угодий 123 населенных пунктов Кахетии в 1982, 1984-1989 гг. для различных диапазонов величин этих площадей.

Табл. 7

Среднегодовые значения площадей, поврежденные градом на 100% на территориях угодий отдельных населенных пунктов Кахетии в 1982, 1984-1989 гг.

Средний в год ущерб на 100%, км ² (колич. насел. пункт.)	Населенный пункт (Муниципалитет).
0.006 – 0.099 (23)	Хорхели, Ахалшени, Дуиси, Земо Алвани (Ахмета); Совхоз Лакбе (Гурджаани); Дедоплисцаро, Мирзаани, Самтацаро (Дедоплисцаро); Апени, Арешперани, Баисубани, Гиоргети, Кабали, Картубани, Совхоз Орджоникидзе (Лагодехи); Верхвиани, Хашми, Чаилури (Сагареджо); Вакири, Дзвели Анага, Квемо Мачхаани, Санерге (Сигнахи); Телапи (Телапи)
0.10 – 0.49 (49)	Ахмета, Земо Ходашени, Квемо Алвани, Кистаури, Маграани, Ожио (Ахмета); Кодало, Джимити, Колаги, Наниани, Чалаубани, Шашиани (Гурджаани); Арбошики, Джапаридзе, Земо Мачхаани, Колхоз им. Ленина, Озаани (Дедоплисцаро); Балгоджиани, Кварели, Мтисдзир (Кварели); Пона, Бебуриани, Гургениани, Лелиани, Нинигори, Цоднискари, Чабукиани (Лагодехи); Богдановка, Гиоргицминда, Манави, Ниноцминда, Патардзеули, Сагареджо, Тохлиаури, Тулари (Сагареджо); Сакобо, Анага, Бодбисхеви, Совхоз Ульяновский, Тибаани, Хирса (Сигнахи); Ванта, Джугаани, Караджала, Квемо Ходашени, Лалискури, Лапанкури, Пшавели, Шалаури (Телапи)
0.50-0.99 (29)	Панкиси (Ахмета); Ахашени, Бакурцихе, Веджини, Калаури, Карданахи, Качрети, Мелаани, Мукузани (Гурджаани); Архило, Гамарджвеба, Земо Кеди, Зилича, Сабатло (Дедоплисцаро); Ахалсопели, Гавази, Греми, Киндзмараули, Шилда, Энисели (Кварели); Шрома (Лагодехи); Какабети, Ламбало, Шиблиани (Сагареджо); Акура, Бушети, Икалто, Кондоли, Курдгелаури (Телапи)
1.0 – 1.99 (19)	Матани (Ахмета); Арашенда, Вазисубани, Велисцихе, Гурджаани, Чандари, Чумлаки (Гурджаани); Квемо Кеди (Дедоплисцаро); Сабуе, Чикаани (Кварели); Кандаура (Сагареджо); Бодбе, Ульяновка (Сигнахи); Вардисубани, Гулгула, Кисисхеви, Руиспири, Саниоре, Цинандали (Телапи)
2.0 – 5.0 (3)	Напареули (Телапи); Удабно (Сагареджо); Нукриани (Сигнахи)

Из этой таблицы следует, что в большинстве населенных пунктах (49) среднегодовая площадь повреждения сельхозугодий от града находилась в диапазоне от 0.1 до 0.49 км². Меньшинство населенных пунктов (3 – Напареули, Удабно, Нукриани) характеризовалось среднегодовой площадью повреждения сельхозугодий от града в диапазоне от 2 до 5 км². Площади повреждения сельхозкультур до 0.1 км² были зафиксированы в 23 населенных пунктах.

Расход противорадовых ракет.

В табл. 8 представлены данные о расходе противорадовых ракет “Алазани” в Кахетии в 1972-1989 гг. (1972-1984 гг. реагент, содержащий PbI_2 , 1985-1989 гг. – реагент, содержащий AgI) [1]. Как следует из этой таблицы, в период с 1972 по 1984 гг. в среднем в год расходовалось 22035 ракет (или 35 ракет на одну обрабатываемую зону). В период с 1985 по 1989 гг. противорадовая служба в Кахетии перешла на унифицированную методику воздействия на градовые процессы (метод ВГИ). В эти годы среднегодовой расход ракет “Алазани” был 25369 (или 24 ракеты на одну обрабатываемую зону).

Табл. 8

Расход противорадовых ракет “Алазани” в Кахетии в 1972-1989 гг.

Парам.	Площадь ЗТ, км ²	Количество обработанных зон	Расход противорадовых ракет	Расход ракет на одну зону
Годы	1972-1984			
Средн.	6500	624	22035	35
Мин.	6000	295	7853	14
Макс.	7700	927	42100	66
Годы	1985-1989			
Средн.	7850	1116	25369	24
Мин.	7850	780	22070	18
Макс.	7850	1520	28246	33

В отдельных случаях количество внесенных в облака противорадовых ракет достигало нескольких сотен. Например, 27 мая 1980 г. в Кахетии для обработки 46 градоопасных и градовых зон было израсходовано всего 3203 ракет “Алазани”. При этом, на отдельные зоны было израсходовано от 3 до 446 ракет. 20 и 21 мая 1982 г. в отдельные зоны было введено 652 и 725 ракет “Алазани”.

Литература

1. სეტყვა და მასთან ბრძოლა. ჰიდრომეტეოროლოგებზე აქტიური ზემოქმედების სამსახურის 1967-1989 წწ. მუშაობის ძირითადი შედეგები. თბ., 1990, 15 გვ.
2. Воннегат Б. Образование ледяных кристаллов в переохлажденных облаках под действием йодистого серебра. Сб. “Физика облаков и осадков”, М., “ИЛ”, 1951.
3. Сулаквелидзе Г.К., Бибилашвили Н.Ш., Лапчева В.Ф. Образование осадков и воздействие на градовые процессы. Л., “Гидрометеоиздат”, 1965, 265 с.
4. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л., “Гидрометеоиздат”, 1967, 412 с.
5. Бибилашвили Н.Ш., Бурцев И.И., Серегин Ю.А. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. Л., “Гидрометеоиздат”, 1981, 168 с.
6. Деннис А. Изменение погоды засевом облаков. М., “Мир”, 1983, 272 с.
7. Хоргуани В.Г. Микрофизика зарождения и роста града. М., “Гидрометеоиздат”, 1984, 187 с.
8. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л., “Гидрометеоиздат”, 1990, 463 с.
9. Бурцев И.И. Разработка научно-методических основ создания системы противорадовой защиты СССР. Дисс. на соиск. уч. степ. доктора физ.-мат. наук, Л., 1990, 297 с.

10. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоголовоградных работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 508 с.
11. Амиранашвили А., Амиранашвили В., Биадзе Т., Нодия А., Чихладзе В., Бахсолиани М., Хуродзе Т. Особенности многолетней изменчивости градобитий в Кахетии. Тр. Института географии им. Вахушти Багратиони АН Грузии, т. 21, UISSNN 1512-1224, Тб.:, 2003, с. 58-79, (на грузинском языке).
12. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Некоторые статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2004, с.133-141.
13. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2004, с. 127-132.
14. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Nodia A.G., Khurodze T.V., Toronjadze A.F., Bibilashvili T.N. Spatial-temporary characteristics of number of days with a hails in the warm period of year in Georgia. Proc. 14th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-July 2004, pp. 2_2_215.1-2_2_215.2.
15. Amiranashvili A., Nodia A., Khurodze T., Kartvelishvili L., Chumburidze Z., Mkurnalidze I., Chikhradze N. Variability of number of hail and thunderstorm days in the regions o Georgia with active influence on atmospheric processes. Bull. of the Georgian Acad. of Sciences, 172, N3, 2005, pp. 484-486.
16. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Хуродзе Т.В. Статистические характеристики числа дней с градом в год в Грузии. Материалы межд. конф. “Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб.:, 18-19 ноября, 2008, с. 427–433.
17. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, http://www.springerlink.com/content/9311_p18582143662/fulltext.pdf. 2013.
18. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб.:, 2014, с. 145-150.
19. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А. Г., Варазанашвили О. Ш., Церетели Н. С., Элизбарашвили М. Э., Элизбарашвили Ш. Э., Пипия М. Г. Градобитие на территории Грузии. Европейские географические исследования, т. 2, № 2, ISSN: 2312-0029, DOI: 10.13187/egs.2014.2.55, www.ejournal9.com, 2014, с. 55-69.
20. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Киладзе Р.И. Радиолокационные характеристики одноячейкового конвективного облака Кахетинского региона Грузии. Тр. Института геофизики им. М. Нодия, т. 60, Тб.:, 2008, с. 237 – 241.
21. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И. Эмпирические радиолокационные модели различных конвективных облаков теплого сезона восточной Грузии. Материалы межд. конф. “Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб.:, 18-19 ноября, 2008, с. 141-149.
22. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Балавадзе А.Ш., Киладзе Р. И. Эмпирическая радиолокационная модель суперячейкового конвективного облака. Тр. Института геофизики им. М. Нодия, т. 60, Тб.:, 2008, с. 242-246.
23. სალუქვაძე თ., ხელაია ე., ბალავაძე ა. მთავორიანი რეგიონის ერთუჯრედიანი კონვექციური ღრუბლის ემპირიული რადიოლოკაციური მოდელი. “მეტეოროლოგიის პრობლემები”, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 114, ISSN 1512-0902, თბ.:, 2010, გვ. 60-64.
24. Doreuli R.I. The impact of region relief on some characteristics of hail processes. Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, 19-23 August, vol. 1, 1996, pp. 196-199.
25. Amiranashvili A, Amiranashvili V., Bibilashvili T., Chumburidze Z., Gzirishvili T., Doreuli R., Nodia A., Khorguani F., Kolesnikov Yu. Distribution of convective clouds and lightning discharges of the Earth surface in Kakheti region of Georgia. Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, vol. 2, 2000, pp. 1050-1052.

26. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Doreuli R., Khurodze T., Kolesnikov Yu. Some characteristics of hail processes in the Kakheti region of Georgia. Proc. 13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno., Nevada, USA, August 14-18, vol.2, 2000, pp. 1085-1087.
27. დორეული რ.ი. ადგილმდებარეობის რელიეფის საშუალო სიმაღლის გავლენა მის თავზე განვითარებულ კონვექციურ ღრუბლების მაქსიმალურ რადიოლოკაციურ ამრეკვლადობის მამრავლის ლოგარითმზე. „მეტეოროლოგიის პრობლემები“, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 114, ISSN 1512-0902, თბ.:, 2010, გვ. 55-59.
28. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тб.:, “Мецниереба”, 1991, 113 с.
29. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. Modern Climate Change in Georgia. Radiatively active small atmospheric admixtures. Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sci., vol. 59, Monograph, ISSN 1512-1135, Tб.:, 2005, 128 pp.
30. Amiranashvili A.G. On the role of cosmic and radioactive radiation on the formation of the secondary aerosols in atmosphere. Int. Conference “Near-Earth Astronomy 2007”, Abstract, Terskol;, Russia, 3-7 September 2007.
31. Amiranashvili A. Tbilisi type of smog as attribute of feedback effect between the air ionization intensity and small ions concentration. Proc. of 7th Asia-Pacific Int. Conf. on Lightning, Chengdu, China, November 1-4, 2011, <http://www.apl2011.net/>.
32. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, vol. 63, ISSN 1512- 1135, Tб.:, 2012, 160 pp., (in Georgian).
33. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the role of artificial iceforming reagents and radioactive intermixtures in the variation of convective clouds thunderstorm and hail activity. Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 1, 1996, pp. 267-270.
34. Amiranashvili A. Connection Between the characteristics of thunderstorm activity and air pollution in Kakheti region of Georgia. Proc. of IX Int. Symposium on Lightning Protection, Foz do Iguaçu, Brazil, 26-30 November 2007.
35. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 64, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2013, с. 160-177.
36. Аджиев А.Х., Амиранашвили А.Г., Чаргазия Х.З. Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эффективность противоградовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 387-395.
37. Амиранашвили А.Г., Бахсолиანი М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Н.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии. Тр. Института гидрометеорологии, т. 108, ISSN 1512-0902, Тб.:, 2002, с. 249-260.
38. Амиранашвили А.Г., Бахсолиანი М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, т.119, ISSN 1512 – 0902, Тб.:, 2013, с. 144 - 152.
39. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
40. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 64, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2013, с. 151-159.

- 41.Амиранашвили А., Глонти Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противоградовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб.:, 2014, с. 208-212.
- 42.https://ka.wikipedia.org/wiki/საქართველო_IV_საუკუნეში
- 43.Царевич Вахушти. География Грузии. Записки Кавказского отдела императорского русского географического общества, книга 24, вып. 5. Введение, перевод и примечания М.Г. Джанашвили, Тифлис.:, 1904, 289 с.
- 44.Давитая Ф.Ф., Таварткиладзе К.А. Проблема борьбы с градобитием, морозами в субтропиках и некоторыми другими стихийными процессами. Тб.:, “Мецниереба”, 1982, 220 с.
- 45.Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии. Л.:, “Гидрометеиздат”, 1960, 123 с.
- 46.Гигинеишвили В.М. О градобитиях в Восточной Грузии и о некоторых особенностях градовых процессов в Алазанской долине. Тр. Всесоюзн. научн. совещ. по активным воздействиям на градовые процессы, Ин-т геофизики АН ГССР, Тб.:, 1964, с. 8 -18.
- 47.Балабуев А.Г. Анализ данных о градовых явлениях в районе долин рек Иори и Алазани. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, Тб.:, ”Мецниереба”, 1967, с. 56-64.
- 48.Ахвледиани Я.Р., Лома О.В., Саркисова Л.С. Градовые явления в Алазанской долине по данным метеорологических станций. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25,Тб.:, ”Мецниереба”, 1967, с. 65-74.
- 49.Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Под ред. Сванидзе Г.Г. и Цуцкиридзе Я.А., Л.:, ”Гидрометеиздат”, 1980, 288 с.
- 50.Budagashvili T., Karchava J., Gunia G., Intskirveli L., Kuchava T., Gurgenzidze M., Amiranashvili A., Chikhladze T. Inventory of greenhouse gas emissions and sinks. Georgia’s initial national communication on under the united nations framework convection on climate change, Project GEO/96/G31, Тб.:, 1999,137 p.
- 51.Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. Climate change in Georgia: Statistical and nonlinear dynamics predictions. Journ. of Georgian Geophysical Soc., Iss. (A), Physics of Solid Earth, vol.15a, Тб.:, 2011-2012, pp. 67-87.
- 52.Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. Dynamics of the aerosol pollution of the atmosphere in Georgia in 1956-1990. J.Aerosol Sci, vol.30, Suppl.1, “Pergamon”, 1999, S667-S668.
- 53.Tavartkiladze K., Begalishvili N., Kharchilava J., Mumladze D., Amiranashvili A., Vachnadze J., Shengelia I., Amiranashvili V. Contemporary climate change in Georgia. Regime of some climate parameters and their variability. Monograph, ISBN 99928-885-4-7, Тб.:, 2006, 177 p., (in Georgian).
- 54.Малкарова А.М. Оценка физической эффективности противоградовой защиты с учетом тенденции изменения климатологии града. Метеорология и гидрология, №6, 2011, с. 55-64.
- 55.Бартишвили И.Т., Надибаидзе Г.А., Бегалишвили Н.А., Гудушаури Ш.Л. К физическим основам метода ЗакНИГМИ борьбы с градом. Тр. ЗакНИГМИ, вып.67(73), 1978, с. 73-82.
- 56.Махарашвили П.И., Дореули Р.И. Исследование градовых явлений в районах Кахетии. Отчет по теме 074.081 "Изучение процессов образования и развития сложных метеорологических условий и опасных явлений погоды (град, грозы, туманы) и разработка методов воздействия на эти явления. Изучение водных ресурсов облаков и изыскание новых реагентов для искусственного воздействия на облака и туманы", часть 3, Ин-т геофизики АН ГССР, Тб.:, 1975, 209 с.
- 57.Годовые отчеты о производственной деятельности ВС Грузинской УГКС. Тб.:, 1980, 1982, 1984-1989.
- 58.Карцивадзе А.И., Махарашвили П.И. Некоторые данные о физических характеристиках градин. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, Тб.:, ”Мецниереба”, 1967, с. 84-58.
- 59.Салуквадзе Т.Г. Радиолокационные характеристики градовых облаков с учетом их сезонного хода. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 32, Тб.:, “Мецниереба”, 1973, с. 129-138.
- 60.Николайшвили Г.В. Аэрологическая характеристика поля метеорологических элементов над Алазанской долиной. Тр. Всесоюзн. Научн. Совещ. по активным воздействиям на градовые процессы. Ин-т геофизики АН ГССР, Тб.:, 1964, с. 71-89.
- 61.Ватишвили М.Р., Бахсолиани М.Г., Газашвили А.Г., Георгишвили А.Г., Капанадзе Н.И., Микадзе Б.Ш., Саамишвили Н.Р. Исследование градовых процессов в районах Восточной Грузии.Тр. Всесоюзн. семинара “Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий”. Нальчик 16-21 октября 1989 г., М.:, “МО Гидрометеиздата”, 1991, с. 251-260.

