НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

"ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ
ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН"

Научный журнал "Труды Института геологии ДНЦ РАН" издается Институтом геологии ДНЦ РАН с 1956 г.

Рецензируемый научный журнал (включен в систему Российского индекса научного цитирования - РИНЦ) посвящен широкому спектру вопросов фундаментальной и прикладной геологии. Его отличие от других аналогичных журналов - в наибольшем охвате тематик в области геологии и геоэкологии. Обсуждаются проблемы, находящиеся на стыке науки и практики, использование современных ГИС-технологий в области наук о Земле.

Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте
http://www.igdncran.ru

Научное направление журнала - ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

25.00.01 Общая и региональная геология

25.00.02 Палеонтология и стратиграфия

25.00.03 Геотектоника и геодинамика

25.00.05 Минералогия, кристаллография

25.00.06 Литология

25.00.07 Гидрогеология

25.00.08 Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

25.00.11 Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

25.00.12 Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

25.00.23 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов

25.00.25 Геоморфология и эволюционная география

25.00.33 Картография

25.00.35 Геоинформатика

25.00.36 Геоэкология (по отраслям)

ISSN 2541-9684
Журнал является рецензируемым.
Журнал выходит 4 раза в год.
Тираж - 200 экземпляров
http://elibrary.ru/ (РИНЦ)
http://www.igdncran.ru

ISSN:2541-9684

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт геологии
Дагестанского научного центра

№ 2(69), 2017
Ежеквартальный научный журнал

"ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН"

Издается по решению Ученого совета Института геологии ДНЦ РАН
Журнал выходит 4 раза в год.

Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Роскомнадзор).
***ПИ № ФС77-67725** от 10 ноября 2016 года*

Научно-редакционный совет:

д.т.н., ИПГ ДНЦ РАН,	*Алхасов А.Б.*
академик РАН, Коми НЦ УрО РАН	*Асхабов А.М.*
д.г.-м.н.,г.н.с., профессор ЮРГПУ (НПИ)	*Богуш И.А.*
д.г.-м.н., , г.н.с., профессор ГИН РАН	*Гаврилов Ю.О.*
академик РАН, ОНЗ РАН	*Глико А.О.*
д.г.-м.н., профессор ИГиГ НАН Азербайджана	*Гусейнов Д. Д.*
д.ф.-м.н., профессор, Геофизический институт ВНЦ РАН,	*Заалишвили В.Б.*
д.г.-м.н., профессор, ИГиИС НАН Армении	*Карапетян Д.К.*
министр природных ресурсов и экологии РД	*Карачаев Н.А.*
д.ф.-м.н., Чеченской академии наук	*Керимов И.А.*
член-корреспондент РАН, ОНЗ РАН	*Морозов Ю.А.*
д.ф.-м.н., профессор, ДГУ	*Рабаданов М.Х.*
академик РАН	*Рундквист Д. В.*
академик РАН, ГИН РАН	*Федонкин М.А.*
член-корреспондент НАН Азербайджана	*Алиева Э.Г-М*

Редакционная коллегия:

д.г.-м.н., г.н.с. ИГ ДНЦ РАН,	*Черкашин В.И.* *(главный редактор)*
к.т.н., с.н.с.	*Мамаев С.А.* *(зам. главного редактора)*
д.т.н., г.н.с.	*Абдуллаев Ш.-С.О.*
к.ф.-м.н, с.н.с.	*Алиев И.А.*
д.т.н., профессор	*Ахмедов Г.Я.*
д.т.н., профессор	*Ахмедов С.А.*
д.ф.-м.н., профессор	*Ашурбеков Н.А.*
к.г.-м.н. с.н.с.	*Газалиев И.М.*
д.г.-м.н., г.н.с.	*Гусейнов А.А.*
д.б.н., г.н.с., профессор	*Залибеков З.Г.*
к.ф.-м.н.	*Ибаев Ж.Г.*
д.ф.-м.н., в.н.с.	*Идармачев Ш.Г.*
к.г.н., с.н.с.	*Идрисов И.А.*
д.ф.-м.н., профессор	*Курбанисмаилов В.С.*
к.г.-м.н.,с.н.с.,(технический редактор)	*Магомедов Р.А.*
д.г.-м.н., г.н.с., профессор	*Маммаев О.А.*
к.г.-м.н., с.н.с.	*Мацапулин В.У.*
д.г.-м.н., г.н.с.	*Осика Д.Г.*
к.ф.-м.н.	*Таймазов Д.Г.*
к.г.-м.н.	*Темирбекова У Т.*
д.т.н., в.н.с., профессор	*Тотурбиев Б.Д.*
к.г.-м.н.	*Юсупов А.Р.*
к.ф.-м.н,,доцент	*Якубов А.З.*
н.с., (ответственный секретарь)	*Гусейнова А.Ш.*
м.н.с., (составитель)	*Абдулмуталимова Т.О.*

Материалы журнала отражают точку зрения авторов и не является официальной позицией Института.
При использовании материалов ссылка на журнал обязательна.

Адрес редакции: 367030, г. Махачкала, ул. М. Ярагского 75
наш сайт в интернете http://www.igdncran.ru, e-mail: dangeogis@mail.ru
Тел. 8(8722)62-93-95; факс: 8(8722)62-06-82
© НП Редакция Журнала «Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН»

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ВЛИЯНИЕ ПАЛЕОСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ И ПРОЦЕССЫ РАННЕГО ЛИТОГЕНЕЗА В РАЗНЫХ ПО СОСТАВУ ОТЛОЖЕНИЯХ МЕЗОЗОЯ-КАЙНОЗОЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА
Гаврилов Ю.О. 4

ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И СОВРЕМЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА
Магомедов Р.А. 12

ОСАДОЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ПРИКУМСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ НА ГЛУБИНАХ БОЛЕЕ 4,5 км И ИХ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
Гаджиева Т.Р., Шульгина Т.А., Меликов М.М. 32

КОНТРОЛЬ И ПРОГНОЗ ОПАСНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЛОТИН.
Марчук А.Н., Марчук Н.А. 39

ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАРБОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА
Гусейханов С.М., Черкашин В.И., Юсупов А.Р. 47

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ РСО-АЛАНИЯ
Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Кануков А.С., Габараев А.Ф., Рыжанов О.Н..... 52

ГЕОЛОГИЯ, СЕЙСМИЧНОСТЬ, ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И НЕКОТОРЫЕ ФОРМЫ ИХ ПРОЯВЛЕНИЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ДАГЕСТАНА
Меликов М.М., Гаджиева Т.Р. 59

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИПОЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В РАЙОНЕ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС В ПЕРИОД КИЗИЛЮРТОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1999 г. В ДАГЕСТАНЕ
Идармачев Ш.Г., Даниялов М.Г., Магомедов Х.Д. 67

ИЗМЕНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ПЕРИОД НАПОЛНЕНИЯ ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
Идармачев Ш.Г., Мусаев М.А. 72

РАЗВИТИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА
Мирзалиев М.М. 75

ПРИЧИНЫ ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА КРУГЛОГОДИЧНОГО СЕЙСМОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ФЛЮИДОВ АЗЕРБАЙДЖАНА
Керамова Р.А. 80

ВАРИАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА В ПЕРИОДЫ ЗАПОЛНЕНИЯ И НАЧАЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВЫХ ГЭС СУЛАКСКОГО КАСКАДА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ЭТИ ПЕРИОДЫ
Алиев И.А., Магомедов А.Г., Мусаев М.А. 90

УДК 551.24

ВЛИЯНИЕ ПАЛЕОСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ И ПРОЦЕССЫ РАННЕГО ЛИТОГЕНЕЗА В РАЗНЫХ ПО СОСТАВУ ОТЛОЖЕНИЯХ МЕЗОЗОЯ-КАЙНОЗОЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

Гаврилов Ю.О.
Геологический институт РАН, Москва, yugavrilov@gmail.com

В морских осадочных толщах Северного Кавказа выявлены многочисленные следы палеосейс мических событий (сейсмиты). В литологически различных отложениях – терригенных, карбонатных, кремнистых и смешанных - сейсмиты выражены по-разному. Сейсмическое воздействие на относительно слаболитифицированные отложения осложняло нормальный ход процессов диагенеза, приводило к образованию морфологически сложных тел. Нарушение первоначальной структуры отложений и повышение их проницаемости способствовало миграции продуктов диагенеза и раннего катагенеза в смежные горизонты. В разрезах осадочных толщ, приуроченных к зонам высокой сейсмической активности, суммарная мощность горизонтов сейсмитов может составлять существенную долю от их общей мощности.

PALEOSEISMICITY THE IMPACT OF EVENTS ON THE STRUCTURE OF SEDIMENTARY STRATA AND THE PROCESS OF EARLY LITHOGENESIS IN THE DIFFERENT COMPOSITION OF THE SEDIMENTS OF MESOZOIC-CENOZOIC OF THE NORTH-EASTERN CAUCASUS

Gavrilov Yu. O.
Geological Institute RAS, Moscow, yugavrilov@gmail.com

In the marine sedimentary strata of the North Caucasus revealed numerous traces of paleosols economic events (seismic). In various lithological sediments – terrigenous, calcareous, siliceous and mixed - seismity expressed in different ways. The seismic impact on a relatively sublimirovanny sediments was complicated by the normal processes of diagenesis lead to the formation of morphologically complex telephone a Violation of the original structure of sediments and increase of their permeability contributed to the migration of the products of diagenesis and early catagenesis in adjacent horizons. A breakdown of the sedimentary formations are confined to zones of high seismic activity, the total capacity of the horizons of seismites may be a substantial proportion of their total power.

Проблема выявления признаков палеоземлетрясений активно обсуждается в многочисленных научных публикациях [Гарецкий, 1956; Палеосейсмология, 2011; Шрок, 1950; Ancient Seismites, 2002; и др.]. Следы древних землетрясений («сейсмиты» по [Seilacher, 1969]) встречаются на разных стратиграфических уровнях мезозойско-кайнозойских толщ Северного Кавказа [Вассоевич, Коротков, 1935; Гаврилов, 1982, 2005, 2016, 2017; Герасимов, 1928; Рубинштейн, 1949; Холодов, Гаврилов, 1977 и др.]. Палеосейсмические события по-разному отображаются в толщах морских отложений различного литологического состава – песчано-глинистых, глинистых, глинисто-карбонатных, карбонатных и кремнистых. Наиболее восприимчивы к воздействию и сохранению следов сейсмических ударов отложения зоны диагенеза, т.е. верхнего, мощностью в несколько десятков метров горизонта накапливавшейся в осадочном бассейне толщи. При этом, залегающие непосредственно ниже дна бассейна слаболитифицированные отложения, под воздействием сейсмического воздействия могли в значительной степени терять свои первоначальные седиментационные признаки, деструктурироваться, перемешиваться, образуя горизонты специфического облика (иногда хаотического строения) мощностью от нескольких метров до первых десятков метров. Деструктурированная масса осадков могла перемещаться по склону палеоводоема и либо «исчезать» из разреза, либо, напротив, в понижениях рельефа дна формировать довольно мощные скопления осадочного материала. В более глубоких и более литифицированных частях толщи следы сейсмических ударов фиксировались в виде трещин различной морфологии – закрытых «слепых» либо заполненных иным чем вмещающие породы материалом.

По распространению сейсмитов в разрезах можно судить как о времени сейсмических событий, так и о различиях в проявлении этих событий на площади палеобассейна.

Сейсмиты в терригенных отложениях. Следы палеосейсмических событий наиболее отчетливо фиксируются в песчано-глинистых толщах. Связано это с явлением разжижения песчаных отложений под влиянием сейсмических ударов и образованием водно-песчаной массы, которая активно внедряется в возникшие при этом трещины, полости.