62. Дореули Р.И. Распределение средних скоростей перемещения и направления градоопасных облаков на территории Алазанской долины и Иорского плоскогорья по данным радиолокационных наблюдений. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 49, Тб.: „ Мецნიერება“, 1982, с. 96-102.

სეტყვის პროცესების ზოგიერთი მახასიათებლები კახეთში

ამირანაშვილი ა., ძოდუაშვილი უ., ლომთაძე ჯ., საური ი., ჩიხლაძე ვ.

რეზიუმე

სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის ფუნქციონირების პერიოდისათვის წარმოდგენილია განზოგადოებული მონაცემები კახეთში სეტყვის პროცესების ისეთ მახასიათებლებზე, როგორებიცაა: სეტყვიანი დღეების რიცხვის ზოგადი სტატისტიკა, სეტყვის ინტენსივობა, სეტყვის მარცვლების ზომა, სეტყვის ხანგრძლივობა, სეტყვის პროცესების თვიური, დეკადური და დღელამური განმეორადობა, სინოპტიკური პროცესები სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების დღეებში, ნულოვანი იზოთერმის სიმაღლე, სეტყვის უჯრედების და ღრუბლების გადაადგილების სიჩქარე და მიმართულება, კონვექტიური პროცესებით დატვირთული დღეების რაოდენობის საშუალო თვიური მნიშვნელობები, სეტყვასამიში და სეტყვის ღრუბლების რადიოლოკაციური მოდელები, სეტყვისგან მიყენებული ზარალი მუნიციპალიტეტებისა და ცალკეული დასახლებული პუნქტების სავარგულების ტერიტორიებზე, სეტყვასაწინააღმდეგო რაკეტების ხარჯი აქტიური ზემოქმედების დროს.

SOME CHARACTERISTICS OF HAIL PROCESSES IN KAKHETI

Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Sauri I., Chikhladze V.

Abstract

For the operating cycle of anti-hail service the generalized data about such characteristics of hail processes in Kakhetii, as: the general statistics of the number of days with the hail; intensity of hail damages; size of hail stones; duration of hail damages; the monthly, decade and daily repetition of hail processes; synoptic processes in the days with the active actions on the hail processes; height of zero isotherm; direction and the speed of the movement of hail cells and clouds; the average monthly values of a quantity of days with convective processes; the radar models of hail-dangerous and hail clouds; damage from the hail in the territories of land of municipalities and separate populated areas; the expenditure of anti-hail rockets under the active influences are represented.

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ РАДАРЫ И РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ**

¹Амиранашвили А.Г., ²Дзодзуашвили У.В., ²Ломтадзе Дж. Д.,
²Саури И.П., ¹Чихладзе В.А.

¹*Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили*
²*Научно-технический центр «Дельта»*

В Грузии военизированная служба борьбы с градом функционировала по 1989 год. В силу разных причин она прекратила существование и практически вся её инфраструктура – локаторы, пусковые установки, пункты воздействия, командные пункты, средства электроснабжения и связи, транспорт, противоградовые изделия – все было разграблено и уничтожено. Хуже всего было то, что были потеряны выпестованные в течении длительного времени квалифицированные кадры – специалисты по локации и воздействию на активные процессы. Правда, ученые не теряли время и занимались обработкой и анализом архивных данных, благо, материал был достаточно солидный [1 - 13]. Однако, с течением времени стало приходить сознание того, что активные воздействия на метеорологические процессы, особенно на территории Кахети, необходимо восстановить, хотя бы и в меньшем масштабе [14 - 18]. Сначала об этом говорили ученые, потом крестьяне, однако поворотной точкой стало стихийное бедствие, когда шквалистый ветер и град нанесли серьезный ущерб не только посадкам и посевам, но и жилому фонду. После этого, когда власти возместили многомиллионный ущерб населению, стало ясно, что намного дешевле организовать и содержать службу по борьбе с градом. Правительство Грузии рассмотрело соответствующее предложение Научно-технического центра «Дельта» с участием института геофизики им. М. Нодиа о восстановлении противоградовых работ, одобрило его и выделило средства на его осуществление.

Основа основ при проведении противоградовых работ – наличие специализированного метеорологического радиолокатора. Его выбор – довольно-таки сложная задача, здесь надо учитывать и длину волны и дальность действия, и разрешение, и наличие одной или двух поляризаций, используется ли эффект Доплера, его надёжность, неприхотливость, наличие мощного программного обеспечения и т.д. Поэтому, для того чтобы ясно понимать, о чем идет речь, ниже дано краткое описание истории и понятий о метеорологических радиолокаторах.

Датой рождения радиолокационной метеорологии считается 20 февраля 1941 года, когда на побережье Великобритании при наблюдении за самолетом с помощью военной радиолокационной станции на расстоянии 11 км была обнаружена зона осадков [19]. Во время второй мировой войны было обнаружено, что распространение высокочастотных волн сильно зависело от метеорологических условий, а их отражение происходило от слоев инверсий, от облачных и пылевых масс и т.д. Созданные во время войны для военных целей, а после неё и для метеорологических целей специальные метеорологические радиолокаторы (МРЛ) начали широко применяться во многих странах [20].

В настоящее время МРЛ имеют широкое применение во всем мире. Они обладают обширным диапазоном возможностей и приспособлены к нуждам конкретной страны. В Великобритании используется радиолокатор «Siemens Plessey 45C». Его основная задача –

измерение осадков для прогноза наводнений и прогноз погоды с заблаговременностью до 3 часов [21]. В США фирмой была создана линейка метеорологических радиолокаторов WSR-57, WSR-74S и WSR-74C, а с 1990 года для штормоповещения, метеорологического обеспечения авиации и измерения осадков создана сеть метеорологических радиолокаторов, в которых используется радиолокатор S - диапазона WSR-88D (Weather Surveillance Radar 88 Doppler – погодный обзорный радар с доплеровским эффектом 1988 года) [22,23], являющийся одним из лучших в мире по своим возможностям и техническим данным. Карта размещения сети обзорных метеорологических радиолокаторов WSR-88D на территории США представлена на рис.1 [24]. Метеорологические радиолокаторы в Германии (DWD) предназначены для наблюдения за явлениями погоды и обеспечения гидрометеорологической информацией служб водного управления и авиации [25]. В Италии основной проблемой являются катастрофические ливни, для диагноза и прогноза которых используются МРЛ марок «ALENIA-SMA» и «EEC-ERICSSON» [26]. МРЛ в Японии (марка «Mitsubishi») служат для измерения характеристик осадков и прогноза наводнения при эксплуатации плотин на горных реках [27]. Разработанные в России метеорологические радиолокаторы МРЛ-2 и МРЛ-5 по всем рабочим параметрам превышали требования Всемирной метеорологической организации к метеорологическим радарам, не уступая параметрам подобных МРЛ Японии, Италии, Англии, Германии, США и даже превосходили их.

Помимо штормоповещения и метеообеспечения МРЛ являются также эффективным средством получения информации о состоянии облачности после физико-химического воздействия на нее с целью предотвращения ливней и града, либо увеличения осадков в засушливых районах. С помощью МРЛ изучают электрическую активность и зоны турбулентности в кучево-дождевых облаках и др.

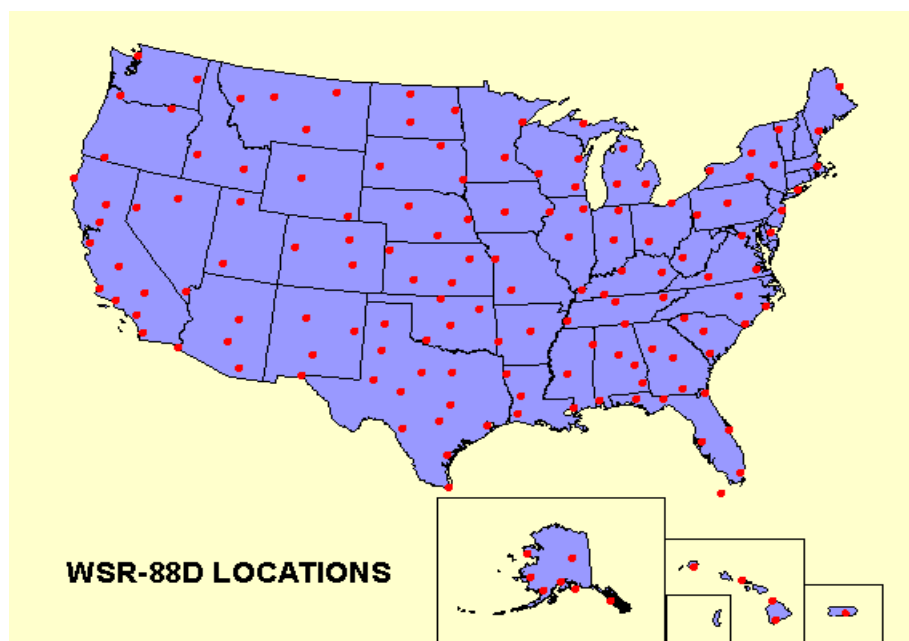


Рис.1

Схема расположения метеорадаров на территории США.

Основными частотными диапазонами метеорологических радиолокаторов считаются:

- 2700 – 2900 MHz (S-диапазон) 11.11 – 10.34 см;
- 5430 - 5800 МГц (С-диапазон) 5.525 – 5.17 см;

- 9375 МГц ± 30 МГц (X-диапазон) 3.2 см.

Каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны. При прочих идентичных параметрах самые дешевые по стоимости это локаторы X-диапазона, самые дорогие - S-диапазона, причем стоимость локатора S-диапазона может превышать стоимость локатора C-диапазона в несколько раз.

Для увеличения отражения от атмосферных осадков большинство современных метеорологических радиолокационных станций используют горизонтальную поляризацию. Однако радиолокационные станции с одной поляризацией имеют серьезные ограничения в областях с частичным затенением луча и не обеспечивают классификации гидрометеоров. Преодолеть эти недостатки способны системы с чередующимися импульсами горизонтально и вертикально поляризованных сигналов, т.е. радиолокационные станции с двойной поляризацией, имеющими преимущество по сравнению с обычными радиолокаторами при оценке типа и количества атмосферных осадков, главными из которых является способность различать град и дождь, обнаруживать осадки со смешанной фазой и оценивать объем дождевых осадков. Радиолокационные станции с двойной поляризацией также обеспечивают классификацию осадков путем аналитической обработки обнаруженных радиолокатором форм гидрометеоров. Кроме того, путем контроля разности фаз между горизонтальной и вертикальной составляющими могут быть смягчены эффекты частичного затенения луча и может быть достигнуто большее подавление мешающих отражений [28].

По степени деполяризации отраженных сигналов можно судить о форме частиц облаков и осадков и, следовательно, об их агрегатном состоянии. Движение рассеивателей приводит к смещению частоты отраженных сигналов вследствие эффекта Доплера. Измерение доплеровского смещения частоты, а также других параметров спектра радиолокационных сигналов, отраженных от облаков и осадков, крупных частиц аэрозоля, искусственных рассеивателей, позволяет исследовать структуру различных движений в атмосфере (ветер, турбулентность, упорядоченные вертикальные потоки). С помощью высокочувствительных радиолокационных станций обнаруживаются области повышенных градиентов показателя преломления, связанные с образованием устойчивых слоев в приземном и пограничном слоях атмосферы, а также с зонами интенсивной турбулентности при «ясном» небе на высотах до 10—15 км. Интенсивность турбулентности в «ясном» небе оценивается по величине отраженных сигналов, а также по ширине их спектра, обусловленного доплеровским смещением [29].

Одним из лучших специализированных метеорологических радиолокаторов градозащиты и штормового оповещения был МРЛ-5 [30], предназначенный для обнаружения зон облаков, гроз и градовых очагов в облаках. Метеорологическая информация, получаемая от радиолокатора МРЛ-5, используется для обслуживания пунктов активных воздействий на градовые очаги с целью предотвращения градобитий, штормового оповещения аэропортов и крупных населенных пунктов.

Метеорологический радиолокатор производит: обнаружение градовых очагов в облаках, измерение их координат и определение физических характеристик; обнаружение и определение местоположения очагов гроз и ливневых осадков в радиусе до 300 км; определение горизонтальной и вертикальной протяженности метеообразований; определение верхней границы облаков любых форм и их нижней границы при отсутствии выпадающих из них осадков; измерение средней мощности радиоэхо от облачных образований и т.д.