В среднемиоценовом бассейне безусловным центром сейсмической активности был Восточный Кавказ (Дагестан и прилегающие к нему территории Чечни). Здесь весь разрез чокрака-карагана содержит следы разнообразных сейсмодислокаций: горизонты поверхностного перемешивания (рис. 1), нептунические дайки и песчаные силлы, разного рода надвиги, будинирование песчаных горизонтов и др. В относительно литифицированных толщах нептунические дайки формировались вдоль субвертикально ориентированных трещин (рис. 2), по мере же приближения к уровню перемешанных осадков, соответствующих относительно крупному сейсмическому событию (горизонт сейсмического события – ГСС), дайки часто возникали вдоль наклонных трещин.

В поверхностных сейсмогенных горизонтах степень перемешивания осадков различна: встречаются как относительно крупные фрагменты разорванных пластов, так и зоны с высокой степенью дефрагментации первоначальных осадков, вплоть до образования гомогенизированной массы (рис. 1).

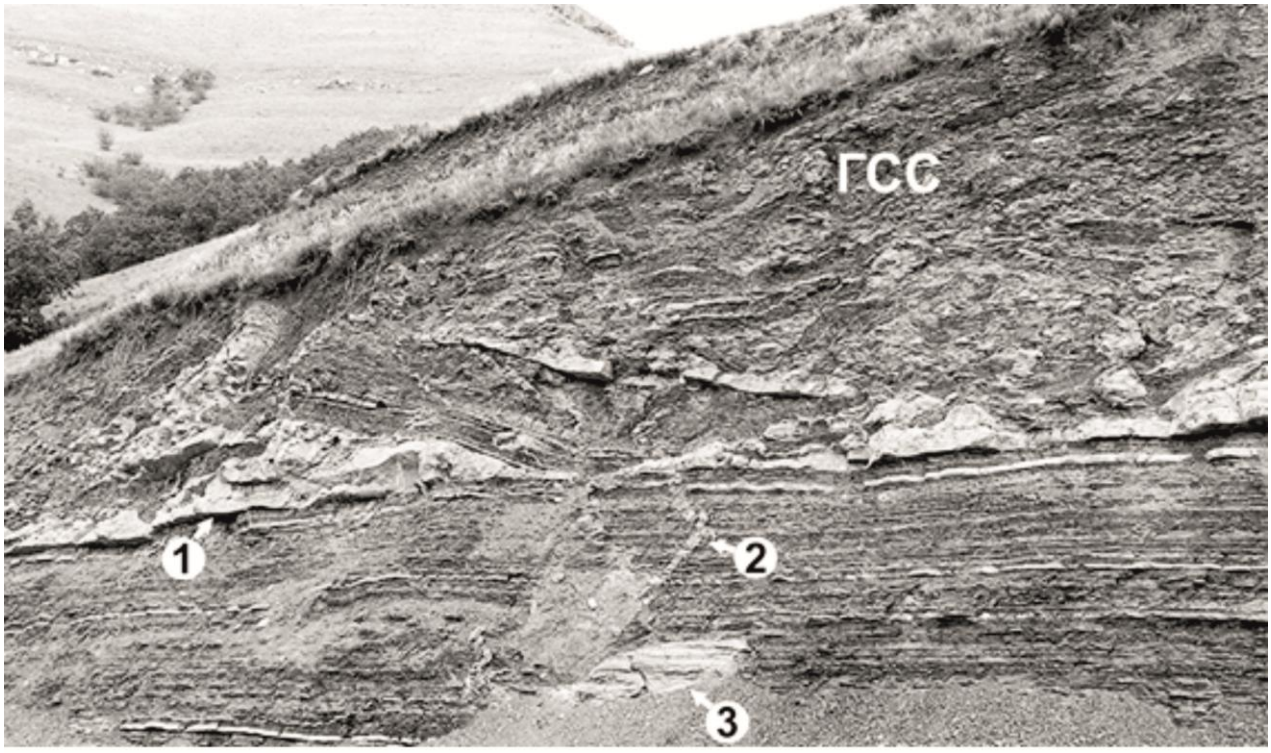


Рис. 1. Деформированные и деструктурированные отложения горизонта сейсмического события (ГСС) и подстилающие его недеформированные отложения.
Цифры на рисунке: 1 – пласт песчаника в основании ГСС, материал которого в результате землетрясения подвергся разжижению и перераспределению; 2 и 3 – нептунические дайки, ориентированные по разному относительно плоскости обнажения (2 – перпендикулярно, 3 – параллельно).

Рис. 2. Нептунические дайки в чокракских отложениях (средний миоцен).
а - субвертикальные дайки в основании чокракской толщи; б - наклонная нептуническая дайка (отмечена стрелкой) в отложениях, подстилающих горизонт сейсмического события (ГСС)

На некоторых уровнях песчаные инъекции в трещины привели к образованию сетчатой структуры отложений (рис. 3).

Следствием сейсмической активности района явилось появление в нижней части чокракской толщи пластин (мощностью до 10-15 м) верхнемайкопских отложений, которые в условиях расчлененного палеорельефа отрывались и соскальзывали с палеоподнятий (рис. 4).

Помимо разреза Буйнакского перевала, аналогичная верхнемайкопская пластина была также отмечена нами в разрезе чокрака в районе р. Сулак. В среднемиоценовой толще нередко встречаются внутриформационные надвиги и следы перемещения песчаных горизонтов по склону палеобассейна, происходившие вследствие сейсмических событий разного масштаба.

При оценке количества сейсмодислокаций в разрезах на площади выяснено, что в западном направлении следов палеосейсмичности становится меньше и они приобретают иной вид. Начиная с западной части Чечни и далее на запад сейсмодислокации «дагестанского типа» не встречаются; нептунические дайки очень редки.

Поскольку сейсмиты наилучшим образом фиксируются в 10-20 метровой толще морских отложений под границей осадок/наддонная вода, т.е. в зоне активных диагенетических процессов, можно ожидать, что оба эти явления должны были бы взаимодействовать.

В разрезах Чечни и Ингушетии встречаются необычные по морфологии карбонатные тела, образование которых связано с сейсмическими событиями. Здесь, нередко в последовательности слоев разного гранулометрического (глина – алевролит - песчаник) и геохимического состава залегают карбонатные стяжения необычной морфологии – эллипсоидальные конкреции с бугорковыми наростами, сросшиеся конкреции, пирамидальные стяжения [Гаврилов, 1982]. Характерной особенностью вмещающих эти образования пород, является присутствие в

них системы субвертикально ориентированных трещинок, которые возникли в результате сейсмических ударов. Некоторые трещинки бывают заполнены песчано-алевритовым материалом из вышележащего песчаного пласта, т.е. образуют небольшие нептунические дайки (рис. 5). Слои разного гранулометрического состава характеризовались различной степенью уплотнения, соответственно давление иловых растворов в глинистых отложениях, в которых формировались конкреции, было больше давления иловых вод в песчаниках. При появлении в результате сейсмического удара трещин, создавались условия для отжимания иловых растворов, содержавших бикарбонаты железа, и их миграции по трещинкам из пластов с высоким давлением в пласты с относительно низким. По мере миграции растворов происходила их дегазация –

Рис. 3. Сетчатая структура инъекционных песчаных тел в углеродистых аргиллитах чокрака (разрез «Буйнакский перевал», Дагестан)

Рис. 4. Пластина верхнемайкопских отложений, залегающая в толще нижнего чокрака.

Между отложениями нижнего чокрака и верхнего майкопа (зурамакентский горизонт) расположен интервал деструктурированной породы (светлая окраска), вдоль которого происходило перемещение майкопской пластины; на врезке – фрагмент линии надвига с чешуйчатой структурой;

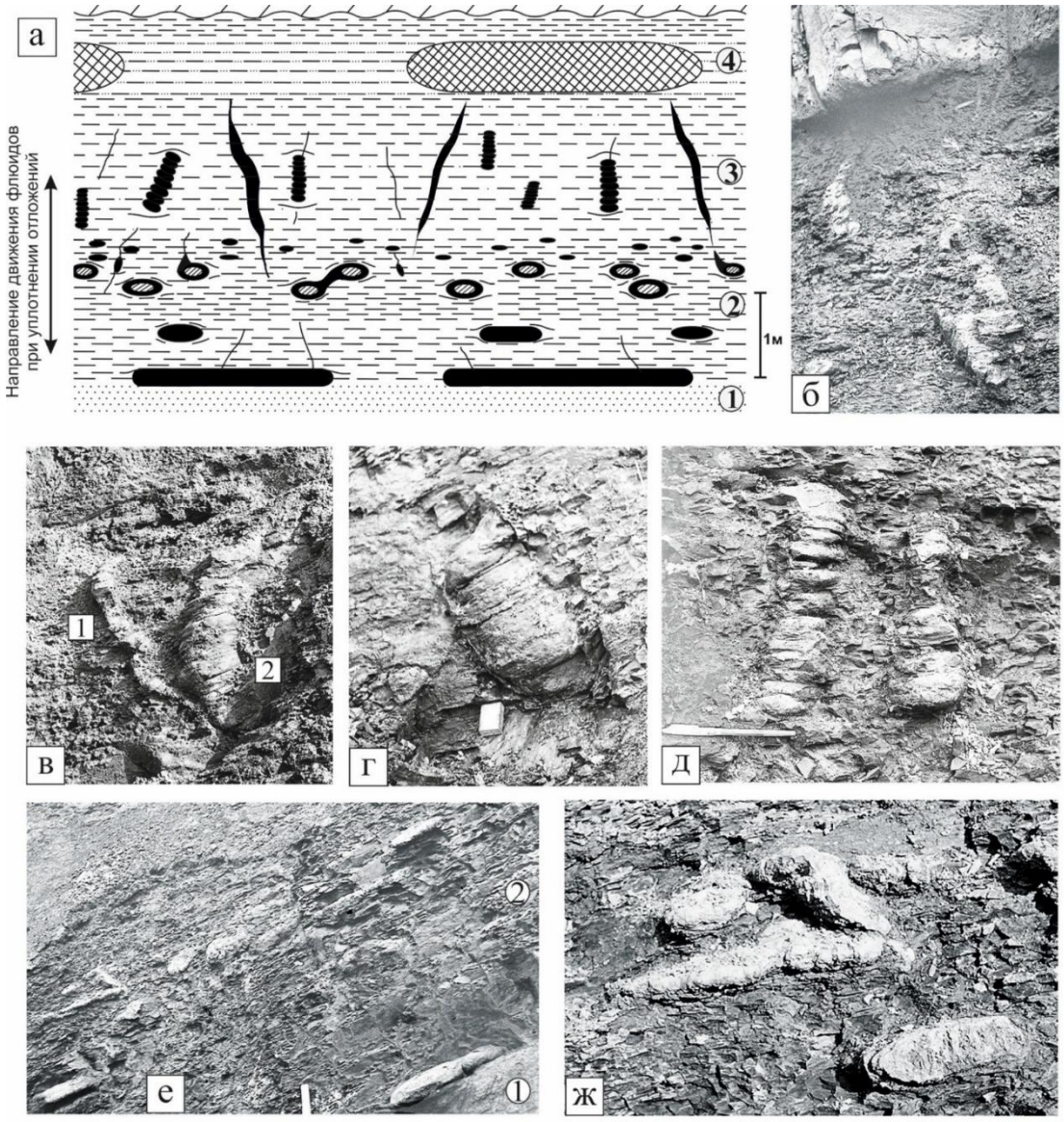


Рис. 5. Карбонатные субвертикальные стяжения и дайки, образованные в результате миграции диагенетических растворов по сейсмогенным трещинам, по [Гаврилов, 1982, 2017].
а – схема обнажения с субвертикальными стяжениями и дайками; цифрами обозначены интервалы отложений разного литологического состава (разрез р. Элистанжи, Чечня):
1 – кварцевые песчаники, 2 – обогащенные органическим веществом глины с прослоями конкреций, 3 – серые алевритистые глины, вмещающие субвертикальные сидеритовые стяжения и дайки, 4 – глинистые мелкозернистые песчаники с крупными доломитовыми линзами; б – субвертикальные карбонатные тела в слое 3, вверху – нижняя часть доломитовой линзы; в – карбонатная дайка (1) и пирамидальное стяжение (2) в слое 3; г, д – пирамидальные сидеритовые стяжения (д – разрез р. Фортанги); е – контакт песчаников (слой 1) и коричневых глин (слой 2); к контакту приурочены крупные сидеритовые линзы; ж – сидеритовые “мостики”, образованные вдоль сейсмогенных трещин и соединяющие конкреции разных слоев.

уход CO_2 – и осаждение железистого карбоната (сидерита). При просачивании иловых растворов по закрытым трещинкам возникали пирамидальные стяжения, при их движении по заполненным песчаным материалом трещинам формировались нептунические песчано-карбонатные дайки (см. рис. 5).

В некоторых случаях вокруг сейсмогенных трещинок наблюдается отчетливое осветление пород, связанное с удалением из них вместе с иловыми растворами части органического вещества (уменьшение Сорг в 5 и более раз) и ассоциирующих с ним некоторых химических элементов.

В более западных районах (Северная Осетия) достоверных признаков интенсивной сейсмической активности нами не отмечено. Отчасти это может быть связано с тем, что в западном направлении происходят литолого-фациальные изменения среднемиоценовых отложений, в которых слабые или средние по интенсивности сейсмические события хуже фиксируются.

Если в толщах переслаивания песчаных и глинистых отложений сейсмические события диагностируются вполне успешно, то в литологически относительно монотонных глинистых толщах гораздо сложнее выявлять признаки сейсмодислокаций Тем не менее, ряд признаков пород позволяет некоторые горизонты относить к сейсмитам. Так, например, в майкопских глинистых толщах выделяются горизонты с ячеистой структурой, с секущими жилками, заполненными гипсом, с обильными выделениями ярозита – которые возникли при нарушении вследствие землетрясений сплошности осадков с восстановительным типом диагенеза и поступлении в них наддонных вод, содержащих кислород. Достаточно высокая сейсмическая активность во время формирования майкопской толщи вела к деструктурированию глинистых пород, повышению пористости и, соответственно, коллекторских свойств отложений [Гаврилов, 2016, 2017].

Сейсмиты в глинисто-карбонатных отложениях. В толщах частого переслаивания глинистых и карбонатных слоев одним из признаков проявления палеосейсмических событий является дробление, деструктурирование карбонатных пластов, приводящее к появлению в них псевдоконкреционной структуры. Поскольку в отложениях в это время продолжались диагенетические процессы, на обломках известняков осаждался карбонат, который залечивал некоторые трещины, придавал обломкам более округлую форму (рис. 6 а, б).

Рис. 6. Сеноманские отложения в разрезе «Аймаки», Известняковый Дагестан.
а - риской выделен интервал сейсмитов в средней части разреза сеномана, стрелками показаны бентонитовые прослои; б - сейсмогенно деструктурированные слои карбонатных пород; в - взброс с пластическими деформациями, отмеченный в толще сейсмитов.

Еще одним следствием палеоземлетрясений было образование в отложениях этого типа слепых взбросо-надвигов с амплитудой смещения, как правило, не более первых метров (рис.6 в). Также, как и в терригенных отложениях здесь возникали межпластовые сдвиги, которые приводили к потере первичной седиментационной слоистости, сглаживанию острых углов у обломков известняковых пластов.

В результате воздействия сейсмических ударов на отложения нарушалась их сплошность, повышалась проницаемость, что создавало благоприятные условия для эвакуации из отложений

жидких и газообразных продуктов диагенеза. Если в этих продуктах содержался метан, то в вышележащих отложениях (в том числе накопившихся позже сейсмического события) могли возникать отрицательные изотопные углеродные аномалии. Такая картина наблюдается разрезах среднего сеномана Дагестана в которых установлен горизонт сейсмитов (до 15 м). В верхней части этого горизонта залегает несколько пластов бентонитов, что свидетельствует о совпадении периода усиления сейсмической активности и эксплозивной вулканической деятельности. Вулканизм в это время был активно развит в Закавказье, откуда и приносился пепловый материал. Полагаем, что можно, видимо, говорить о среднесеноманском эпизоде тектонической активизации, проявившемся на значительной территории Кавказского региона. После периода сейсмической активности и снятия накопившихся напряжений наступил новый этап в развитии сеноманского осадочного бассейна Восточного Кавказа – началось активное прогибание дна водоема, сопровождавшееся трансгрессией и накоплением более глубоководных фаций.

Усиление сейсмической активности было характерно также для среднекелловейского этапа в развитии Восточного Кавказа, когда происходил переход от существовавшего в байос-батское время северокавказского прогиба с терригенным заполнением к позднеюрской карбонатной платформе. Литологически келловейские сейсмиты близки по морфологии к сеноманским (рис. 7).

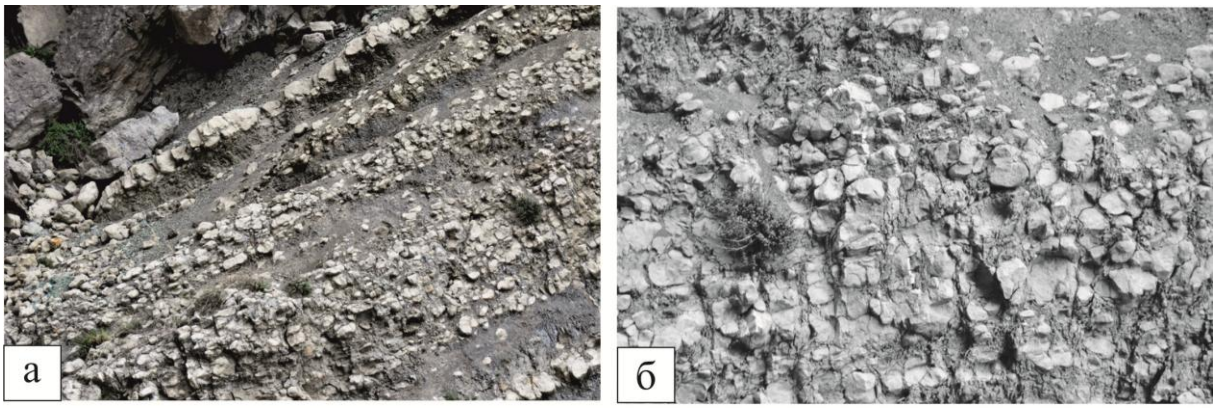


Рис. 7. Сейсмиты в среднекелловейских отложениях в разрезе «Цудахар»
а - общий вид верхней части разреза; б - раздробленные карбонатные прослои в глинисто-карбонатных вмещающих отложениях

Еще одной формой нарушения первоначальной структуры карбонатных толщ являются оползневые горизонты, весьма многочисленные в маастрихтских-датских карбонатных толщах Восточного Кавказа. Их мощность варьирует от первых до 10-15 м. В принципе оползание осадков на склоне водоема может вызываться различными причинами, однако многочисленность и периодичность появления оползневых горизонтов в маастрихт-датских толщах свидетельствует в пользу их сейсмогенной природы. В это время (в конце мела – начале палеогена) происходил активный рост крупных конседиментационных складок, сопровождавшийся землетрясениями, что способствовало в условиях расчлененного подводного рельефа срыву осадочных масс с крыльев этих складок и их перемещению в пониженные участки дна бассейна.

Следует отметить важное обстоятельство, способствовавшее развитию подводнооползневых процессов. Многие слои карбонатных осадков маастрихт-датского палеоводоема содержали значительную примесь биогенного кремнезема – раковинки диатомей, радиолярий, которые в диагенезе растворялись, образуя кремневый гель. Последний со временем старел, раскристаллизовывался. Однако механическое, и в частности, сейсмическое воздействие на содержащие кремнезем осадки приводило к проявлению тиксотропных свойств кремневого геля, его разжижению. Соответственно, слои с потерявшим вязкость разжиженным кремневым гелем представляли собой уровень, вдоль которого легко развивался горизонт срыва и перемещения по нему осадочных масс.

Сейсмические удары могут оказывать существенное влияние на процессы диагенетического минералообразования (кремнезем, сульфиды и др.), которые проходят в своем развитии гелевую стадию. Сейсмогенное воздействие на гель и его разжижение могли способствовать его латеральной или вертикальной миграции в толще и осаждение, концентрацию в отложениях, отличных от осадков, первоначально его содержавших. Следы такой миграции нередко встречаются в карбонатных осадочных комплексах Известнякового Дагестана. Соответственно, этот фактор необходимо учитывать при проведении литолого-геохимических реконструкций в отложениях подвижных поясов.

Отметим, что нами неоднократно устанавливались признаки активизации сейсмичности (пластические деформации слоев, нептунические дайки и др.) в переходных слоях между различными по литологическому наполнению свитами, т.е. землетрясения в ряде случаев сопровождали смену тектонического и седиментационного режима палеобассейна.

Выводы:

- Сейсмиты – комплексы отложений, подвергшихся воздействию палеосейсмических ударов, широко распространены в мезозойско-кайнозойских толщах Северного Кавказа;
- характер сейсмитов, фиксируемых в толщах разного литологического состава (терригенных, карбонатных, смешанных терригенно-карбонатных, кремнистых), может существенно различаться;
- анализ распространения сейсмитов в разрезах показывает, что они неравномерно распределены как на разных стратиграфических уровнях, так и на площади распространения одновозрастных отложений;
- различия в мощности сейсмитов могут, видимо, свидетельствовать о существенно разной интенсивности сейсмических ударов, обусловивших их образование;
- в разрезах сейсмиты часто бывают приурочены к пограничным интервалам отложений, соответствующих изменениям в режиме седиментации и тектонического развития осадочных бассейнов.
- суммарная мощность горизонтов сейсмитов может составлять существенную долю от общей мощности толщ, накопившихся в периоды сейсмотектонической активизации различных регионов в пределах подвижных поясов.

Работа выполнена в рамках темы 0135-2016-0004 госзадания Геологического института РАН и при частичной поддержке РФФИ, грант № 15-05-07556.