Метеорологический радиолокатор МРЛ-5 работает в двух диапазонах длин волн – 9375 МГц ±30 МГц (X-диапазон) и 2700 – 2900 МГц (S-диапазон). При этом режим штормоповещения может осуществляться на каждом из имеющихся каналов, а режим обеспечения градозащиты реализуется главным образом при совместной работе обоих каналов.

Интенсивность радиоэхо метеоцелей и их координаты, измеренные на любом канале, позволяют определить тип метеоцели и обнаружить опасные метеорологические образования. Определение количественных характеристик градовых очагов производится автоматически с помощью специальной измерительной аппаратуры.

Устройство обработки, размещенное в пульте метеоролога, определяет логарифм отношения мощности радиоэхо обоих каналов радиолокатора и производит его индикацию на стрелочном приборе. Значение этого отношения используется для определения диаметра градовых частиц. Устройство обработки формирует также разностный видеосигнал обоих каналов радиолокатора, который воспроизводится на индикаторах для опознавания градового очага.

Вероятность радиолокационного обнаружения облаков и осадков зависит от технических характеристик МРЛ, физико-географических условий и величины углов закрытия антенны МРЛ в месте его установки. При вероятности обнаружения не менее 95% радиус действия МРЛ-5 для равнинных районов России находится в следующих диапазонах:

- 150-200 км - кучево-дождевые облака с грозой и градом (летом);
- 90-20 км - кучево-дождевые облака с ливневым дождем и снегом;
- 50 км - мощно-кучевые облака без осадков;
- 120 км - слоисто-дождевые облака (летом);
- 60 км - слоисто-дождевые облака (зимой);
- до 60 км - обложные морозящие осадки (летом);
- до 30 км - обложные морозящие осадки (зимой);
- до 20 км - облака всех форм без осадков.

Ограничивающими факторами обнаружения являются эффекты кривизны Земли (увеличение зоны радиотени с удалением от МРЛ), увеличение с расстоянием минимально принимаемых отраженных сигналов и ослабление радиоволн в осадках и атмосферных газах [31].

На базе МРЛ-5 в Болгарии создан и выпускается доплеровский метеорологический радиолокатор MRL5-IRIS с системой IRIS фирмы Sigmet-Vaisala, позволяющий проводить автоматическое объёмное сканирование атмосферы и архивирование данных [32].

Радиолокационные станции кругового обзора широко используются для наблюдения за процессом образования облаков, грозовых фронтов, ураганов, штормов и т. д. Для этой цели целесообразны частоты порядка 5500 МГц. Волны таких частот лучше проникают сквозь завесу дождя и дают возможность наблюдать находящиеся за ней облака, землю или водную поверхность, горы и другие препятствия [33].

В рамках федеральной целевой программы в России взамен устаревших МРЛ-5 предполагается установка более 140 доплеровских метеорологических радиолокаторов С-диапазона (ДМРЛ-С) с длиной волны 5.6 см. и создание сети радиолокационных станций кругового обзора. Доплеровский метеорологический радиолокатор нового поколения ДМРЛ-С, использующий сложный зондирующий сигнал, позволяет получать информацию об облачности, осадках и связанных с ними опасных метеорологических явлениях погоды в радиусе до 250 км в диапазоне высот от 0 до 20 км. Получаемая с помощью ДМРЛ-С информация включает полный комплекс метеорологических радиолокационных параметров: радиолокационную отражаемость, высоту верхней границы облачности, мгновенную интенсивность осадков и накопленную сумму осадков за 1, 3, 6, 12 и 24 часа, и дополнительно доплеровские характеристики: радиальную скорость, ширину доплеровского спектра, а также поляризационные характеристики гидрометеоров: дифференциальную отражаемость, коэффициент кросскорреляции и дифференциальную фазу [34].

Американская компания Enterprise Electronics Corporation (ЕЕС) производит одни из лучших в мире метеорологические радиолокаторы с 1971. ЕЕС произвела первую в мире коммерческую доплеровскую метеорологическую РЛС. На современном рынке ЕЕС представлена самой широкой линейкой продуктов доплеровских метеорологических РЛС. Продукция компании работает на всех обычных метеорологических частотах от диапазона Х до диапазона S и уровнях мощности от 250 Ватт до более одного миллиона Ватт. Компания установила более 950 РЛС в 85 странах – больше чем любая другая компания. Причём в каждом использовались новейшие технологии получения данных и удаления помех (последняя модель РЛС SIDPOL™ защищена 3 патентами.) Основная продукция ЕЕС – доплеровские метеорадиолокаторы с автоматической системой обработки данных. Все стандартные системы оснащены цифровым ресивером по последнему слову техники и мощными процессорами доплеровского сигнала. Это важнейший компонент метеорологической системы. В локаторах используется запатентованная технология одновременной двойной поляризации. Все РЛС ЕЕС SIDPOL имеют элемент разрешения по дальности до 4096. Это в 4 раза выше чем у большинства РЛС. Элементы разрешения по дальности ниже 25 метров, что в 2 раза выше среднеотраслевых стандартов [35]. Некоторые параметры современных метеорадаров С-диапазона представлены в таблице 1.

Табл.1

Параметры современных метеорологических радиолокаторов С-диапазона

Технические данные	WRM200	DWSR-2501C / DWSR-3501C	VHDD-350C / VHDD -1000C	Meteor 735CDP10
Рабочий диапазон частот:	5.5-5.7 ГГц	5200-5700 МГц	5300 – 5825 МГц	5430 – 5800 МГц
Пиковая мощность	250 кВт	250кВт/350кВт	350 кВт/1000кВт	400 кВт
Ширина импульса:	0.5; 0.8; 1.0; 2.0	0.2 – 2.0 мкс	0.8 – 3.5 мкс	0.5 – 3.3 мкс
Частота повторения импульсов	от 200 до 2000 Гц	200 – 2400 гц	250 – 1250 гц	250 – 2000гц
Рабочая дальность		240 км	480 км	100 - 300 км
Разрешающая способность	N·25 м	30 м	25 м	15 м
Число элементов разрешения	3096	4096	4000	20000
Диаметр антенны	4.5 м	4.2 м	2.4 м / 3.7 м / 4.3 м	4.3 м
Ширина луча	<1 градуса	0.95	1.6 град / 1.0 град / 0.9 град	<1 градуса
Диапазон возвышения	от -3 до 110 градусов	От -2 до 90 градусов	От -2 до 90 градусов	От -2 до 182 град
Макс. скорость сканирования	40 град/с	0 - 6 об/мин	0 - 6 об/мин	36 град/с
Ускорение	20 град/с ²			20 град/с ²
Точность позиционирования	0.1 град	0.1 град	Менее 0.05 град	Менее 0.1 град
Усиление антенны	45 Дб	45 Дб	44.5 Дб / 47 Дб / 50Дб	44.5 Дб
Диаметр колпака	6.7 м	5.5 м	5.5м / 8.5м / 12.6м	6.5 м
Материал колпака	Фиберглас + полиуретан	Пенопласт или фиберглас	Сендвич фиберглас	Стекловолокно + полиуретан
Потери в колпаке		Менее 2 Дб	Менее 0.3 Дб	Менее 0.3 Дб
Динамический диапазон приемника	95 Дб	До 100 Дб	100 Дб	105 Дб

С новыми решениями и с инновационной конструкцией финская компания Vaisala стала ведущим поставщиком метеорологических радаров с частотным диапазоном С. Высококачественная высокоэффективная антенная с лучшим в мире процессором обработки сигналов Sigmnet и программное обеспечение IRIS гарантирует высокое качество данных радара, которое соответствует даже самым строгим требованиям двойной поляризации для самых требовательных клиентов. Современная конструкция и высококачественное изготовление антенны и стойки также вносят свой вклад в обеспечение низких затрат на техническое обслуживание на протяжении всего срока службы системы [36].

Инновационная серия VHDD-350C и VHDD-1000C фирмы Baron Services (США) (Погодная радарная Доплеровская система) имеет архитектуру, составленную из оборудования и компонентов с совместимыми возможностями и особенностями конфигурации, доступна с одинарной или двойной поляризацией и в радиусе 350 км обеспечивают данными о состоянии метеобстановки и обнаружении таких опасных метеорологических явлений, как песчаные бури, штормы, грозы, ливни, снегопады, а также определяют их точное местоположение, объем, направление и скорость движения. При этом применяемые технологии позволяют получать информацию даже о структуре объекта, например, отслеживать не просто пылевое облако, но и его интенсивность и внутренние потоки [37].

Однако, выбор предполагаемого радиолокатора был решен в пользу метеорологического радиолокатора типа METEOR 735CDP10 фирмы Selex (Германия) исходя из преимуществ в разрезе цена/качество. Радиус действия этого радара составляет 200 км в режиме двойной поляризации и 100 км при использовании эффекта Доплера [38]. Учитывая тот факт, что расстояние до крайних точек защищаемой территории не превосходит 75-80 км от места предполагаемой установки радиолокатора (село Чотори Сигнахского района), то это вполне приемлемая дальность (рис.2).



Рис. 2
Зона действия радиолокатора типа METEOR 735CDP10 фирмы Selex на территории Восточной Грузии и сопредельных стран.

Отметим при этом, что радиус 200 км практически полностью покрывает территорию Восточной Грузии и даст возможность заблаговременно обнаружить потенциально градоопасную кучевую облачность. Кроме этого в рабочую зону радиолокационных наблюдений входит большая часть территории Армении, почти половина территории Азербайджана, часть территорий республик Северного Кавказа Российской Федерации (рис.2).

Высокие технические параметры – разрешение по дальности 15 метров, а число элементов при одной поляризации до 10000, дадут возможность с большой точностью определить тип облака, его потенциальную градоопасность и размер и вид предполагаемых осадков. Радиолокатор типа METEOR 735CDP10 оптимизирован под самое передовое метеорологическое программное обеспечение Rainbow*5. Благодаря восстановлению многолучевого эхосигнала, улучшена разрешающая способность по дальности и скорость сканирования. Станция обладает большой надёжностью, в автоматическом режиме с дистанционным управлением без остановки на профилактические ремонт и осмотр может работать целый год, благодаря высокой надежности в ней минимизирована стоимость жизненного цикла.

На рис. 3-6 в качестве примеров приведены изображения некоторых продуктов указанного радиолокатора [38].

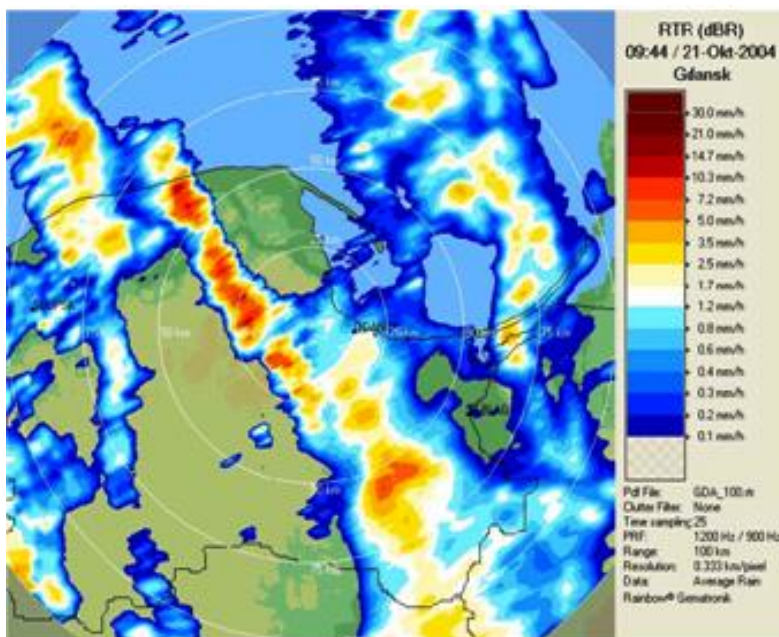


Рис. 3

Интенсивность выпадения осадков в Восточной Европе 21 октября 2004 г. по данным метеолокатора, установленного в Гданьске (Польша).

На рис. 3 представлен фрагмент радиолокационных измерений интенсивности выпадения осадков в Восточной Европе 21 октября 2004 г.

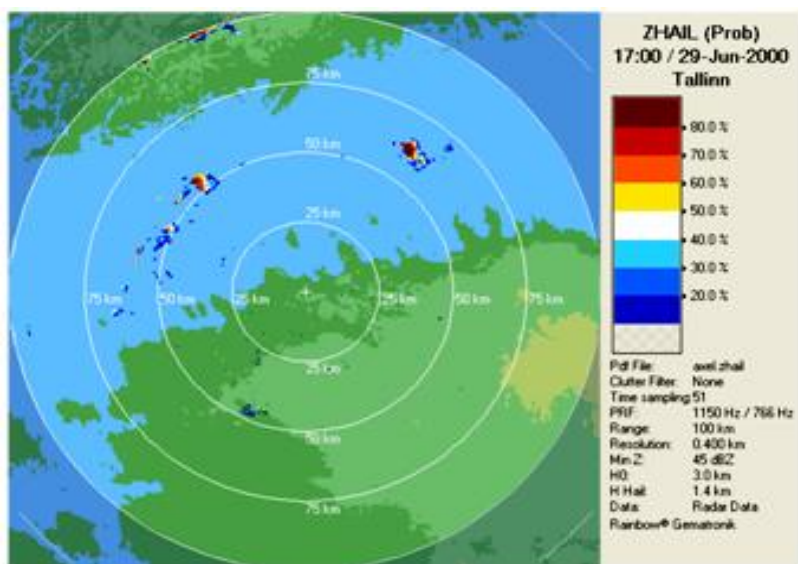


Рис. 4

Вероятность выпадения града в Восточной Европе 29 июня 2000 г. по данным метеолокатора, установленного в Таллинне (Эстония).

На рис. 4 представлен фрагмент радиолокационных измерений вероятности выпадения града в Восточной Европе 29 июня 2000 г.

На рис. 5 представлен пример радиолокационных данных о диаметре градин в облаках 30 мая 2008 г., а на рис. 6 - пример данных о виде твердых осадков (тающий снег, крупа, град).

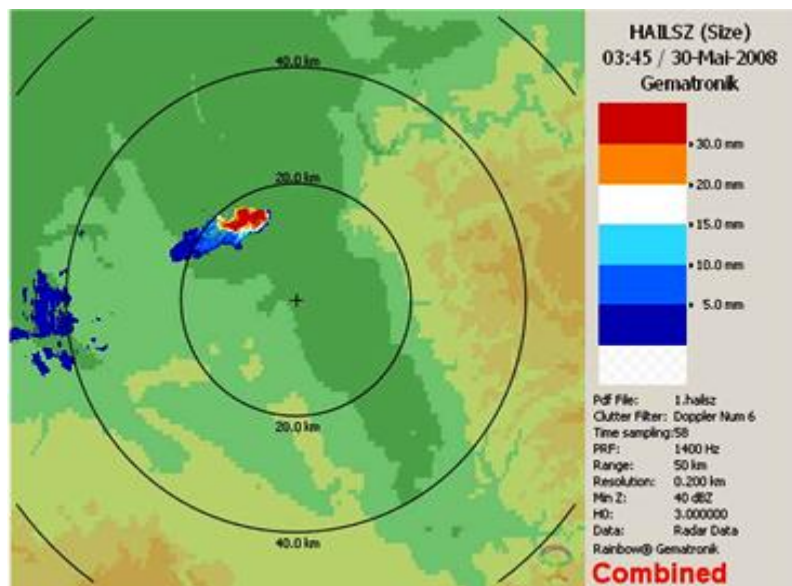


Рис. 5

Пример радиолокационных данных о диаметре градин в облаках 30 мая 2008 г.