Литература

1. Вассоевич Н.Б., Коротков С.Т. К познанию явлений крупных подводных оползней в олигоценовую эпоху на Северном Кавказе. М.- Л., ОНТИ НКТП, 1935. 46 с. (Тр. НГРИ. Сер. А. Вып. 52).
2. Гаврилов Ю.О. Диагенетические преобразования в глинистых отложениях (средний миоцен Восточного Предкавказья). М.: Наука, 1982. 100 с.
3. Гаврилов Ю.О. Динамика формирования юрского терригенного комплекса Большого Кавказа: седиментология, геохимия, постдиагенетические преобразования. М.: ГЕОС, 2005. 301 с.
4. Гаврилов Ю.О. Литологические признаки древних землетрясений в кайнозойских углеродистых отложениях северо-восточного Кавказа //Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2016. Т. 11. №2.
5. Гаврилов Ю.О. Отражение сейсмических палеособытий в мезозойско-кайнозойских терригенных толщах Северного Кавказа //Литология и полезные ископаемые. 2017. № 1. С. 1-21.
6. Гарецкий Р.Г. Кластические дайки //Известия АН СССР. 1956. № 3. С. 81-102.
7. Герасимов А. П. Жилы выполнения в юрских сланцах бассейна р. Ассы (Северный Кавказ). Изв. Геолкома, № 5-6, т. 37, 1928.
8. Рубинштейн М. М. Некоторые данные о так называемых нептунических дайках. Сообщ. АН Груз. ССР, № 8, т. 10, 1949.
9. Холодов В.Н., Гаврилов Ю.О. Кластические дайки в миоценовых отложениях Восточного Предкавказья //Доклады АН СССР. 1977. Т.237. № 6. С. 1463-1466.
10. Палеосейсмология /Под ред. Д. Мак-Калпина. М.: Научный мир, 2011. Т. 2. 387 с.
11. Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород. М.: Изд-во иностранной литературы, 1950. 564 с.
12. Ancient Seismites /Eds F.R. Ettensohn, N. Rast, C.E. Brett //Geological Society of America Spec. Papers. 2002. Vol. 359. 190 p.
13. Seilacher A. Fault-graded beds interpreted as seismites. Sedimentology. 1969. V. 13. N 1-2. P.155-159.

УДК 551.24

ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И СОВРЕМЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

Магомедов Р.А.
Институт геологии ДНЦ РАН

Проведен анализ разломно-блоковой тектоники, развития геодинамических процессов и современной сейсмичности, а также результатов собственных исследований с целью представления современной картины геодинамической ситуации и сейсмотектонических условий Восточного Кавказа. Составлены: 1. Новая схема разломно-блоковой тектоники; 2. Обобщенная схема тектонического районирования с элементами разломно-блоковой тектоники в масштабе 1:500 000; 3. Завершена ранее разработанная схема развития Восточного Кавказа в альпийском цикле тектогенеза. По результатам исследований выполнено прогнозирование зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ).

Ключевые слова: разломно-блоковая тектоника, геодинамика, современная сейсмичность, эпицентр землетрясения, магнитуда, зона ВОЗ.

GEOLOGICAL-TECTONIC CONDITIONS, GEODYNAMIC POSITION AND MODERN SEISMICITY OF THE EASTERN CAUCASUS

Magomedov R.A.
Institute of Geology Dagestan scientific center of RAS

The analysis of the fault-block tectonics, development of geodynamic processes and modern seismicity, as well as the results of our research to present the modern picture of the geodynamics and seismotectonic conditions of the Eastern Caucasus. Compiled from: 1. A new scheme of fault-block tectonics; 2. General scheme of tectonic zoning with elements of fault-block tectonics on the scale of 1:500 000; 3. Completed on previously developed scheme of development of the Eastern Caucasus in the Alpine cycle of tectogenesis. The results of studies performed forecasting of zones of possible earthquakes (PFE).

Keywords: fault-block tectonics, geodynamics, modern seismicity, epicenter of earthquake, magnitude, zone of PFE.

В настоящем сообщении - результат очередного этапа исследований столь сложного и интересного, с геологической точки зрения, объекта как Восточный Кавказ. Глубинное строение докембрийского фундамента Восточного Кавказа под осадочным мезо-кайнозойским чехлом пока еще остается слабоизученным. По данным глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) [13] Восточный Кавказ и Предкавказье характеризуется следующими особенностями строения земной коры. Мощность земной коры для Восточного Кавказа оценивается в среднем в 45-55 км, а для Восточного Предкавказья она составляет 20-30 км. Мощность осадочного чехла, залегающего на платформенном герцинском основании, колеблется от 2 до 10 км. Вследствие погружения платформенного склона Восточного Предкавказья к югу и к востоку, мощность осадочного чехла увеличивается соответственно от 4 до 5-6 км в сторону Терско-Каспийского передового прогиба и до 8 км в районе Каспия. Осадочный чехол этой части региона сложен слабо дислоцированными осадками пермо-триасового, мезозойского, третичного и четвертичного возрастов.

Через Восточный Кавказ, к сожалению, профили ГСЗ не проводились, за исключением Нахичевань-Волгоград, который лишь частично захватывает эту геоструктуру. Достоверно известно лишь то, что мощность гранитного слоя максимальна под орогеном (до 30 км) - так называемые корни гор. В то же время в смежных прогибах гранитный слой резко сокращен (до 10 км.), соответственно верхняя кромка поверхности Мохо приближается к дневной поверхности по типу мантийных диапиров. Осадочный чехол Восточного Кавказа сложен мощной толщей пород от нижнеюрского до антропогенового возрастов включительно [3, 21 и др.] (рис. 1).

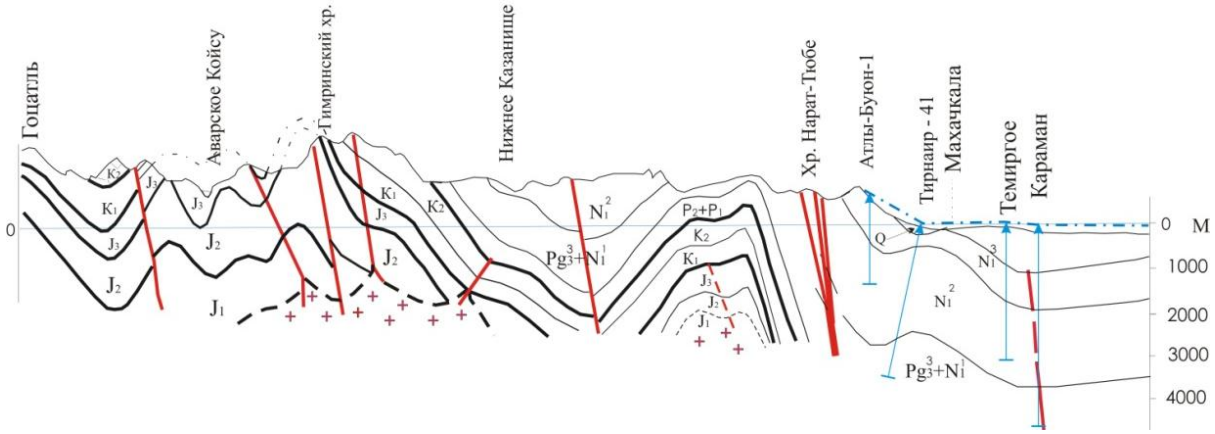


Рис. 1. Геологический разрез через Дагестанский сегмент Восточного Кавказа
(по М.К. Курбанову, Д.А. Дибирову, с дополнениями Р.А. Магомедова)

Степень обнажённости этих пород увеличивается от периферии к центральным частям региона. Осадконакопление, орогенез, эрозия, денудация и абразия определили геологическое строение Восточного Кавказа и стратиграфическое положение залегающих здесь пород. Как правило, более древние породы выходят на дневную поверхность гипсометрически выше более молодых.

Восточный Кавказ представляет собой горно-складчатое сооружение, который не претерпел полной инверсии, как это имело место на Западном Кавказе. На границе доггера и мальма (Адыгейская фаза складчатости) произошла инверсия геотектонического режима в пределах геосинклинальных зон Большого Кавказа, в том числе и Восточного Кавказа. Восточный Кавказ не претерпел полной инверсии, как это имело место на Западном Кавказе.

Нами проведен анализ исследований по истории геологического развития Восточного Кавказа, в результате которого разработана [16] и завершена схема его развития в альпийском цикле тектогенеза (рис. 2). Здесь представлена почти вся история геотектонического развития региона. Общее сводовое поднятие Восточного Кавказа началось в Пиренейской фазе складчатости, а дальнейший подъем, судя по возрасту отложений верхней молассы, имел место в верхнем сармате. На большей части территории, в течение апшерона и акчагыла, морской бассейн вновь восстанавливается. В четвертичное время возобновилось поднятие и троекратный сход панцирного оледенения. Однако этот этап инверсии ограничился только формированием системы речных долин и коробчатой складчатости. Доинверсионная геоструктура не претерпела существенных изменений.

Современная тектоническая ситуация на Восточном Кавказе - результат взаимодействия на конвергентной границе континентальных литосферных плит сопровождающихся расслаиванием и сложной деформацией в верхней части литосферы и дальнейшего эволюционного развития региона в крупных фазах складчатости: Предолигоценовой (*Пиренейской*), Предакчагыльской (*Ронская, Кобристанской*) и Предплейстоценовой (*Восточно-Кавказской*).

Образование современной складчатости Восточного Кавказа произошло в Предплейстоценовой фазе складчатости, в период значительного максимума альпийской активизации, с которым связана и повышенная современная сейсмическая активность региона. Современная очаговая зона землетрясений приурочена к зоне сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном по Чиркей-Экибулакскому глубинному разлому. Глубинные разломы выделяются по геофизическим и геологическим данным как крупные нарушения фундамента с дизъюнктивно-пликативными осложнениями, фациальной изменчивостью осадков в чехле. Основным исходным материалом, послужившим для выявления и прослеживания нарушений и шовных зон в фундаменте, определяющих мозаику блокового строения Восточного Кавказа, явились гравиметрические данные аномального поля в комплексе с результатами дешифрирования космоснимков различного уровня генерализации. А признаками, определяющими эти тектонические структуры, явились граничные линейные структуры аномального поля, выражающиеся грави-

тационными ступенями, пережимами и изломами изолиний, цепочками ориентированных локальных аномалий и смещениями в рисунке аномалий гравитационного поля.