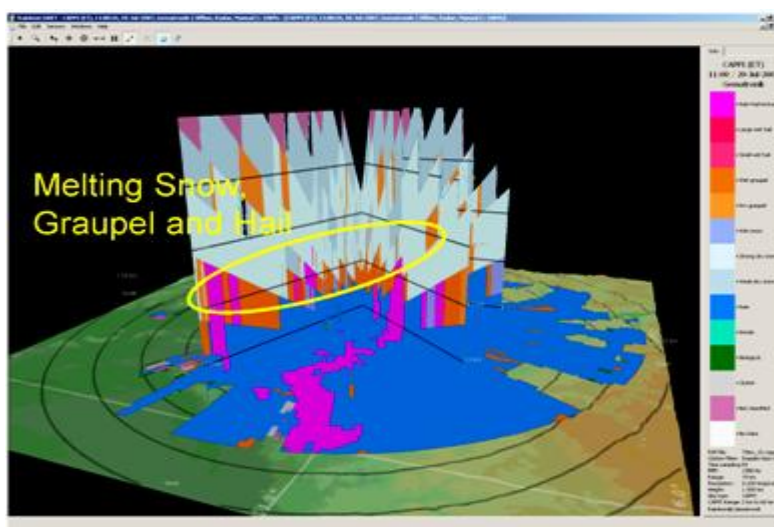


Рис. 6

Пример радиолокационных данных о виде твердых осадков.

Сооружение на территории Грузии в 2015 г. автоматизированной централизованной системы защиты от града обеспечит возможность своевременного обнаружения, наблюдения и прогнозирования в режиме реального времени неблагоприятных атмосферных явлений, таких как сильные ураганы, град, ливни и наводнения. Возможность своевременного и высокоэффективного активного воздействия позволит значительно снизить потери сельскохозяйственной продукции. Кроме того, радиолокатор позволит в течении всего года обеспечить радиолокационной метеорологической информацией таких потенциальных потребителей, как Грузавианавигация, военно-воздушные силы, агентство по чрезвычайным ситуациям, управление гидрометслужбы и т.п. При наличии межправительственных соглашений не исключена также возможность передачи заинтересованным организациям указанных выше соседних с Грузией стран соответствующей оперативной радиолокационной информации об опасных метеорологических процессах, организации с ними совместного мониторинга этих процессов, обмена информацией и др.

Литература

1. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб.:, 2014, с. 145-150.
2. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 64, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2013, с. 160-177.
3. Аджиев А.Х., Амиранашвили А.Г., Чаргазия Х.З. Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эффективность противоградовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 387-395.

4. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А. Г., Варазанашвили О. Ш., Церетели Н. С., Элизбарашвили М. Э., Элизбарашвили Ш. Э., Пипия М. Г. Градобитие на территории Грузии. Европейские географические исследования, т. 2, № 2, ISSN: 2312-0029, DOI: 10.13187/egs.2014.2.55, www.ejournal9.com, 2014, с. 55-69.
5. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, http://www.springerlink.com/content/9311_p18582143662/fulltext.pdf. 2013.
6. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the role of artificial iceforming reagents and radioactive intermixtures in the variation of convective clouds thunderstorm and hail activity. Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 1, 1996, pp. 267-270.
7. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тб.: “Мецниереба”, 1991, 113 с.
8. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб.: 2004, с. 127-132.
9. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Некоторые статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб.: 2004, с.133-141.
10. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Хуродзе Т.В. Статистические характеристики числа дней с градом в год в Грузии. Материалы межд. конф. “Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб.: 18-19 ноября, 2008, с. 427–433.
11. Салуквадзе Т.Г., Хелая Е.И. Эмпирические радиолокационные модели различных конвективных облаков теплого сезона восточной Грузии. Материалы межд. конф. “Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб.: 18-19 ноября, 2008, с. 141-149.
12. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Балавадзе А.Ш., Киладзе Р. И. Эмпирическая радиолокационная модель суперячейкового конвективного облака. Тр. Института геофизики им. М. Нодия, т. 60, Тб.: 2008, с. 242-246.
13. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Киладзе Р.И. Радиолокационные характеристики одноячейкового конвективного облака Кахетинского региона Грузии. Тр. Института геофизики им. М. Нодия, т. 60, Тб.: 2008, с. 237 – 241.
14. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Н.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии. Тр. Института гидрометеорологии, т. 108, ISSN 1512-0902, Тб.: 2002, с. 249-260.
15. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, т.119, ISSN 1512 – 0902, Тб.: 2013, с. 144 - 152.
16. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, т. 64, ISSN 1512-1135, Тб.: 2013, с. 151-159.
17. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противоградовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы

- геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб.:, 2014, с. 208-212.
18. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
 19. Смирнова А.А. Объективный анализ облачности и опасных явлений погоды по данным радиолокационных и станционных наблюдений. А.А. Пермь:, “Перм. ун-т.”, 2005.
 20. Насилов Д.Н. Радиометеорология. М.:, 1966, 336 с.
 21. Collier C.G. United Kingdom weather radar status report. Measurement of precipitation by radar. COST Project 72. Proceeding of a final seminar. Madrid:, 1985.
 22. Serafin R.J., Wilson J.W. Operational weather radar in the U.S. Progress and opportunity. COST- 75. Madrid:, 1998, pp. 35–61.
 23. Atlas D. Advanes in radar meteorology. In H.E. Landsberg and J.Van Mieghem (eds). “Advanes in Geophysics”, Academic Press Inc., vol. 10, No 5, 1964. pp. 318–468.
 24. <http://www.srh.noaa.gov/mob/?n=nexrad>
 25. Malkomes M., Toussiant M., Mamment T. The new radar data processing software for the German weather radar network. Proc. of ERAD (2002), Copernicus GmbH, Delft:, Netherlands, 2002, pp. 335–338.
 26. Alberoni P.P. et al. The Italian radar network: current status and future developments. Proc. of ERAD (2002), Copernicus GmbH, Delft:, Netherlands, 2002, pp. 339–344.
 27. Yoshino F. et al. Overview of radar networking by MOC. Japan and its data dissemination system (FRJCS). COST 73, 1989. pp. 123–132.
 28. <http://www.freepatent.ru/patents/2394254>
 29. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/125744/Радиолокация>
 30. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противогордовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик:, “Печатный двор”, 2014, 508 с.
 31. <http://master-3.ru/meteorologicheskie-radiolokatory-page-3.html>
 32. http://www.weathermod-bg.eu/pages/rad_en.php
 33. <http://bluetooth4.ru/osnovy-radio-i-elektroniki/550-meteorologicheskie-radiolokacionnye-stancii.html>
 34. http://www.meteo.stv.ru/dmrl_minvod.shtml
 35. <http://www.sicenter.by/eecradar.html>
 36. <http://www.vaisala.ru/ru/meteorology/products/weatherradars/Pages/default.aspx>
 37. <http://sibakom.com/pdf/CM.pdf> (байрон)
 38. Selex ES GmbH · Gematronik Weather Radar Systems. Rainbow®5 User Guide, 464 p., www.gematronik.com

**მეტეოროლოგიური რადარები და კახეთში ატმოსფერულ პროცესებზე
აქტიური ზემოქმედების რადიოლოკაციური უზრუნველყოფა
ამირანაშვილი ა., ძოდუაშვილი უ., ლომთაძე ჯ., საური ი., ჩიხლაძე ვ.
რეზიუმე**

მოკლედ არის აღწერილი საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების ისტორია. მოყვანილია მიმოხილვითი და სპეციალიზირებული სექცვასაწინააღმდეგო მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორების მუშაობის პრინციპის და მუშაობის მეთოდების აღწერილობა. მოყვანილია C-დიაპაზონის თანამედროვე მეტეოროლოგიური რადარების პარამეტრების შედარება. დასაბუთებულია ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების რადიოლოკაციური უზრუნველყოფის და სექცვის საწინააღმდეგო ავტომატიზირებული სისტემის შესაქმნელად თანამედროვე მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორის არჩევანი.

**METEOROLOGICAL RADAR AND RADAR ENSURING ACTIVE IMPACTS ON
ATMOSPHERIC PROCESSES IN KAKHETI**

Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Sauri I., Chikhladze V.

Abstract

The prehistory of active actions on the atmospheric processes on the territory of Georgia is briefly described. The description of the operating principle and methods of operation of the surveillance and specialized anti-hail meteorological radars is given. The comparison of the parameters of the contemporary meteorological radars of C-range is carried out. The selection of contemporary meteorological radar for the radar guarantee of active actions on the atmospheric processes and creating the automated system for dealing with the hail is substantiated.

СРЕДСТВА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ

¹Амиранашвили А.Г., ²Дзодзуашвили У.В., ²Ломтадзе Дж. Д.,
²Саури И.П., ¹Чихладзе В.А.

¹Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили
²Научно-технический центр «Дельта»

В Грузии опытные, затем опытно-производственные и производственные работы по активным воздействиям на атмосферные процессы (борьба с градом, вызывание осадков, регулирование грозовой деятельности конвективных облаков) велись в 1960-1990 годах в районах Кахетии, Тианетском районе и Южной Грузии на общей площади более 1млн. га [1-5].

Почти во всех работах использовались кристаллизующие реагенты (PbI_2 – до 1985 г., AgI) [1-5]. В одном районе воздействие велось комбинированным методом (AgI , $NaCl$) [2]. Для доставки реагента в облака использовались ракеты (“ПГИ”, “Облако”, “Алазани”, “Кристалл”), артиллерийские снаряды (“Эльбрус-4”), самолет [6-14]. Подробная информация о характеристиках современных ракет типа земля-воздух для воздействия на атмосферные процессы представлена в [7,8]. Отличительной особенностью указанных средств доставки реагента в облака, по сравнению с используемыми ранее, является существенное повышение выхода кристаллизующего реагента (AgI) при одновременном уменьшении доли этого реагента в пиротехническом составе, совершенствование баллистических характеристик противорадиометeorных ракет, повышение уровня их экологической безопасности и др. [7].

В настоящее время противорадиометeorные ракеты производятся в России, Китае, Болгарии, Сербии, Македонии, Хорватии и др. Пусковые установки для запуска противорадиометeorных ракет в основном стационарные, как с ручным приводом, так и автоматизированные, угол наклона направляющих и ориентация по азимуту которых проводится дистанционно по команде с центрального пункта управления. Запуск ракет в целях безопасности, только ручной, с выносного пульта управления, питаемого от сети постоянного тока с напряжением 24-27 вольт. В тех странах, где имеется недостаток локационных средств, в частности в Китае, имеются пусковые установки, смонтированные на автомобилях высокой проходимости и на катерах [7,8].

После принятия в 2014 г. решения о возобновлении работ по модификации погоды в Грузии, и, в первую очередь, восстановлению противорадиометeorной службы в Кахетии, возникли задачи по приобретению специализированного или приспособленного для противорадиометeorных работ метеорологического радиолокатора, выбора места для установки метеорадара и пусковых установок, инфраструктурные вопросы – выделение участков земли, ограждение, противомолниевая защита, подъездные пути, электропитание и т.п., приобретения противорадиометeorных ракет для начала противорадиометeorных работ, разработка и производство автоматизированных пусковых установок для их запуска, связь – прохождение радиосигнала, необходимость установки ретрансляторов, промежуточных усилителей и др., подготовка и оснащение центрального пункта управления, прокладка коммуникаций и т.п. При этом главный из целого комплекса вопросов – это подготовка кадров.

С учетом экономических и технических причин, а также возможностей дальнейшей модернизации и перспективы налаживания их производства на месте, было решено приобрести противораковые изделия типа SK-6 производства Македонии [15] (рис. 1).

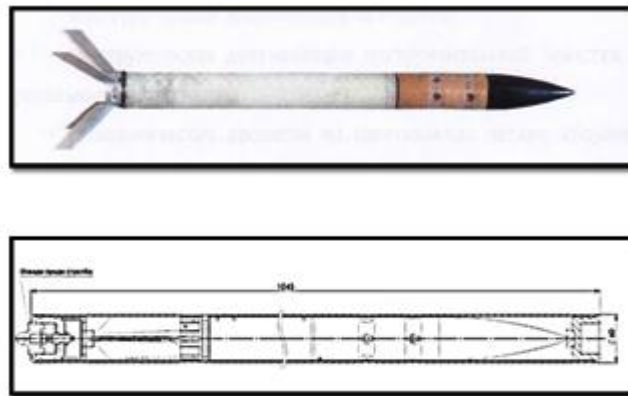


Рис. 1. Противораковая ракета SK-6.

Указанное изделие имеет следующие технические характеристики:

- Калибр – 55 мм;
- Длина – 900 мм;
- Стартовая скорость ракеты- 80 м/сек;
- Время работы ракетного двигателя - 4 ± 1 сек;
- Время работы вышибного ракетного двигателя - 2000 ± 50 Ns;
- Начало рассеяния реагента - 7 ± 1.5 сек;
- Время рассеяния реагента 30 ± 2 сек;
- Время самоликвидации 40 ± 3 сек;
- Количество взрывчатого вещества для самоликвидации – 12.5 г;
- Количество капсулей-детонаторов – 4;
- Максимальный вес после самоликвидации – 400 г;
- Температура при эксплуатации -5°C до 50°C ;
- Время работы двигателя - 4 ± 1 сек;
- Вращение ракеты – 1200 оборотов/мин при максимальной скорости движения;
- Длина ракетного двигателя – 355 мм;
- Вес ракетного двигателя - 1019 ± 5 г;
- Вес ракеты - 3445 ± 50 г;
- Вес топлива - 1010 ± 10 г;
- Масса шашки активного дыма (реагент + горючая смесь) – 400 г;
- Масса реагента (AgI) - 50 г;
- Среднее рабочее давление двигателя – макс. 45 Бар;
- Максимальная скорость полета ракеты – 600 м/сек;
- Максимальная высота полета при угле запуска 85° с высоты уровня моря - 6000 м;
- Максимальная горизонтальная длина полета при угле запуска 55° с высоты уровня моря - 7200 м;
- Средний тотальный импульс (сила всего двигателя) – $1950.3 \text{ Ns} \pm 20 \text{ Ns}$;
- Выход реагента с изделия при температуре -10°C - $1.28 \cdot 10^{16}$ частиц.