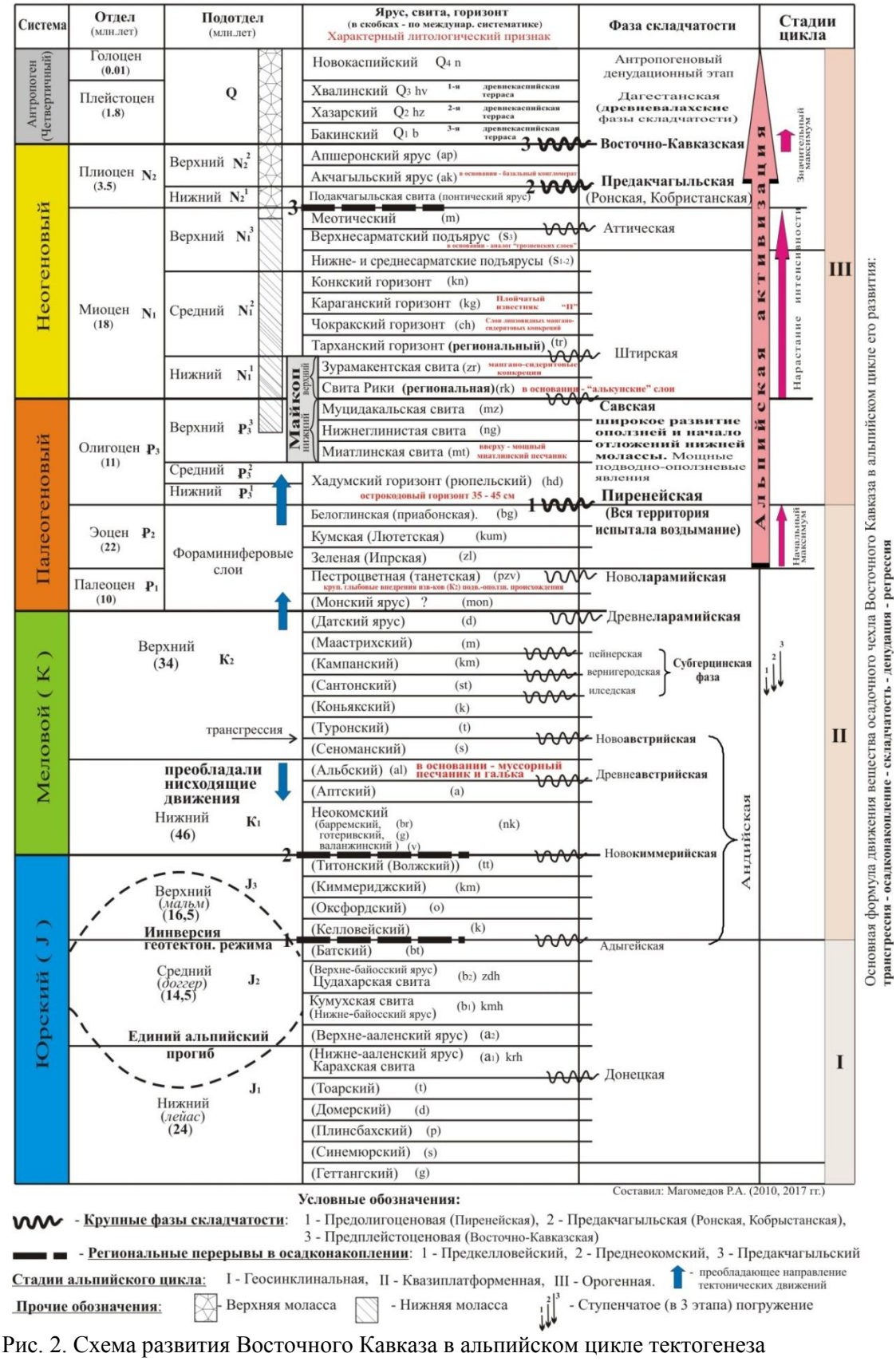
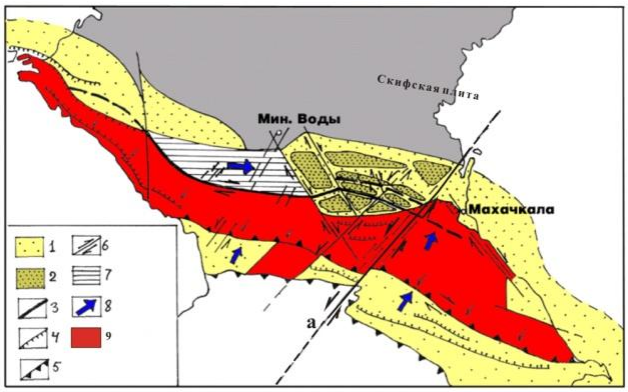


Рис. 2. Схема развития Восточного Кавказа в альпийском цикле тектогенеза

Анализ материала показывает, что блоки докембрийского фундамента отделены друг от друга рифтогенноподобными мобильными шовными зонами и, проявляются в верхних струк-

турных этажах зонами повышенных деформаций. В рельефе поверхности Мохоровичича (рис. 3) отчетливо выделяется *Пшекиш-Тырныаузская шовная зона,* пересекающаяся поперечной *Аграхано-Тбилисско-Левантийской левосдвиговой зоной* I порядка Н.В. Короновского [12], которая является новейшим структурным элементом Кавказа и западной границей Дагестанского выступа.



1. Неоген-четвертичные Предкавказские прогибы и Закавказские межгорные впадины;
2. Наиболее прогнутые участки Терско-Каспийского прогиба;
3. Пшекиш-Тырныаузская зона; 4. Перемещение по надвигам и вергентность складок;
5. Надвиги рудного тела;
6. Сдвиги: ***а*** - Аграхано-Тбилисско-Левантийская левосдвиговоая зона I порядка;
7. Лабино-Малкинская моноклиналь; 8. Основные перемещения масс;
9. Горно-складчатое сооружение Большого Кавказа.

Рис. 3. Блочное строение докембрийского фундамента (по Н.В. Короновскому)

Наибольшая геодинамическая активность наблюдается в районе пересечения этой зоны с Черногорским, Пшекиш-Тырныаузским и Срединным разломами во фронтальной части Дагестанского выступа, подтвержденная долговременной сейсмической активностью. К этой зоне пересечений можно отнести семибалльные Бежтинское землетрясение 4.08.1974 г., М = 5.2 и Тлохское землетрясение 15.02.1992 г., К = 12.5. Срединный (*Терский, Махачкалинский*) и Пшекиш-Тырныаузский разломы, выделенные Г.Д. Ажгиреем и Е.Е. Милановским [20] являются крупнейшими разломами Восточного Кавказа.

Пшекиш-Тырныаузский разлом является одним из наиболее хорошо изученных разломов. Он прослеживается на 300 км и представляет собой зону узких пластин с преимущественным падением под складчатое сооружение. Ограничивающие их разрывы сближаются на глубине в единой вертикальный разлом. В пределах Дагестана Пшекиш-Тырныаузский разлом рассекает фронтальную часть Дагестанского выступа. Здесь, в районе Экибулака в нем преобладают раздвиговые движения с образованием миндалевидной структуры. Средняя его ветвь представлена Нараттюбинской зоной разрывов, переходящих на западе в Гилянский надвиг, а южная – в Кизил-Булакскую зону разрывов. Этот разлом является самым сейсмоактивным. С миндалевидной структурой связан очаг Дагестанского землетрясения 1970 г. (М = 6.6, Н = 13 км, J_0 = 9 б).

Терский глубинный разлом северо-западной ориентировки в чехле представлен пликативно-дизъюнктивной зоной с Гудермесской антиклиналью на западе и флексурой на востоке (Нараттюбинская ступень). В гравитационном поле он выражен линейно-вытянутой структурой (рис. 4) и ступенью в 20-30 мГл, относимых к фундаменту. Разлом сейсмичен, трассируется многоярусными нефтегазовыми месторождениями, термальными и минеральными источниками, зачаточным грязевым вулканизмом.

По данным сейсмических и гравиметрических исследований, в свою очередь, подтвержденных на многих площадях поисковым бурением, вдоль внешнего обрамления Дагестанского выступа под моноклинально залегающими миоценовыми слоями Нараттюбинской зоны меловые отложения дислоцированы в узкие линейно-вытянутые антиклинальные по форме блоки, ступенчато погружающиеся к осевой части Терско-Каспийского прогиба.

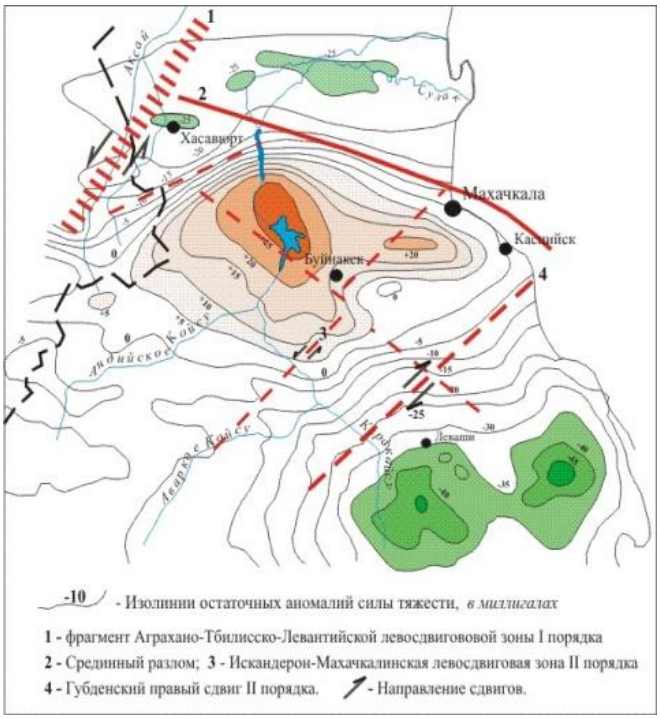
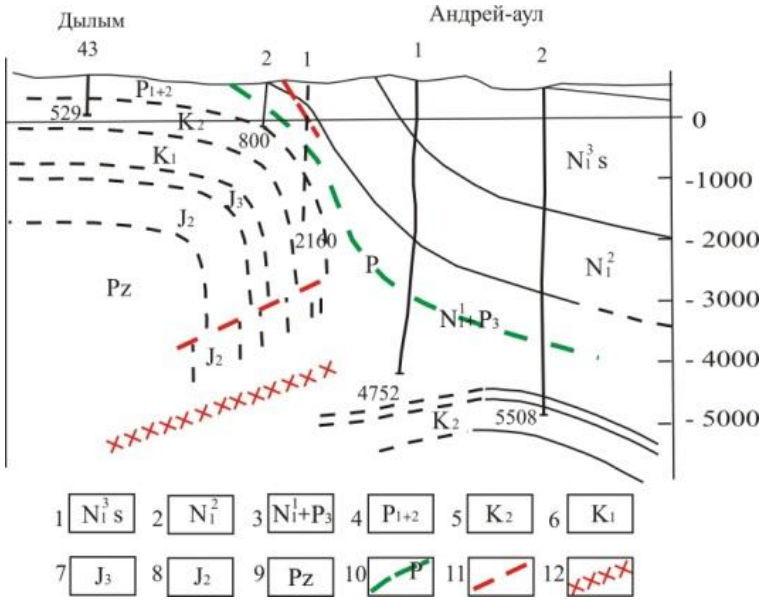


Рис. 4. Карта остаточных аномалий силы тяжести
(по Г.В. Литовко, А.Г. Шемпелеву, Л.А. Ломовой, с дополнениями Р.А. Магомедова)

В головной части Нараттюбинской зоны северный склон Сулакского выступа изучен бурением. Под крутозалегающей толщей миоценовых слоев верхнемеловые отложения нарушены погребенными разрывами и образуют систему ступенчато погружающихся на север блоков. Разрывные нарушения фиксируются перемятием пород и крутыми залеганиями слоев (до 80-90^0) (рис. 5).

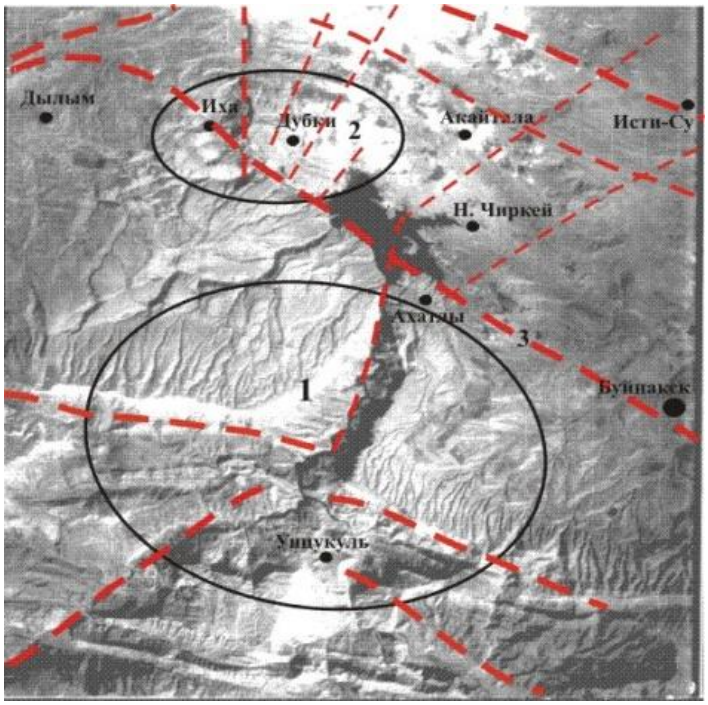


1 – сарматский ярус; 2 – средний миоцен; 3 - майкопская серия; 4 – фораминиферовая серия; 5 - верхний мел; 6 - нижний мел; 7 - верхняя юра; 8 - средняя юра; 9 - палеозой; 10 - реперный пласт в кровле миатлинского горизонта; 11 – разломы; 12 - зона главного надвига.

Рис. 5. Геологический профиль «Дылым-Андрей-аул» (Буторин, Галин, 1972 г., по материалам бурения)

Разрывная тектоника во многом предопределила и геоморфологические условия области. Больше-амплитудные сейсмотектонические сдвиги (срывы) образовались на участках рек,

где русло характеризуется резким (до 90°) поворотом, строго подчиняясь простиранию разрывных нарушений (зона интенсивного новейшего вреза долины р. Сулак) (рис. 6).



1 – Сулакский шток; 2 – Хадумский купол; 3 – дешифрированные зоны разломов.
Рис. 6. Космический снимок Сулакского выступа

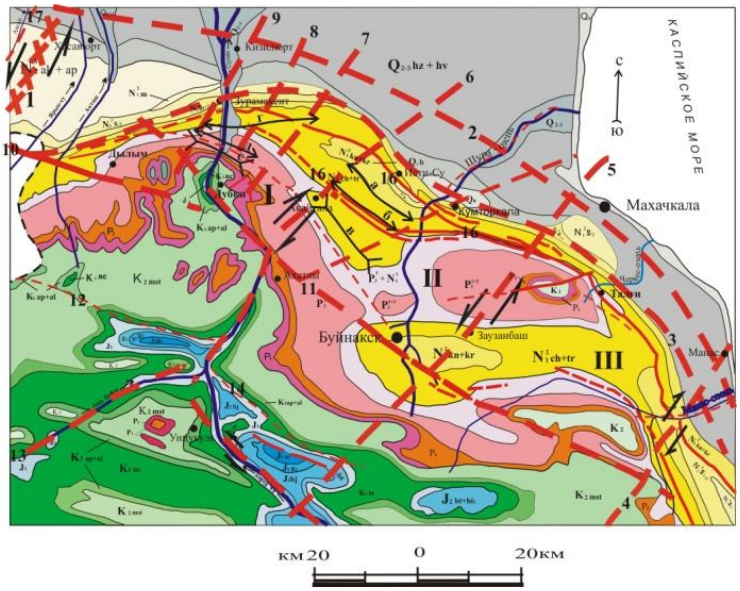
Сравнение высотного положения террас в продольном профиле долины Сулака указывает на интенсивное новейшее поднятие Салатауской моноклинали и Хадумского купола. Крупнейшими неотектоническими структурами района являются Хадумский и Кукуртауский (Талгинский) своды, дешифрированные как кольцевые структуры [4]. Эльдама-Иргартбашский выступ также имеет кольцевой облик. Образование структур Бунин Г.Г. связывает с активизацией новейших тектонических движений. Наиболее сейсмоактивной является область, контролируемая двумя кольцевыми структурами. Дешифрирование космоснимка подтверждает и наше предположение [17] о наличии активной глубинной структуры (*Сулакского штока*), в куполе которого и в настоящее время активно врезаются долины Аварское и Андийское Койсу и река Сулак, отделяя друг от друга Гимринский и Салатауский хребты. Сулакский шток приурочен к высокомобильной зоне тектоносферы и является одним из косвенных индикаторов активных глубинных деформаций земной коры.

Составленная нами по результатам анализа фондового материала схема дизъюнктивно-пликативной тектоники (рис. 7), позволила установить блоковое строение северо-восточного сегмента Восточного Кавказа, которая хорошо согласуется с сейсмологическими, геолого-геофизическими и геодезическими данными и объясняет отмеченные ранее, особенности геодинамического режима и современной сейсмичности изучаемой территории. В основу схемы положен фрагмент изданной геологической карты горной части Дагестанской АССР 1:200 000, составленная Голубятниковым.

Как известно, в сейсмическом режиме любого региона дизъюнктивные нарушения в фундаменте и осадочном чехле играют одну из определяющих ролей, источником энергии которых являются внутриземные процессы протекающиеся в постоянно меняющемся гравитационном поле Земли в результате своего движения в космическом пространстве (ротационно-пульсационный режим и т.д.).

Результатом продолжения исследований по Восточному Кавказу явились составленные нами две схемы: новая обобщенная схема разломно-блоковой тектоники и обобщенная схема

тектонического районирования Дагестанского сектора Восточного Кавказа с элементами разломно-блоковой тектоники, в масштабах 1:500 000.



Зоны разрывных нарушений и глубинных разломов: 1 – фрагмент Аграхано-Тбилисско-Левантийской левосдвиговой зоны I порядка; 2 – Терский глубинный (Срединный, Махачкалинский); 3 – Пшекиш-Тырныаузская шовная зона; 4 – Губденский; 5 – Искандерон-Махачкалинская левосдвиговая зона II порядка; 6 – Чиркей-Экибулакский; 7 – Какаюртовский; 8 – Пираузский; 9 – Зурамакентский; 10 – фрагмент Черногорского разлома; 11 – продолжение Черногорского разлома (зона повышенной трещиноватости в виде линеамента протягивается от пос. Иха до г. Буйнакска и далее на юго-восток, где подтверждается закартированным разрывом); 12 – Салатауский; 13 – Андийско-Сулакский; 14 – Гимринский; 15 – Ахатлы-Кумторкалинский; 16 – Нарат-Тюбинская зона разломов (в осадочном чехле), 17 - Аксайский.

Оси антиклиналей и синклиналей: а – Экибулакская; б – Кизил-Булакская; в – Тепсели-тауская; г – Шамхал-Булакская; д, з – Миатлинские.

Тектонические элементы: I – Сулакский выступ; II – Капчугайский грабень; III – Эльдамо-Кукуртауский выступ (Талгинский).

Рис. 7. Схема дизъюнктивно-пликативной тектоники Дагестанского выступа

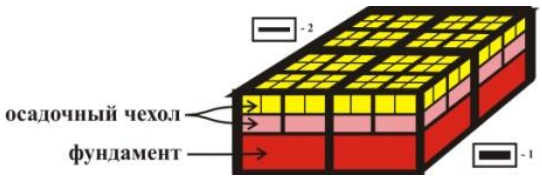
Разрывные нарушения в фундаменте и осадочном чехле региона, по данным сейсморазведки, настолько многочисленны, а изучены за редким исключением так слабо, что задача приведения в систему представлений о разломно-блоковой тектонике приобретает принципиальное значение.

Разломообразование в литосфере – геологический процесс, продолжающийся с архея (образования твердой коры) до настоящего времени. Длительное напряженное состояние верхней хрупкой части литосферы приводит к ее деформации и разломообразованию. Сочетание разноранговых разрывов образует разломно-блоковые структуры литосферы и ее деструктивные зоны, развитие которых происходит эволюционно от мелких к крупным. Анализ разномасштабных геологических, тектонических и структурно-тектонических карт дают представление о широком развития разноранговых разрывов и разломов практически в любом участке земной поверхности. Тектоническая активизация, как геологический процесс, существенно влияет на густоту сетки разломов. А сейсмические события, контролируемые разломами, несут самую достоверную информацию об их активизации. Активизация разломов на современном этапе геодинамического развития литосферы определяется движениями ограничивающих их блоков, зависящими от трех главных из многих не менее важных энергетических источников и прочностных характеристик: а) подлитосферных движений в верхней мантии и астеносфере; б) реологических свойств межблоковой геологической среды; в) энергии триггерных механизмов, способствующих возбуждению метастабильного состояния разломно-блоковой среды литосферы в конкретных случаях (гравитационные возмущения, деформационные волны, лунно-солнечные влияния и прочие космические факторы). При составлении обеих схем учтены: крупномасштабные геологические, текто-

нические, геолого-структурные карты И.О. Брода, Л.А. Варданянца, В.П. Ренгартена, Н.Н. Ростовцева, Ю.Г. Леонова и других, а также мелкомасштабные карты А.И. Летавина, В.Л. Галина, Д.Г. Шарафутдинова, Г.Д. Буторина, Г.Г. Гасангусейнова, Д.А. Мирзоева, В.М. Пирбудагова и многих других, детальный анализ накопленных геолого-геофизических материалов производственных предприятий «Дагнефть», Дагнефтегаз, «Дагестангеология», ИГ ДНЦ РАН и др.

В разное время разными авторами были составлены структурно-тектонические схемы региона, его отдельных частей, отражающие отдельные вопросы региональной геотектоники или узкоспециальные вопросы промысловой геологии [5,14,28,29 и др.]. Но единой картины разломно-блокового строения Дагестанского сектора Восточного Кавказа на современном этапе его изученности до сих пор нет, как нет и общей картины тектонического районирования региона с элементами разломно-блоковой тектоники. Видимо, отсутствие или недостаток геофизической информации о глубинном строении и строении осадочного чехла не позволили авторам различных схем региона предложить законченные его модели. Многие узловые вопросы геотектоники региона до сих пор являются дискуссионными. С учетом вышеизложенного в работе сделана попытка собрать разрозненную геолого-геофизическую информацию в единую схему разломно-блоковой тектоники и обобщенную схему тектонического районирования региона. Нам пришлось стать на путь создания новых схем (учитывающих во многом идеи наших предшественников), схем по возможности наиболее наглядных и простых, а кроме того - приспособленных для целей наших исследований в рамках утвержденной научно-исследовательской темы Института.

Блоковая делимость литосферы согласно С.И. Шерману [30] происходит на двух масштабно-временных уровнях**.** Первоначально в литосфере формируются крупные блоки первого и, возможно, второго рангов, определяющие первый масштабно-временной уровень крупных блоковых структур литосферы (рис. 8).



1 - границы разломно-блоковых структур и деструктивные зоны первого масштабно-временного уровня.
2 - границы разломно-блоковых структур и деструктивные зоны второго масштабно-временного уровня.