Оперение ракеты складное, что позволяет разместить изделие в специальных транспортировочно-пусковых герметичных цилиндрических контейнерах, которые

закладываются в пусковую установку. Запуск изделия, после которого складное оперение раскрывается, осуществляется по минометному типу с дальнейшим разгоном ракеты работающим в течение 4 сек двигателем. Затем ракета движется по инерции с выделением реагента. По окончании выделения реагента происходит самоликвидация изделия.

На рис. 2 представлены траектории полета противораковой ракеты SK-6 при углах запуска 55, 60, 65, 70, 75 и 80 градусов с высоты расположения пусковой установки 550 м над уровнем моря. Сплошными линиями обозначены активные части траектории полета (выделение реагента). Точками и пунктирными линиями – стартовые части траектории и места ликвидации изделий соответственно.

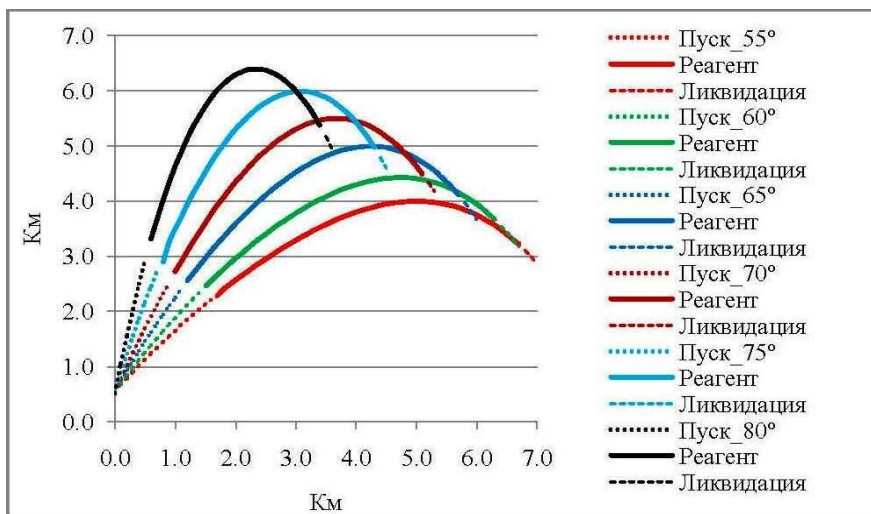


Рис. 2

Траектории полета противораковой ракеты SK-6 при различных углах запуска с высоты пуска 550 м над уровнем моря.

Как следует из рис. 2, при различных углах запуска ракеты максимальная высота ее подъема над уровнем моря меняется от 4.0 (угол пуска 55°) до 6.4 км (угол пуска 80°). Соответственно, максимальная горизонтальная дальность полета – от 6.7 до 3.4 км.

Что касается выхода кристаллизующего реагента с одного изделия, то, в частности, противораковая ракета SK-6 примерно в 4 раза превосходит такие ракеты, как "Алазань 2М", "Кристалл- 1М", "Кристалл-2М", в 1.8 раза превосходит ракеты типа "Алазань 5/6/9"; соизмерима с выходом активных частиц у ракет типа "Небо", "Дарг", "Loza-2", "Loza-3", "Алан-2"; примерно в 1.6-4.2 раза ниже, чем у ракет типа "Облако", "АС", "Loza-6" [7,8]. Таким образом, в целом, противораковую ракету SK-6 по выходу кристаллизующего реагента можно отнести к третьему поколению изделий подобного типа. Недостатком указанной ракеты является меньший, по сравнению с указанными выше, эффективный радиус действия. Однако, этот недостаток планируется исправить при предполагаемой организации производства противораковых изделий в Грузии.

Достаточно высокий уровень выхода кристаллизующего реагента позволяет создать необходимую начальную концентрацию ледяных частиц в облаке. Для примера на рис. 3 представлены значения концентрации льдообразующего реагента в неподвижном воздухе по трассе полета ракеты SK-6 через 1 сек после рассеивания реагента при различных значениях коэффициента турбулентности. Расчеты проводились в соответствии с методикой, описанной в работах [3,16].

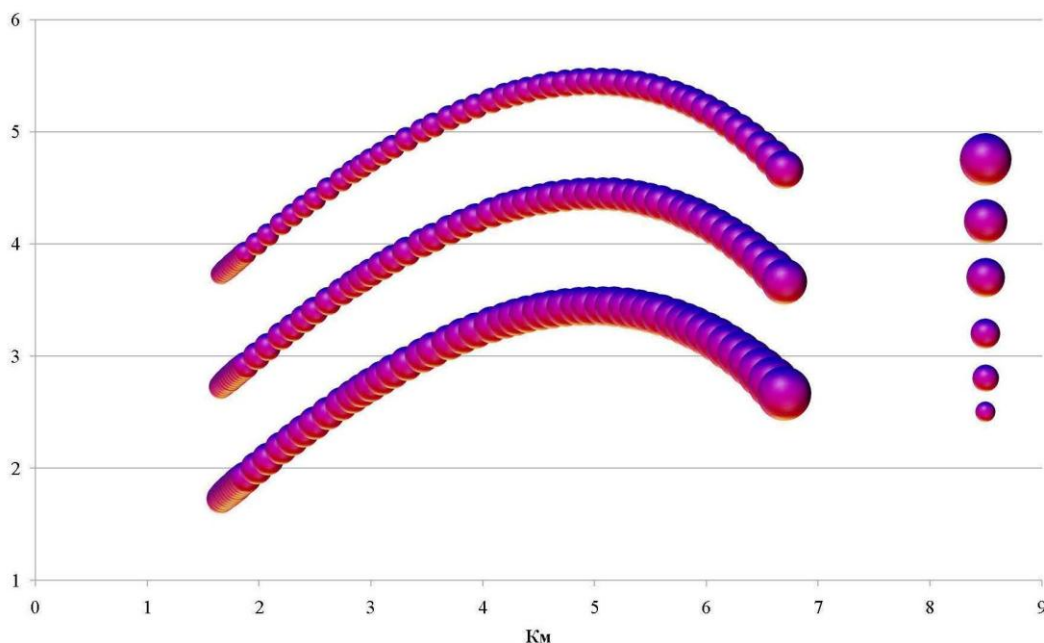


Рис. 3

Концентрация льдообразующего реагента в неподвижном воздухе по трассе полета ракеты SK-6 через 1 сек после рассеивания реагента. Угол запуска - 55° , коэффициент турбулентности - 200, 100 и $50 \text{ м}^2/\text{сек}$ (сверху вниз). Высоты – относительные (км). Справа масштаб, сверху вниз соответственно: $3 \cdot 10^9$, $1 \cdot 10^9$, $5 \cdot 10^8$, $1 \cdot 10^8$, $5 \cdot 10^7$, $1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-3}$.

Отметим, что в начале и в конце траектории полета ракеты, через 1 секунду после окончания рассеивания реагента, ее концентрация меняется от $7.92 \cdot 10^7$ до $3.66 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$ при значении коэффициента турбулентности $K = 50 \text{ м}^2/\text{сек}$, от $2.8 \cdot 10^7$ до $1.29 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$ при значении $K = 100 \text{ м}^2/\text{сек}$ и от $9.9 \cdot 10^6$ до $4.57 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ при значении $K = 200 \text{ м}^2/\text{сек}$. Средние концентрации реагента соответственно составляют $5.26 \cdot 10^8$, $1.86 \cdot 10^8$ и $6.58 \cdot 10^7 \text{ м}^{-3}$.

Также отметим, что по аналогии с [3,16], в дальнейшем предусмотрено провести расчеты распределения реагента от трасс противораковых ракет по всему объему облака для различных моментов времени после окончания выделения реагента при различных значениях скорости восходящего потока, коэффициента турбулентной диффузии и учетом кривизны траектории полета противоракового изделия.

На рис. 4 представлен пример полезных горизонтальных проекций противораковой ракеты SK-6 при различных горизонтальных углах пуска.

Как следует из рис. 4, для данного примера горизонтальная проекция полезной траектории противораковой ракеты (выпуск реагента в зоне облака с отрицательными температурами ниже -3°C) составляет 1.8-5.1 км (или длина – 3.3 км). Или, иными словами – начальные 1.8 км это так называемая “мертвая” зона, от 1.8 до 5.1 км – рабочая зона. Оптимальная веерность при запуске нескольких ракет для указанного случая составляет примерно 10 градусов (среднее расстояние между трассами около 500-600 м, максимальное – не более 1000 м [7]).

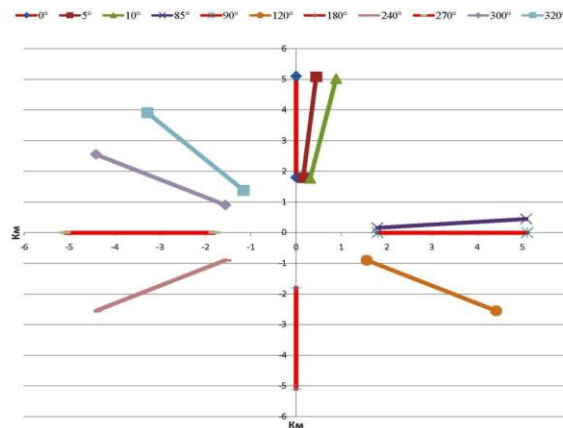


Рис.4

Пример полезных горизонтальных проекций противорадовой ракеты SK-6 при различных горизонтальных углах пуска. Высота пункта воздействия 550 м над уровнем моря. Высота уровня изотермы -6 °С – 4600 м. Угол запуска ракеты - 70°.

Отметим, что в дальнейшем предусмотрено проведение расчетов по определению полезных горизонтальных проекций противорадовой ракеты SK-6 и их веерности для всех высот расположения пунктов воздействия и вертикальных углов запуска с учетом различных уровней высоты изотермы -6°С. Эти расчеты необходимы для нормирования оптимального количества ракет при воздействии на градовые процессы.

Учитывая технические характеристики противорадовой ракеты SK-6, в 2014 году в научно-техническом центре «Дельта» был создан опытный образец установки для их запуска (рис. 5).

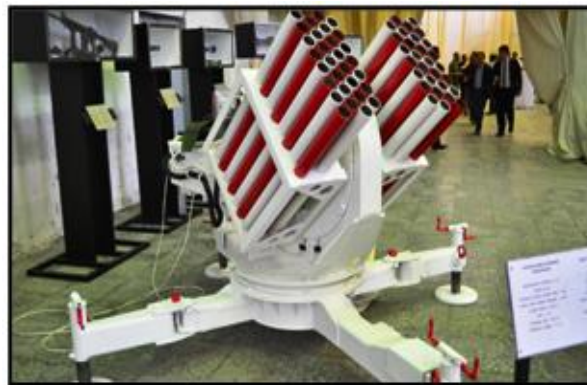


Рис. 5

Опытный образец пусковой установки для противорадовых ракет SK-6.

Особенностью указанной пусковой установки является возможность изменения количества и диаметра контейнеров (стволов) для противорадовых ракет, а также возможность дистанционной наводки по углу места и по азимуту и поочередного запуска. Установка успешно прошла первые тестовые испытания. В 2015 году планируется осуществить выпуск усовершенствованного варианта этих установок с учетом размещения оптимального количества стволов, защитных кожухов для них от атмосферных осадков, улучшенной программой

дистанционного запуска изделий и др. Предполагается также создать несколько мобильных вариантов пусковых установок.

Учитывая, что в ближайшем будущем намечено производство противораковых ракет с улучшенными баллистическими характеристиками (увеличение эффективного радиуса действия и др.), было решено месторасположение пунктов воздействия сохранить примерно такое же, как было в последние годы работы противораковой службы в Кахетии.

На рис. 6 представлена схема расположения пунктов воздействия в указанном регионе.

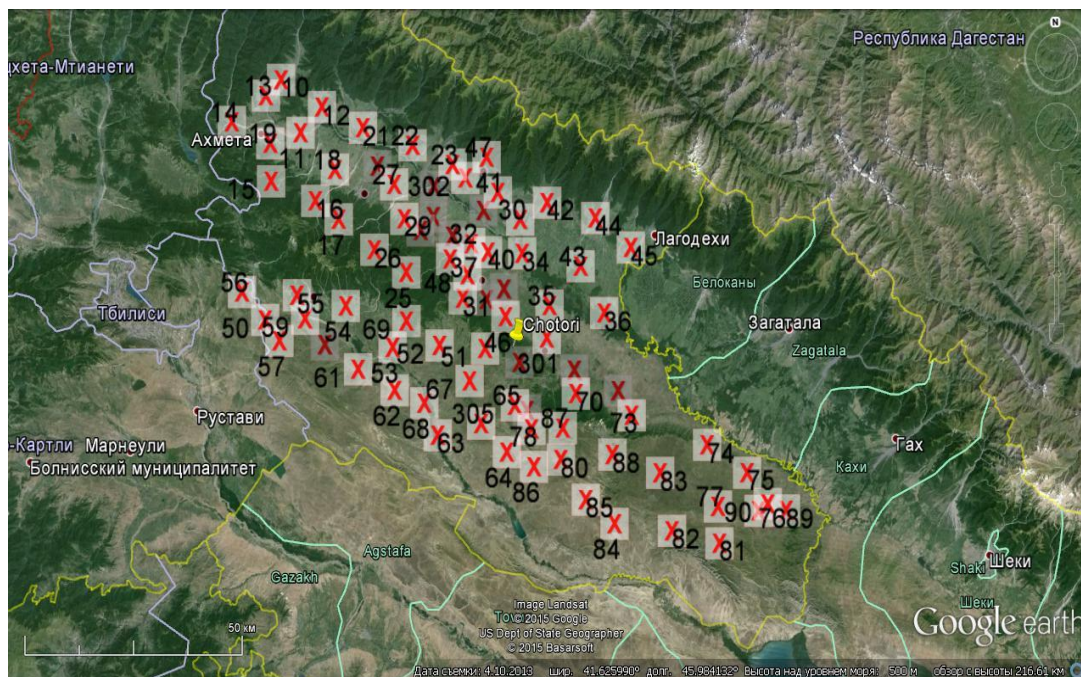


Рис. 6
Схема расположения пунктов воздействия в Кахетии.

Всего предполагается расположить более 80 пунктов воздействия на высотах от 205 до 1775 м над уровнем моря. При этом в диапазоне высот от 205 до 375 м планируется расположить 20 пусковых установок, от 376 до 625 м – 37 установок, от 626 до 875 м – 19 установок, от 876 до 1125 м – 3 установки и от 1275 до 1775 м также 3 установки.

Литература

1. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Н.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии. Тр. Института гидрометеорологии, т. 108, ISSN 1512-0902, Тб., 2002, с. 249-260.
2. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, т.119, ISSN 1512 – 0902, Тб., 2013, с. 144 - 152.
3. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тб., “Мецниереба”, 1991, 113 с.

4. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противоградовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб.:, 2014, с. 208-212.
5. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
6. სეტყვა და მასთან ბრძოლა. ჰიდრომეტეოროლოგებზე აქტიური ზემოქმედების სამსახურის 1967-1989 წწ. მუშაობის ძირითადი შედეგები. თბ.:, 1990, 15 გვ.
7. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик:, “Печатный двор”, 2014, 508 с.
8. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 64, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2013, с. 151-159.
9. Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г., Лапинкас В.А. Некоторые вопросы методики воздействия на градовые процессы с использованием противоградовой системы “Алазани”. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 26 , Тб.:, ”Мецниереба”,1975, с. 13-27.
10. Бартишвили И.Т., Надибаидзе Г.А., Бегалишвили Н.А., Гудушаури Ш.Л. К физическим основам метода ЗаКНИГМИ борьбы с градом. Тр. ЗаКНИГМИ «Физика облаков и активных воздействий», вып. 67(73), Л.:, Гидрометеоиздат, 1978, с.73-82.
11. Степаненко В.Д., Имянитов И.М., Богачук В.С., Карцивадзе А.И., Амиранашвили А.Г., Салуквадзе Т.Г., Гзиришвили Т.Г., Бохашвили В.Х., Саркисова Л.С., Качурин Л.Г., Дивинский Л.И., Иванов Б.Д., Осипов Ю.Г. Предварительные результаты опытов по воздействию на грозовые процессы льдообразующим реагентом. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.49, Тб.:, ”Мецниереба”, 1982, с. 13-44.
12. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Нодиа А.Г. – Влияние кристаллизующих реагентов и ПАВ на электрическое состояние кучевых облаков, Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 116-116.
13. Amiranashvili A.G.,Gzirishvili T.G.,Chumburidze Z.A. On the role of artificial ice forming reagents and radioactive intermixtures in the variation of convective clouds thunderstorm and hail activity. Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Precipitations, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 1, 1996, pp. 267-270.
14. Аджиев А.Х., Амиранашвили А.Г., Чаргазия Х.З. Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эффективность противоградовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 387-395.
15. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, складированию и транспортированию противоградовой ракеты SK-6. Скопье:,Македония, 2012, 57 с.
16. Амиранашвили А., Маградзе Г., Гамхиташвили Л. Распространение льдообразующего реагента от трасс противоградовых изделий “Алазань” и “Кристалл” в восходящем турбулентном потоке воздуха. Тр. Всес.конф. “Активн. возд. на гидрометеорологические процессы”, Нальчик, 22-25 октября 1991, Санкт-Петербург:, Гидрометеоиздат, книга 2, 1995, с. 152-155.

კახეთში ატმოსფერულ პროცესებზე ზემოქმედების საშუალებები

ამირანაშვილი ა., ძოდუაშვილი უ., ლომთაძე ჯ., საური ი., ჩიხლაძე ვ.

რეზიუმე

მოყვანილია მონაცემები SK-6 ტიპის სეტყვასაწინააღმდეგო რაკეტის შესახებ, რომლის გამოყენება დაგეგმილია სეტყვასთან ბრძოლის საქმეში კახეთის რეგიონში 2015 წელს. წარმოდგენილია სამეცნიერო-ტექნიკურ ცენტრ „დელტა“-ში შექმნილი ამ რაკეტების გამშვები დანადგარის საცდელი ნიმუშის მოკლე აღწერა. მოცემულია კახეთში სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების პუნქტების განლაგების რუკა.

MEANS OF ACTION ON ATMOSPHERIC PROCESSES IN KAKHETI

Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Sauri I., Chikhladze V.

Abstract

The data about the anti-hail rocket SK-6 which is planned to use in the works on the fight with the hail in Kakheti in 2015 are presented. The brief description of created in the scientific and technical center "Delta" of prototype launcher for these rockets is represented. The map of the layout of the points of action on the hail processes in Kakheti is given.

ПЕТРОМАГНЕТИЗМ И МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАИНОЗОЙСКИХ ИНТРУЗИВОВ ТЕРРИТОРИИ ГРУЗИИ

Табагуа Г.Г., Гогуа Р.А.

Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

Поиски и разведка различных полезных ископаемых, особенно в геосинклиналях, строятся с учетом распределения интрузивных тел в земной коре. Значительный интерес и изучение интрузивных полей еще более усугубляется в результате установления связи между интрузиями и большей частью распространенных на Кавказе полезных ископаемых. Выявление новых и, особенно, скрытых интрузивных массивов, наряду с теоретическим интересом, ставит перед геологами вопрос большого практического значения – поиска полезных ископаемых в зонах распространения этих рудоконтролирующих структур [1].

Для всестороннего изучения интрузивных пород, нами были произведены следующие исследования: 1. определение верикального компонента Z магнитного поля Земли; 2. отбор ориентированных образцов; 3. определение магнитных параметров (магнитная восприимчивость α и остаточная намагниченность I_n); 4. исследование прозрачных и полированных шлифов [2].

На территории Грузии каинозойские интрузии известны, в основном, в районе г. Кутаиси: тешениты Курсеби-Набослеви, Цуцхвати-Набеглари, Колубани (Салесава), Опучхети-Жонети, Кудоти-Зарати, Баноджа, а также около с. Никорцминда, в ущельях р.р. Иори и Стори.

Тешениты Курсеби-Набослеви

Образцы тешенитовых пород, отобранных из обнажения в с. Курсеби, а также на 500м. выше от правого притока р. Цхалцитела, характеризуются повышенными магнитными свойствами. α и I_n этих пород варьируют соответственно в пределах $(1600 - 3500) \cdot 10^{-6}$ и $(1300 - 3800) \cdot 10^{-6}$ СГС. Параметр Q знакопеременный и меняется в среднем от $-2,0$ до $2,5$. Из рудных минералов в породе представлены магнетит, магнитный пирротин, количество которых достигает 10%.

Магнитная аномалия в районе распространения тешенитов, на левом берегу р. Цхалцитела отрицательна, с интенсивностью в несколько тысяч нТл. Последнее положение создает благоприятное условие для картирования подобных тешенитов методом магниторазведки.

Тешениты Цуцхвати-Набеглари

Образцы тешенитов были отобраны на окраине с. Коки, а также на расстоянии 700-800 метров к востоку от этого обнажения (карьера). Образцы пород, здесь тоже, характеризуются высокими магнитными свойствами. $\alpha=(1500-6000) \cdot 10^{-6}$, а I_n имеет отрицательное направление

и меняется от -3000 до $6000 \cdot 10^{-6}$ СГС. Соответственно параметр Q отрицателен и меняется в пределах 1,1-4,6.

Над выходом тешенитовых пород наблюдается интенсивная отрицательная аномалия магнитного поля, порядка несколько тысяч нТл. (рис. 1)

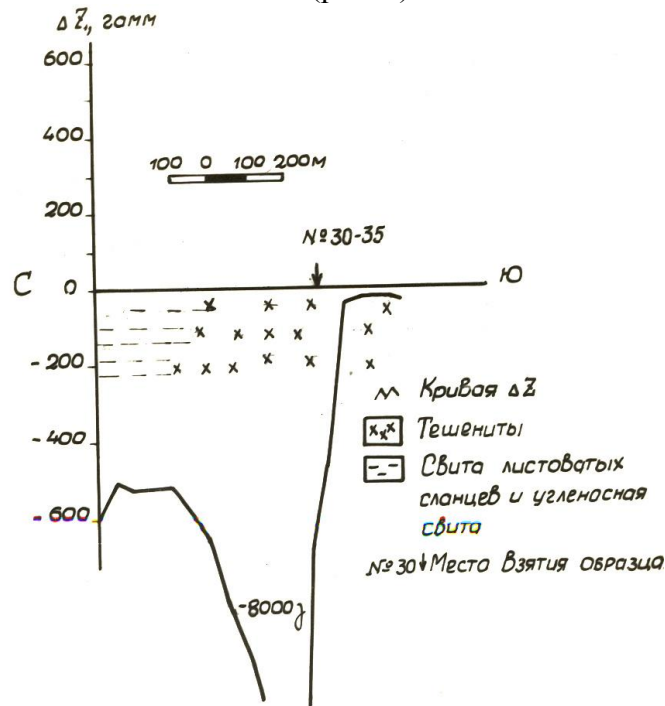


Рис. 1

Основными ферромагнитными минералами являются магнетит и магнитный пирротин.

Тешениты Колубани (Салесава), Опучхети-Жонети, Кудоти-Зарати, Баноджа

На всех вышеназванных местностях распространены тешениты с высокими магнитными параметрами α и I_n . $\alpha = (1400-6000) \cdot 10^{-6}$, а $I_n = (1700-5000) \cdot 10^{-6}$ СГС. $Q = 0,7 - 4$. В образцах этих пород встречаются как прямо так и обратномагнитченные породы.

Содержание ферромагнитных минералов в образцах аналогично с содержанием этих минералов в интрузивных породах Курсеби-Набослеви и Цуцхвати-Набеглари. Основным ферромагнитным минералом является магнетит, в меньшем количестве представлены: ильменит, пирротин и пирит.

Тешениты хорошо картируются интенсивным знакопеременным магнитным полем.

Тешениты с. Никорцминда

К югу от церкви Никорцминда на расстоянии 1,5-2 км. в среднеюрских отложениях (известняки, мергели, глины, песчаники) известны выходы на поверхность Земли тешенитовых пород. По составу ферромагнитных минералов они сходны с тешенитами Кутаисского района. Сходство этих тешенитов наблюдается также в магнитных свойствах. α и I_n тешенитов с.

Никорцминда меняется в пределах: $\alpha=(1500-4500)\cdot 10^{-6}$, $I_n=(800-6000)\cdot 10^{-6}$ СГС и имеет разный знак, $Q=0,9-3,9$.

Магнитное поле тешенитовых пород знакопеременный, интенсивный (рис. 2) и легко картирует площадь распространения тешенитов.

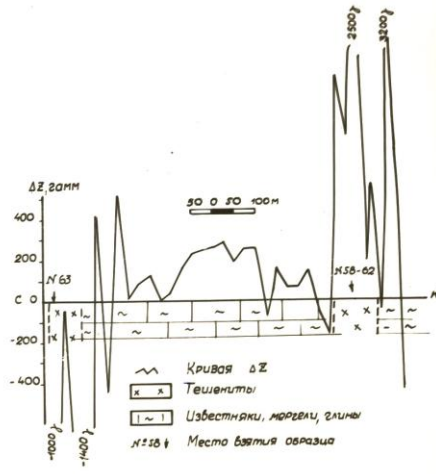


Рис. 2

Тешениты р. Иори

Интрузивное тело обнажается в долине р. Иори на расстоянии в 1 км. от с. Мажалоани и залегает в плотных верхнемеловых образованиях. Видимая мощность интрузива около 100 м. Породы интрузивного тела характеризуются повышенными значениями магнитных параметров: $\alpha=(2000-3000)\cdot 10^{-6}$, а $I_n=(700-2000)\cdot 10^{-6}$ СГС, причем направление остаточной намагниченности - знакопеременное. Параметр $Q=0,4-0,8$.

Из рудных минералов в породе встречаются магнетит, ильменит, пирит и гематит, количество которых в шлифах составляет в среднем 3%.

Характерной особенностью этих тешенитов является зональность по направлению I_n . Интрузивное тело картируется очень наглядно, а кривая магнитной аномалии имеет классическую форму (рис. 3).

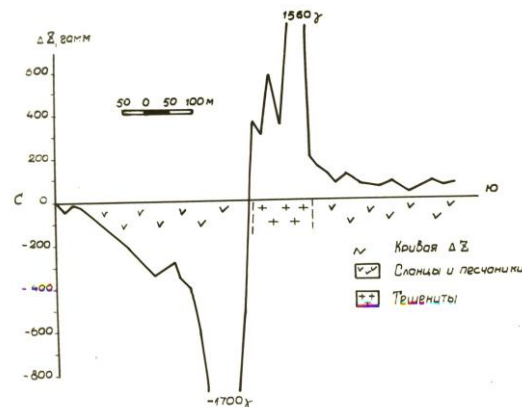


Рис. 3

Диобазы ущелья р. Стори

На южном склоне Большого Кавказа, в пределах Кахети диобазовые породы образуют сплошные поля и играют существенную роль в геологическом строении района. Картирование диобазовых даек имеет большое практическое значение, так как, к ним часто приурочено медно-пирротинное оруденение.

В ущелье р. Стори исследованию подверглись два выхода диобазовых пород.

Магнитные параметры диобазовых пород таковы: $\alpha=(1000-4000)\cdot 10^{-6}$, $I_n=(150-1200)\cdot 10^{-6}$ СГС, направление намагниченности нормальное. Интенсивность магнитной аномалии несколько сотен гамм и резко отличается от магнитного поля вмещающих пород – сланцев и песчаников лейоса (рис. 4).

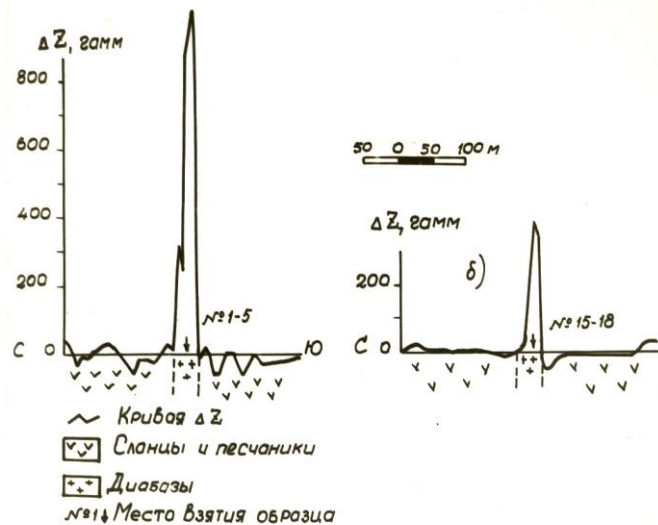


рис. 4

Заключение

Таким образом вышеизложенное дает основание заключить:

1. Тешениты Курсеби-Набослеви, Цуцхвати-Набеглари, Колубани, Опучхети-Жонети и Баноджа по составу магнитных минералов идентичны и характеризуются высокими магнитными параметрами α и I_n ; Полярность остаточной намагниченности I_n тешенитов Курсеби-Набослеви и Цуцхвати-Набеглари отрицательная и создает интенсивные отрицательная магнитные аномалии.