Рис. 8. Блоковая делимость литосферы на двух масштабно-временных уровнях [по 30, с дополнениями]

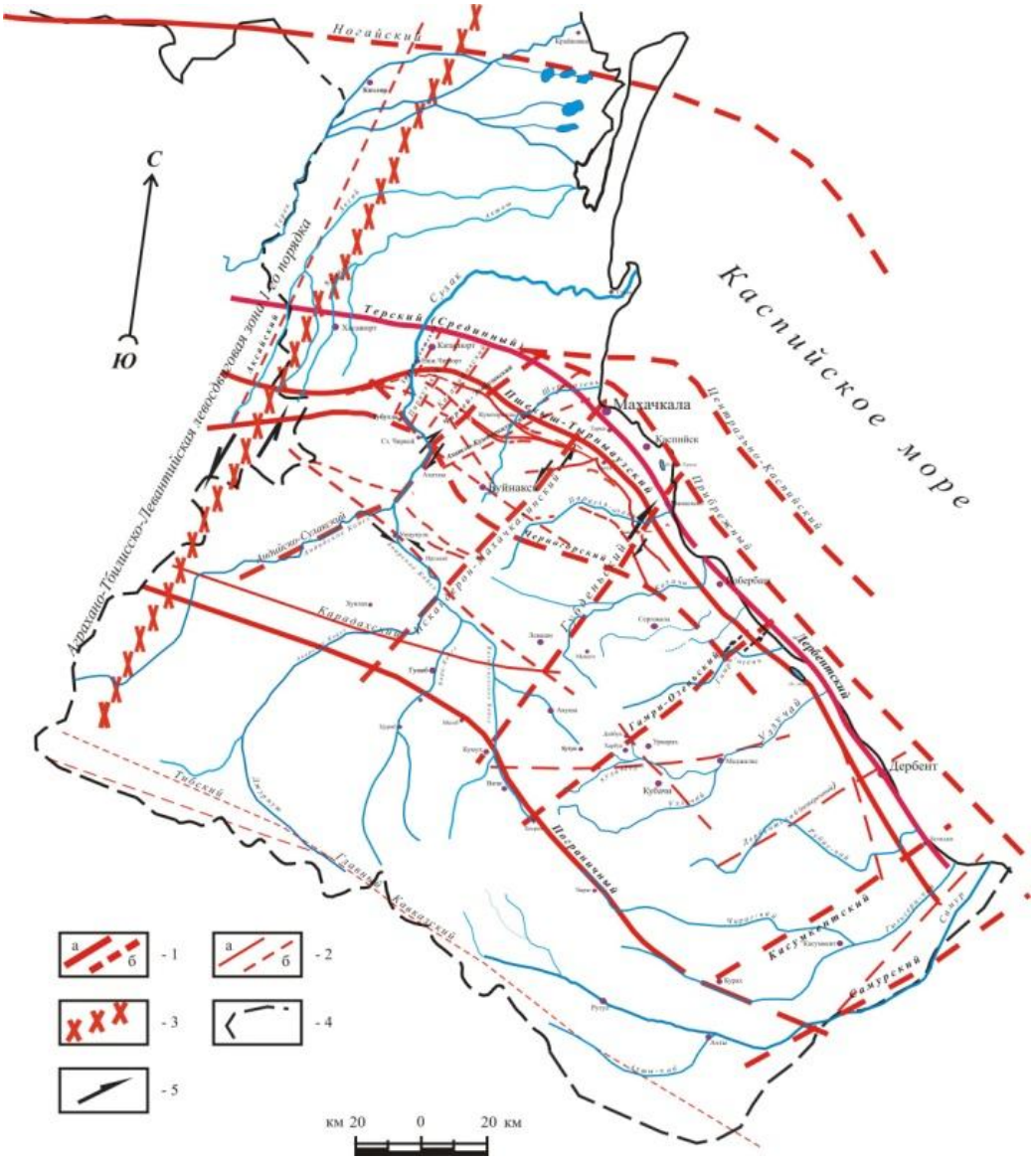
Разломы первого масштабно-временного уровня играют главную роль в контролировании крупнейших наиболее сильных землетрясений мира. Разломы второго уровня образуют ориентированную и организованную в литосфере разломно-блоковую структуру.

В исследовании использовался метод структурного анализа, основанный на изучении геологических карт и геологических разрезов. Основные принципы построения схемы заключались в объединении разломно-блоковых структур литосферы и ее деструктивных зон (разрывных нарушений) на двух масштабно-временных уровнях с учетом их возраста и структурно-исторических особенностей (рис. 9).

Выделенные на схеме тектонические элементы с трассирующими главными субкавказскими глубинными разломами, секущимися вкрест их простирания, поперечными разломами являются основными элементами, формирующими современный субкавказский облик структурно-тектонического плана осадочного чехла рассматриваемой территории и обуславливает ее высокую современную сейсмичность.

Новая обобщенная схема отражает почти все известные крупные дизъюнктивные нарушения и блоки фундамента и осадочного чехла Дагестанского сектора Восточного Кавказа на современном этапе его изученности и служит необходимым основанием для изучения процессов взаимодействия блоков, локализации источников напряжений, исследования движений по

границам блоков, для выявления потенциальных сейсмических очагов, долгосрочный прогноз их очередной активизации и адекватной оценки сейсмической опасности и сейсмического риска в этом густонаселенном и промышленно развитом регионе страны.

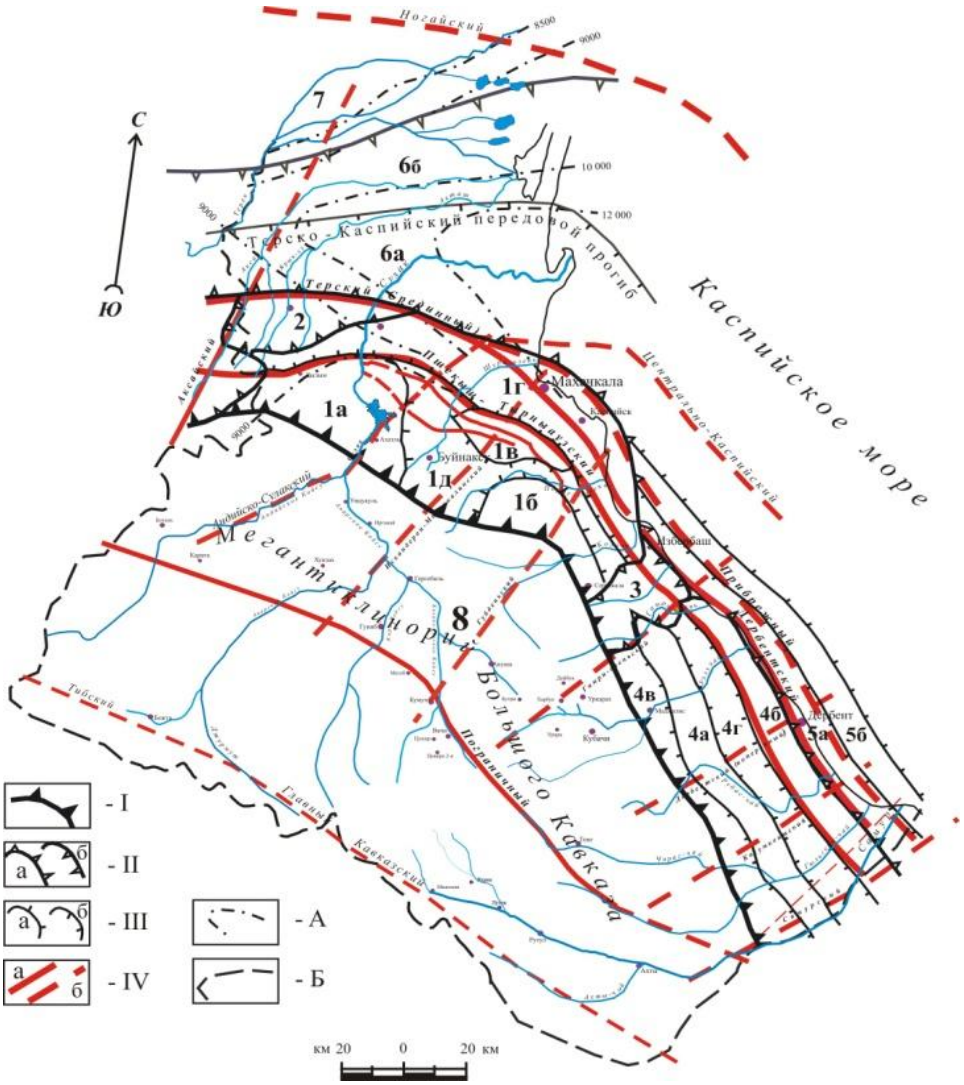


1 - границы разломно-блоковых структур и деструктивные зоны первого масштабно-временного уровня – **доюрского фундамента** (а – достоверные, б – предполагаемые). 2 - границы разломно-блоковых структур и деструктивные зоны второго масштабно-временного уровня – **осадочного чехла** (а – достоверные, б – предполагаемые). 3 - Аграхано-Тбилисско-Левантийская левосдвиговая зона первого порядка. 4 – граница республики. 5 – направление движения блоков.

Рис. 9. Схема разломно-блокового строения Дагестанского сектора Восточного Кавказа.

Обобщенная схема тектонического районирования Дагестанского сектора Восточного Кавказа с элементами разломно-блоковой тектоники в масштабе 1:500 000. Основные принципы тектонического районирования заключались в объединении геотектонических элементов по структурно-вещественным признакам с учетом возраста складчатости, структурно-исторических особенностей и глубины залегания кристаллического фундамента. Обобщенная схема тектонического районирования с элементами разломно-блоковой тектоники (рис. 10) масштаба 1:500 000, на котором отражены почти все основные известные геологические структуры и тектонические элементы, является одним из возможных вариантов модели тектониче-

ского развития Дагестанского сектора Восточного Кавказа на современном этапе его изученности.



I – Крупнейшие тектонические элементы. II – Крупные тектонические элементы: IIа - положительные, IIб - отрицательные. III - Средние тектонические элементы: IIIа - положительные, IIIб - отрицательные.

IV – Региональные глубинные разломы: IVа – достоверные, IVб – предполагаемые.

А – изогипсы поверхности фундамента. Б – граница республики.

1 – Дагестанский выступ: 1*а* – Сулакский выступ; 1*б* – Эльдама-Иргартбашский выступ; 1*в* – Талгинское поднятие; 1*г* – Нараттюбинская складчато-надвиговая зона; 1*д* – зона внутренних депрессий.

2 – Акташ-Аксайская депрессия. 3 – Каранайская депрессия.

4 – Южно-Дагестанская область линейных складок: Антиклинальные зоны: 4*а* – Западная, 4*б* – Восточная. Синклинальные зоны: 4*в* – Утемиш-Карчагская (Алхаджикентская депрессия), 4*г* – Каранай-Бильгадинская (Бильгадинская).

5 – Дербентская ступень: 5*а* – Дербентская депрессия, 5*б* – Морская антиклинальная зона.

6 – Терско-Каспийский передовой прогиб: 6*а* – Сулакская впадина (осевая зона прогиба), 6*б* – Аграханская моноклиналь (платформенный склон прогиба).

7 – Прикумская область поднятий (северный борт передового прогиба), (1+2+3+4) - южный борт передового прогиба.

8 – Дагестанский сегмент мегантиклинория Большого Кавказа (Горный Дагестан).

Рис. 10. Обобщенная схема тектонического районирования Дагестана с элементами разломно-блоковой тектоники

Несмотря на многообразие взглядов и различных точек зрения на геологическое строение Дагестанского сектора Восточного Кавказа, все сходятся на том, что в пределах Дагестана чётко выделяются следующие тектонические элементы: Дагестанский сегмент мегантиклинория Большого Кавказа (Горный Дагестан); Дагестанский выступ, включающий Сулакский,