Тешениты Колубани, Опучхети-Жонети, Баноджа имеют, в основном, положительное направление I_n , нежели в малом количестве встречаются породы с отрицательным направлением I_n ;

2. Тешениты с. Никорцминда и р. Иори по минеральному составу и по магнитным свойствам похожи на тешениты Кутаисского района, они создают знакопеременные интенсивные магнитные аномалии и легко выделяются из вмещающих пород. Полярность I_n этих тешенитов имеет оба знака.

3. Остаточная намагниченность тешенитов (Курсеби-Набослеви, Цуцхვატი-Набеглари и Колубани) является стабильной к воздействию переменного магнитного поля 300 Э. и, следовательно, может быть использована для палеомагнитных исследований.

Литература

1. Дудаури О.З., Тогонидзе М.Г. Мезозойский и кайнозойский интрузивный магнетизм южного склона Большого Кавказа в пределах Грузии. Братислава.- 1984.
2. Табагуа Г.Г., Гогуа Р.А. Опытные-методические работы по разработке и применению электрических и магнитных методов разведки на рудных месторождениях Грузии. Тбилиси.-1982. 97с. Рукопись деп. в ВИНТИ, 22-VI-1982. № гос. регистрации 78021256, инв. №0283.0081661.

საქართველოს ტერიტორიის ინტრუზივების პეტრომაგნეტიზმი და მაგნიტური ველი

ტაბაღუა გ., გოგუა რ.

რეზიუმე

შესწავლილია საქართველოს ტერიტორიაზე გავრცელებული კაინოზოური ინტრუზივების მაგნიტური ველი და პეტრომაგნეტიზმი. დადგენილია სხვადასხვა ინტრუზივებს შორის მსგავსება-განსხვავება, მაგნიტური პარამეტრების (α , I_n , Q) და მაგნიტური მინერალების მიხედვით. დადგენილია, აგრეთვე, რომ ძიების მაგნიტური მეთოდი ეფექტურია მსგავსი ინტრუზივების ძიებისა და კარტირებისათვის.

Petromagnetism and Magnetic Field of Intrusives on the territory of Georgia

Tabaghua G., Gogua R.

Abstract

We have studied the magnetic field and petromagnetism of Cenozoic intrusives on the territory of Georgia. We have determined similarities and differences among the intrusives according magnetic parameters (α , I_n , Q) and magnetic minerals. It is proved that the magnetic prospecting method is effective for prospecting and mapping of similar intrusives.

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФНЫХ НЕРАВНОМЕРНОСТЕЙ НА ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ В РЕЖИМЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Кобзев Г., Меликадзе Г., Джимшеладзе Т., Чанкветадзе А.

Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского Государственного Университета

Резюме

Проведен пространственно-временной анализ режимосоставляющих факторов подземных вод, выделена геодинамическая составляющая из мультипараметрического сигнала, установлена причинно-следственная связь геодеформационных и гидродинамических процессов и влияние рельефа на их вариации.

Введение

Корреляция между гидродинамическими и геодинамическими процессами давно зафиксирована исследователями (1-2). Понятен физический смысл этого явления: породы литосферы содержат трещины и поры, которые реагируют на механические напряжения. Как известно, вода - несжимаемая среда и в случае открытости системы во время изменения напряжения вода вытесняется из напряженно-деформированной среды, а это даёт возможность наблюдать за изменением напряжённости, в том числе при подготовке землетрясений. Выявление механизма взаимосвязи деформационных процессов и гидродинамики подземных вод позволяет объяснить изменчивость гидродинамического поля. При этом огромное значение имеет учет геологического и гидродинамического строения среды.

Анализ данных

Институтом Геофизики проводится мониторинг "гидрогеодеформационного поля Земли", позволяющий фиксировать быстрые изменения напряженно-деформированного состояния среды на режимных скважинах Грузии с 80х годов прошлого столетия (3). Эти глубокие скважины, как объемные деформографы, чутко реагируют на деформации различного характера, как экзогенные, так и эндогенные (4-7). Точность наблюдений достигала 10^{-7} - 10^{-9} величин.

При обработке данных нами использовались ежеминутные данные об изменении уровня воды и атмосферного давления на режимных скважинах. В среде MatLab была разработана специальная программа "StationsMany", позволяющая осуществить визуализацию графиков уровня воды, атмосферного давления и приливных влияний, а также провести необходимые вычисления при решении систем линейных уравнений.

Для получения лунно-солнечных приливных вариаций была также модифицирована программа "solid" (автор Dennis Milbert, <http://home.comcast.net/~dmilbert/softs/solid.htm>). генерирующая приливные вариации для всех трех компонент (X, Y, Z) (8).

На базе экзогенных параметров новым методом синтезируется теоретический сигнал и сравнивается с реальными данными уровня воды. Программа "StationsMany" дает дополнительную возможность изучить влияние атмосферного давления и приливных.

Чтобы продемонстрировать методику анализа данных и показать влияние геологических особенностей, рассмотрим изменение параметров для скважин Лагодехи и Марнеули, расположенных в разных геологических регионах Грузии и с разным геологическим строением. Скважина Лагодехи, глубиной 800 метров, расположена в сланцах Южного склона Большого Кавказа, а 3500-метровая скважина Марнеули расположена в вулканогенах Грузинской глыбы.

Возьмем значения уровня воды, атмосферы и приливных вариаций для скважины за одни сутки. Поскольку они фиксировались ежеминутно, то каждый параметр за сутки имеет $24*60=1440$ значений. Делаем предположение, что существует линейная связь в виде формулы 1 между параметрами. В результате появляется необходимость решить систему линейных уравнений типа формулы 1, содержащую 1440 уравнений.

$$water = aX * tidalX + bY * tidalY + cZ * tidalZ + d * atmos + e(1)$$

Здесь *water* – измеренное значение уровня воды, *atmos* – атмосферное давление, коэффициенты *a*, *b*, *c*, *d* для гравитационных составляющих X, Y и Z и атмосферы, *e* – константа.

После подбора коэффициентов *aX*, *bY*, *cZ*, *d*, *e* проводим графическое построение теоретического значения уровня воды:

$$water_{theory} = aX * tidalX + bY * tidalY + cZ * tidalZ + d * atmos + e \quad (2)$$

Следующий этап – визуальное сравнение реального *water* и теоретического *water_{theory}* сигналов уровня воды.

В уравнении (1) необходимо вычислить пять неизвестных параметров (*aX*, *aY*, *aZ*, *d*, *e*). Для этого достаточно составить 5 линейных уравнений. Однако "StationsMany", используя среду MatLab, позволяет решать 1440 линейных уравнений с 5 неизвестными переменными, тем самым увеличивая "достоверность" решения системы линейных уравнений.

Изменение уровня воды является отражением объемной деформации в водоносном горизонте. При этом для вариаций воды доминирующей является Z-компонента (рис. 1).

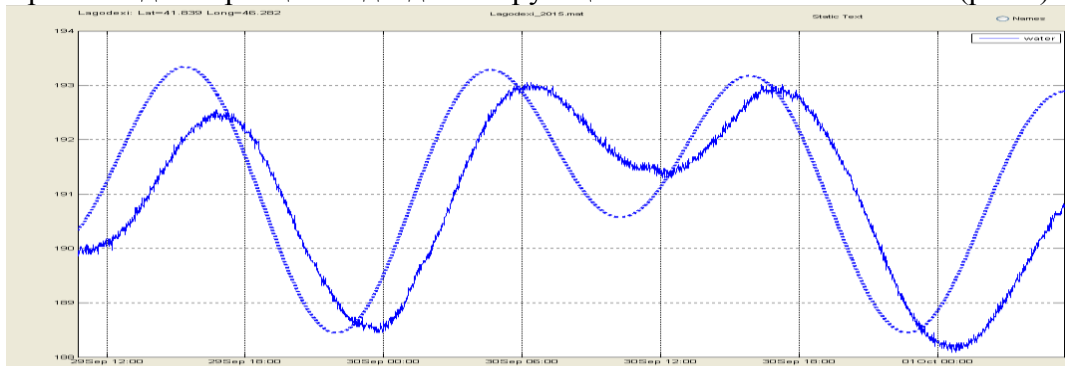


Рис.1

Изменение уровня воды (синяя линия) на скважине Лагодехи и $tidalZ * (-14.064)$ (пунктирная линия), 30 сентября 2015

На рис.1 видно, что амплитуда вариаций уровня воды полностью обусловлена вариациями Z-составляющей приливных. При этом минимум уровня воды существенно позднее минимума Z-составляющей, что означает влияние и других факторов.

Для изучения влияния этих составляющих будем заменять $tidalX$ или $tidalY$ на константу: сначала $tidalX=1$; потом $tidalY=1$ и, наконец, $tidalX=tidalY=1$.

После подбора программой коэффициентов ($aX=-16.0986, bY=25.1322, cZ=-12.524, dAtmos=-0.4694$), построены графики $water$ (синий цвет) и $water_{theory}$ (розовый цвет). Как видно, наблюдается полное совпадение графиков и отсутствует запаздывание по времени.

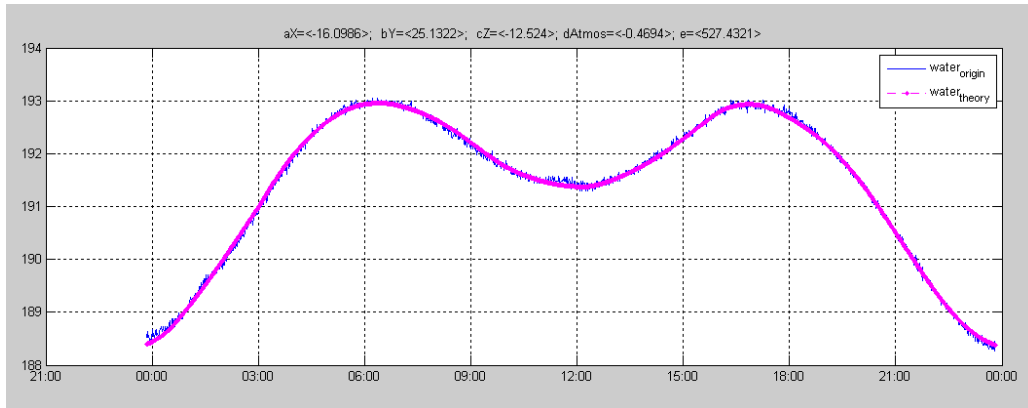


Рис.2

Вариации теоретического и реального значений уровня воды на Лагодехской скважине для подобранных коэффициентов

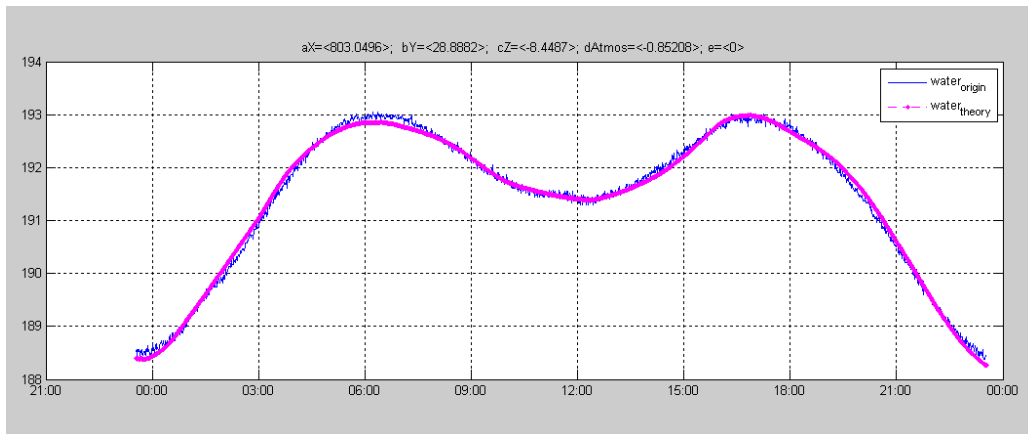


Рис.3

Вариации теоретического и реального значений уровня воды на Лагодехской скважине при $tidalX=1$

При искусственной замене значений для $tidalX$ на 1 на рис. 3 мы опять наблюдаем хорошее совпадение $water$ и $water_{theory}$ (розовый цвет). Это говорит о том, что влияние $tidalX$ несущественно.

При замене $tidalY$ на 1 сходство $water$ и $water_{theory}$ (розовый цвет) стало существенно хуже (рис. 4).

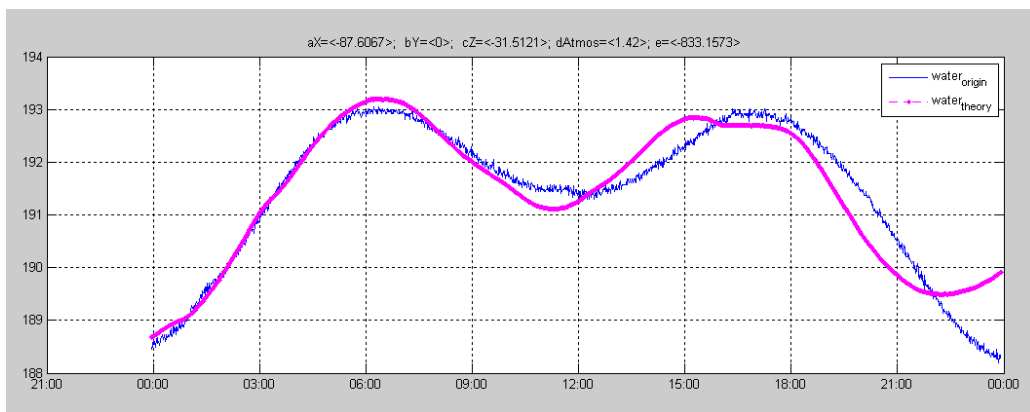


Рис.4

Вариации теоретического и реального значений уровня воды на Лагодехской скважине при $\text{tidalY}=1$

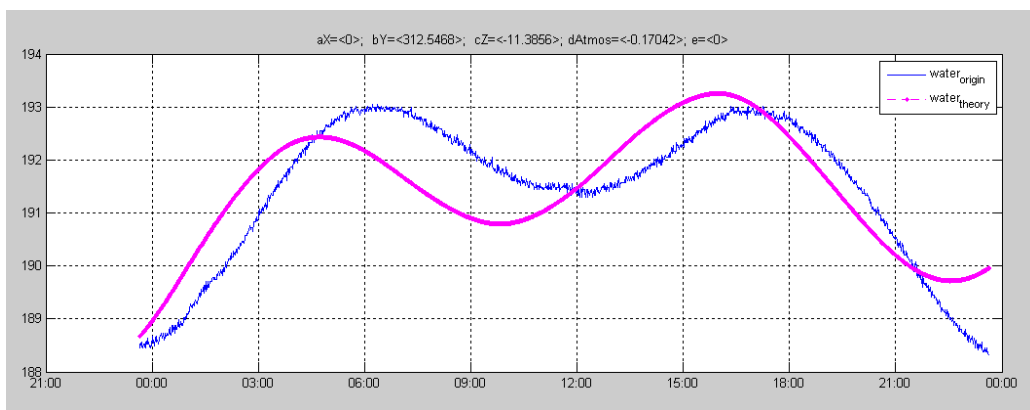


Рис.5

Вариации теоретического и реального значений уровня воды на Лагодехской скважине при $\text{tidalX}=\text{tidalY}=1$

Пусть теперь $\text{tidalX}=\text{tidalY}=1$. Наблюдается визуальное сходство water и $\text{water}_{\text{theory}}$, но сдвиг по времени минимумов этих графиков составляет 99.5 минут (рис. 5).

При несомненной значимости Z-составляющей видно, что горизонтальные составляющие X и Y играют немаловажную роль при расчетах влияния приливных вариаций на водоносный горизонт и соответственно на уровень воды в скважине Лагодехи.

Для сравнения рассмотрим аналогичные вариации для скважине в Марнеули (рис.7).

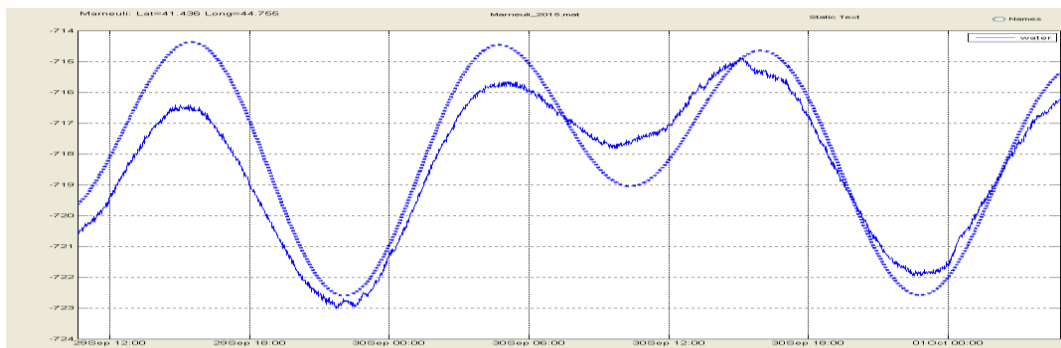


Рис.7

Оригинальные вариации уровня воды (синяя линия) и приливных Z-волн (пунктирная линия). Марнеули, 30 сентября 2015

Приведем пример подбора коэффициентов по всем трем случаям поочередно.

На рис.8 приведен пример использования всех трех приливных компонент. Наблюдается превосходное совпадение оригинальных и теоретических значений уровня воды.

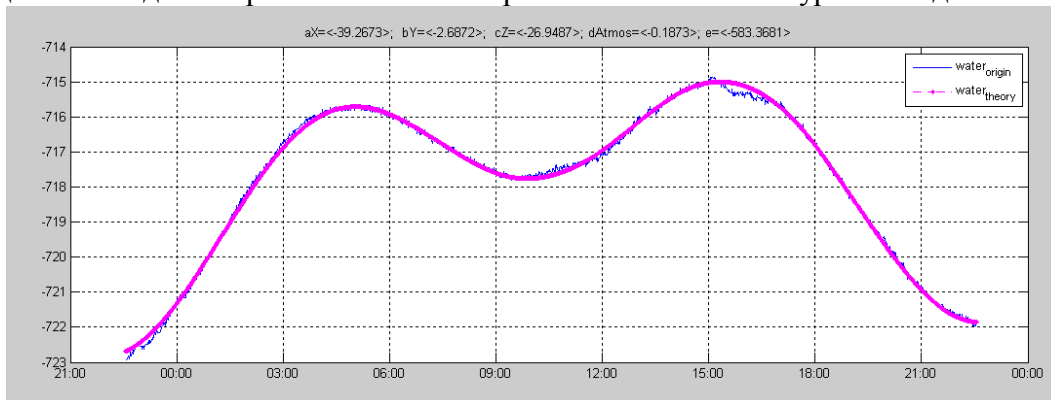


Рис.8

Изменения уровня воды при наличии всех трех приливных вариаций и атмосферного давления

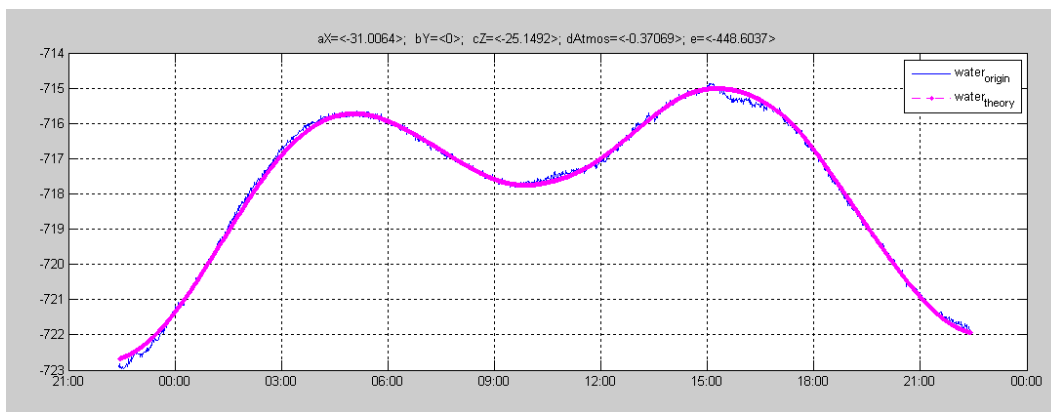


Рис.9

Изменения уровня воды при tidalY=1

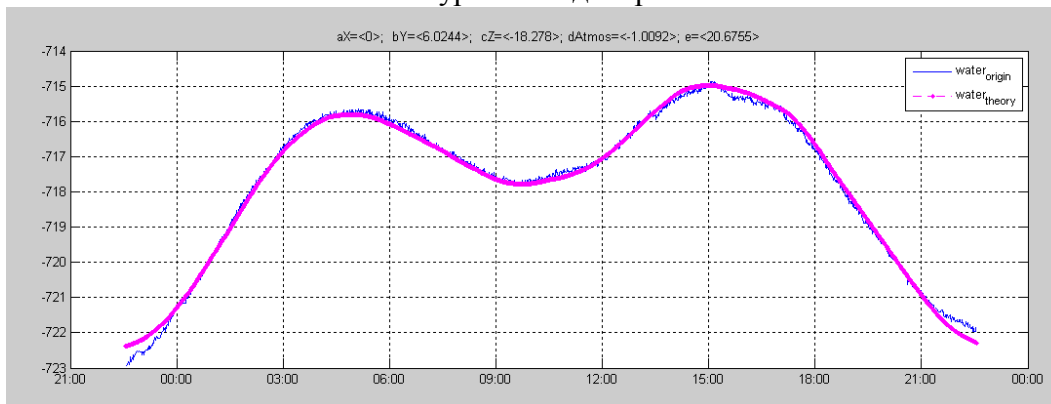


Рис.10

Изменения уровня воды при tidalX=1

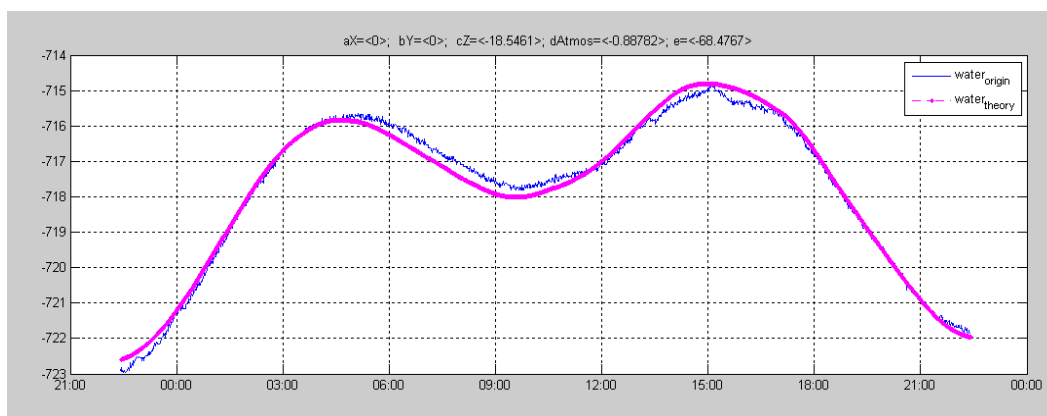


Рис.11
Изменения уровня воды при $\text{tidalX}=\text{tidalY}=1$

Вывод. Для водоносного горизонта дренируемой скважины Марнеули доминирующим фактором, обуславливающим вариации уровня воды, является Z-компонента. При неучете X- и Y-компонент отсутствуют значительный временной сдвиг.

Однако для скважины в Лагодехи без учета горизонтальных приливных составляющих наблюдается запаздывание изменения уровня воды на 99.5 минут. Причиной такого запаздывания может являться сильное воздействие на реальные значения гравитационного поля по сравнению с теоретическими, огромной массы Главного Кавказского хребта, находящейся в непосредственной близости от скважины. В то же время, Марнеульская скважина находится на Нижне Карталинской равнине и его X- и Y- составляющие не подлежат поправкам на горизонтальные рельефные флюктуации.

З а к л ю ч е н и е

Во время режимных геодинимических наблюдений установлено влияние рельефа на реальные значения горизонтальных составляющих гравитационного поля. Необходимо учитывать этот фактор при анализе многопараметрических данных и влиянии геодинимического сигнала.

Благодарность: Авторы благодарят Национальный научный фонд им. Руставели за финансовую поддержку проекта # 156/13 "пространственно-временная изменчивость геодинимического поля и его влияние на глубокие водоносные горизонты и геомагнитное поле".

Литература

1. Kumpel H. (1992) About potential of wells to reflect stress variations within inhomogeneous crust. *Tectonophysics*. 211, 317-336.
2. Hsieh P., Bredehoeft J. and Farr J. (1987) Determination of aquifer transmissivity from Earth tide analysis. *Water Resources Res.* 23, 1824-1832.
3. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли. - Доклад АН СССР, 262, N 2, 1982.
4. Gavrilenko, P., G. Melikadze, T.Chelidze, D. Gibert & G. Kumsiashvili (2000) Permanent water level drop associated with Spitak Earthquake: Observations at Lisi Borehole (Republic of Georgia) and modelling. *Geophys. J. Int.*, 143, 83-98.
5. Hsieh, P. A., I. D. Bredehoeft, S. A. Rojstaczer. Response of Well-Aquifer Systems to Earth Ties: Problems Revisited. *Water resources Research* vol. 24. No. 3. 1988, p.p. 468-472.
6. Rojstaczer, S. 1988. Intermediate period response of water wells to crustal strain: Sensitivity and noise level, *J. Geophys. Res.*, 93, 13,387-12,402.

7. Melikadze G., Matcharashvili T., Chelidze T., Ghloni E. Earthquake related disturbance in stationarity of water level variation. Bulletin of the Academy of sciences of the Georgian, 165 № 1, 2002

მიწისქვეშა წყლების რეჟიმში გრავიტაციულ ველზე რელიეფის არაერთგვაროვნების გავლენა

კობზევი გ., მელიქაძე გ., ჯიმშელაძე თ., ჩანკვეტაძე ა.

აბსტრაქტი

განხორციელდა მიწისქვეშა წყლების რეჟიმშემადგენელი ფაქტორების სივცულ-დროითი ანალიზი, მულტიპარამეტრული სიგალიდან გამოყოფილი იქნა გეოდინამიკური მდგენელი, დადგენილი იქნა მიზეზ-შედეგობრივი კავშირი გეოდეფორმაციულ და ჰიდროდინამიურ პროცესებს შორის და რელიეფის გავლენა მათ სვლილებაზე.

INFLUENCE INHOMOGENEOUS OF RELIEF ON THE GRAVITY FIELD IN THE UNDERGROUND WATER REGIME

Kobzev G., Melikadze G., Jimsheladze T., Chankvetadze A.

Abstract

Curry out a spatial and temporal analyze of malty-components variation in the underground water, highlighted geodynamic component of malty-parametrical signal, fixed causal relationship between geodynamic and hydrodynamic processes and relief's influences of it variation.

СОДЕРЖАНИЕ

Абашидзе В.Г., Цагурия Т.А., Сакварелидзе Е.А., Кутелия Г.А. Еще раз об опорном гравиметрическом пункте и эталонировочном полигоне в Тбилиси.	3
Абашидзе В.Г., Челидзе Т.Л., Цагурия Т.А., Довгаль Н.Д., Давиташвили Л.А. Новые данные в поведении блоков правобережного разлома в районе Ингури ГЭС при регулировании воды в водохранилище и выпадении атмосферных осадков	9
Кордзадзе А.А., Деметрашвили Д.И., Кухалашвили В.Г. Краткосрочный прогноз динамических процессов и распространения примесей в восточной части Черного моря	15
Гонгадзе С.А., Миндели П.Ш., Кириа Дж. К., Есакиа А. Применение метода сейсмической томографии по материалам КМПВ и ГСЗ в комплексе с гравиметрическими и магнитометрическими данными при поисках углеводородов	30
Хазародзе Н. Г., Кордзадзе Л.Б., Баградзе Т.С., Элизбарашвили М.А., Базерашвили Е.Т., Квавадзе З.А., Туския И.И. Влияние закона сохранения момента количества движения на тектонику Земли при ее прохождении через нейтральный слой межпланетного магнитного поля (ММП)	46
Китовани Д. Ш. Эффект экранирования в корреляционном методе преломленных волн	52
Абурджания Г.Д., Харшиладзе О.А., Чаргазия Х.З. Генерация крупномасштабного зонального течения замагниченными волнами Россби в диссипативной ионосфере, управляемой фоновым сдвиговым течением (ветром)	58
Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии.	77
Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Метеорологические радары и радиолокационное обеспечение активных воздействий на атмосферные процессы в Кахетии	101
Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии	113
Табагуа Г.Г., Гогуа Р.А. Петромагнетизм и магнитное поле кайнозойских интрузивов территории Грузии	121
Кобзев Г., Меликадзе Г., Джимшеладзе Т., Чанкветадзе А. Влияние рельефных неравномерностей на гравитационное поле в режиме подземных вод	126

ტირაჟი 50 ც.

მასალები მომზადებულია მიხეილ ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის საგამომცემლო კომპიუტერულ ცენტრში

სამეცნიერო საგამომცემლო ჯგუფის ხელმძღვანელი – ლ. დარახველიძე
ტექნიკური რედაქტორი – მ. დარსანია
კომპიუტერული უზრუნველყოფა – თ. ქირია

Тираж 50 э.

Материал для сборника подготовлен в издательско-компьютерном центре Института геофизики им. М. З. Нодиа

Руководитель научно-издательской группы – Л. К. Дарахвелидзе
Технический редактор – М. С. Дарсания
Компьютерное обеспечение – Т. В. Кириа