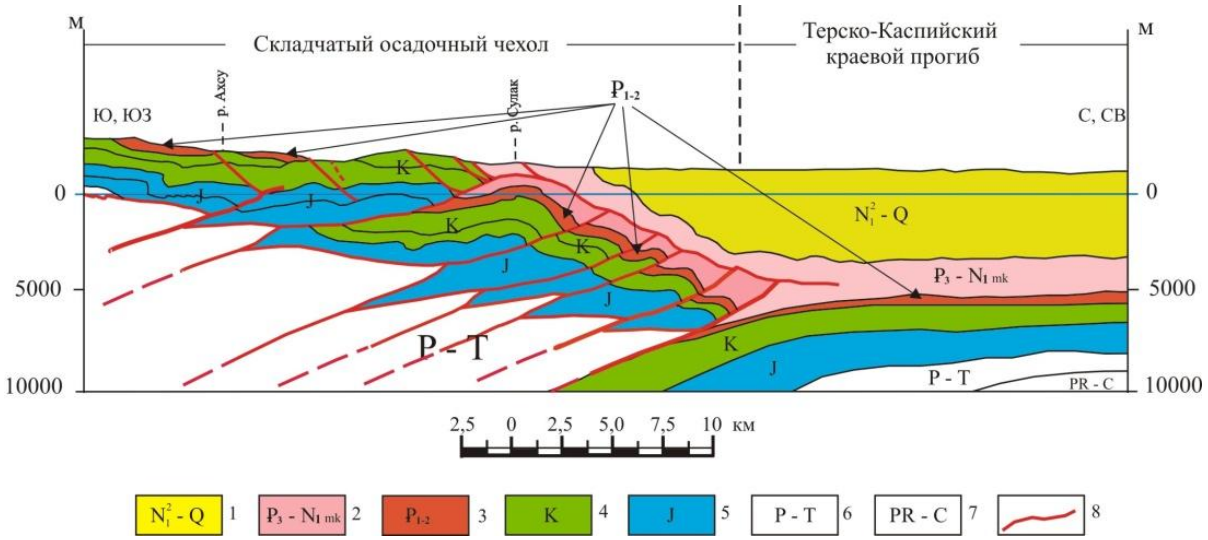
Эльдама-Иргартбашский и Талгинский выступы; Нараттюбинская складчато-надвиговая зона; зона внутренних депрессий, включающая Буйнакскую и Катынтаускую, переходящую в Каранайскую депрессии; Акташ-Аксайская депрессия; Южно-Дагестанская тектоническая ступень, включающая Западную, Восточную и Приморскую (Морскую) антиклинальные зоны; Дербентская ступень с одноименной депрессией. Южно-Дагестанская ступень как самостоятельный структурный элемент, осложняющий юго-западный борт Терско-Каспийского передового прогиба, была выделена В.П. Ренгартеном и В.Д. Голубятниковым в 1930 году. Связующим структурным элементом Южно-Дагестанской ступени и Дагестанского выступа является Каранайская депрессия. Южная граница Восточной антиклинальной зоны проводится по Самурскому глубинному разлому, а некоторые исследователи (Хаин В.Е., 1958, Галин В.Л., 1965 и др.) продолжают её в пределы Кусаро-Дивичинского синклинория Азербайджана. Антиклинальные зоны ограничены системой синклинальных прогибов: Утемиш-Карчагский (Алхаджикентская депрессия), Каранай-Бильгадинский и Дербентский. Мезо-кайнозойские отложения, участвующие в строении Восточной зоны, смяты в складки, линейно вытянуты в субкавказском направлении и почти параллельны берегу Каспийского моря.

Геодинамическая позиция

В сейсмогеодинамическом отношении Восточный Кавказ принадлежит Иран-Кавказ-Анатолийскому региону Средиземноморско-Гималайского пояса, которому свойственны очень крупные землетрясения. Хотя исследуемый регион в геолого-геофизическом отношении считается наиболее изученным [2, 3, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 26, 27, 28, 32 и др.], проведенный анализ фондового геолого-геофизического материала разных авторов с целью восстановления истории геодинамического развития Восточного Кавказа показал, что нет однозначного взгляда на геодинамическую ситуацию в регионе. Каждый автор предлагает свое видение геодинамической ситуации (геодинамическую концепцию) и, к сожалению, в настоящее время не представляется возможным проведение проверки с помощью "природного эксперимента" умозаключений авторов. Накопленный геологический материал показывает, что в современную эпоху проявляются почти все типы тектонических движений и деформаций, свойственных более ранним эпохам истории Земли. По своей интенсивности они не уступают последним, а роль горизонтальных движений не менее существенна, чем роль вертикальных.

В процессе анализа результатов исследований опубликованного и фондового материалов выявлены новые данные о дизъюнктивной тектонике и современной геодинамике региона, которые требуют переосмысления и переинтерпретации. В качестве основного материала использованы результаты гравиметрических, магнитометрических, геотермических исследований и геодезических измерений, материалы дешифрирования космоснимков, данные о сейсмичности, геологические карты, разрезы, а также результаты собственных исследований.

В кайнозойской истории развития Восточного Кавказа выделяется крупная Предакчагыльская (Кобристанская) фаза складкообразования с последующим развитием ее в плиоцен-антропогене на фоне углубления Терско-Каспийского краевого прогиба и усложнением структурного строения осадочного чехла глубоко проникающей разрывной тектоникой. Восточный Кавказ отличается резко дифференцированным характером новейших движений. Большая дифференцированность движений и повышенная сейсмичность Восточного Кавказа согласуется с его более высокой подвижностью в течение всего альпийского цикла. В результате тангенциального, субмеридионального сжатия, имевшего место в предакчагыльскую фазу складчатости, произошло резкое усложнение ранее сформированных структур. Надвигание складчатого осадочного чехла происходило по разломам глубокого заложения с южным падением смесителей, не выходящих в приповерхностные участки к северу, в сторону Терско-Каспийского прогиба (рис. 11).



1 – квартер-средний миоцен; 2 – олигоцен-нижний миоцен, майкоп; 3 – палеоцен-эоцен; 4 – мел; 5 – юра; 6 – пермо-триас; 7 – протерозой-карбон; 8 – разрывные нарушения.

Рис. 11. Модель сочленения Терско-Каспийского передового прогиба и складчатого сооружения Восточного Кавказа [18, с дополнениями].

Неотектонические данные по Восточному Кавказу наиболее полно укладываются в неомобилистские представления, объясняющие формирование складчатых деформаций горизонтальными сжатиями, являющимися результатом резкого увеличения скорости сближения Аравийской и Евроазиатской плит (Скифской и Туранской), что приводит в свою очередь к горизонтальному сжатию и развитию структур скалывания в пределах сооружения Восточного Кавказа, и естественно, к всплеску сейсмической активности в регионе. Усиление темпа неотектонических поднятий предгорий в среднем - позднем плейстоцене фиксируется изменением высотных отметок морских верхнехазарских террас, испытавших активное воздымание, резкие наклоны нижне-среднеплейстоценовых террас в левобережье р. Сулак на Бавтугайской возвышенности. Для этого этапа характерен активный рост структур в пределах южного края Терско-Каспийского краевого прогиба (Хадумский купол, Эльдамо-Кукурттауская складка, Карабудахкент-Селлинское поднятие, Западная и Восточная антиклинальные зоны). Рост структур и сопутствующие смещения по радиально расположенным к Дагестанскому выступу разрывам, совпадающим с долинами рек Сулак, Шура-озень, Черкес-озень, известны и в пределах Дагестанского побережья к югу от Махачкалы по деформациям хвалынских береговых линий [23].

Об активизации современных геодинамических процессов, выраженной в усилении горизонтального тектонического напряжения земной коры, свидетельствуют результаты высокоточных линейно-угловых геодезических измерений, проводившихся в 1991 г. [9,10]. Установлено относительное смещение в плане на северо-восток восточной части Дагестанского выступа, а величина средних скоростей горизонтальных перемещений геодезических пунктов за 24-летний период (1967-1991 гг.) достигает 2 см/год. Дагестанский выступ (особенно его северо-восточная часть) характеризуется и высокими скоростями современного подъема земной поверхности. В то же время Приморская равнина, являющаяся собственно побережьем Каспийского моря, испытывает на большей площади погружение. Современные скорости вертикальных опусканий здесь варьируют в пределах 2-5 мм/год [7,8]. Следует отметить, что указанные значения скоростей несколько занижены, так как они усредняются за весьма длительный период, а это приводит к недоучету знакопеременной направленности движений.

За 1979-1987 гг. средние скорости современных вертикальных движений земной поверхности по Терско-Сунженской антиклинальной зоне составили 4-8 мм/год, в то время как по данным инструментальных наблюдений только за шесть месяцев 1979 г. – 30-60 мм/год [24]. Такой знакопеременный режим движения земной поверхности отдельных участков побережья Каспийского

моря обусловлен, по-видимому, пространственно-волновым характером передачи тектонических напряжений. Результаты нивелировок земной поверхности в 1914, 1936, 1949, 1972, 1989 гг., проведенных вдоль западного побережья Каспийского моря, свидетельствуют о подобном волновом характере движений земной коры с периодичностью – 10-20 лет и более [25,31].

Многообразие геоструктурных элементов, их взаимодействие и история геологического развития определяет уникальность этой территории, более того – его аномальность. Какие бы представления о геодинамике этого аномального участка не существовали (реликт зоны субдукции (Уломов, 1993) или результат конвекции в верхней мантии (Михайлов и др., 1999), Восточный Кавказ с его Дагестанским выступом является аномальной. На подобных аномальных участках имели место крупнейшие землетрясения с магнитудами до 8,0±0,2 [16].

Для объяснения особенностей современного сейсмического режима территории Восточного Кавказа предложена **«клавишная модель» механизма геодинамических и геотектонических процессов:** упругая сейсмическая энергия в очаге потенциального сильного землетрясения (блоке земной коры или на стыке смежных блоков) накапливается за счет сжатия, создаваемого пододвигающимися под Кавказское сооружение с севера и СВ Евроазиатской (Скифской и Туранской), с юга - Аравийской плитами. В определенный критический момент блок коры, накопивший предельное тангенциальное напряжение, «отскакивает» в сторону Евроазиатской плиты, что сопровождается сильным землетрясением. В следующий «промежуток времени» (в период образовавшейся зоны растяжения) вероятны субвертикальные движения горст-грабенов (за счет скачкообразной «сработки» энергии вертикальной составляющей тектонической напряженности, в местах сцепления торцов взаимодействующих блоков земной коры). Как известно, сопротивление горных пород на растяжение примерно на порядок (в 6-15 раз) меньше их сопротивлению сжатия, и разрушения начинаются в области растяжений. Чередования фаз сжатий и растяжений земной коры при прохождении тектонической волны (чередование подъемов, связанных со сжатиями и опусканий блоков земной коры, связанных с растяжениями), вероятно, приводят к сильным сейсмическим событиям**.** Критическими в области Дагестанского сектора Восточного Кавказа являются три блока (рис. 7): Сулакский, Капчугайский и Эльдамо-Кукуртауский (Талгинский), а также узкие (шириной несколько км) линейновытянутые в субкавказском направлении, межблоковые зоны (участки новейших поднятий и опусканий земной коры) - район Миатлов, Шамхал-Булака и Экибулака, где в майкопское время отмечалось интенсивное грабенообразование, в которых мощность осадков в 2 и более раз превышали значения в сопряженных блоках. При изменении геодинамической обстановки в сопредельных территориях или при прохождении очередной тектонической волны очаг на этих участках может «сработать» первым. Подобно клавишам пианино.

Для лучшего понимания современных геодинамических процессов и механизма тектогенеза в регионе, обсуждаемую проблему лучше рассмотреть в связи с глобальными геодинамическими процессами. Данные, полученные (Жадин В.В. 1984, Андронов И.В., и др.1989), показывают, что пространственно-временная структура миграции землетрясений в тектонических поясах имеет планетарную природу и указывает на существование прямой связи между сейсмическим процессом, с одной стороны, и мантийной конвекцией – с другой. Такой результат, с точки зрения тектоники плит, очевидно, равносилен выводу о том, что волны миграции сейсмичности имеют тектоническую природу вследствие подъема наверх огромных масс сильно нагретого мантийного вещества. Большая часть этого вещества не доходит до поверхности земной коры, а растекается вдоль поверхности плит, частично внедряясь в литосферу и, тем самым, вызывая рост тектонических напряжений.

В условиях достаточно быстро вращающейся Земли движение магматического вещества от места его подъема к поверхности вследствие действия силы Кориолиса должно иметь вихревой характер. Поскольку Восточный Кавказ располагается к северу от экватора, предполагается, что в его пределах могла возникнуть вихревая структура с вращением против часовой стрелки. Поступательное движение сильно нагретого мантийного вещества вдоль поверхности вращающейся планеты имеет ротационную составляющую. Изменение режима вращения пла-

неты неизбежно приводит к накоплению в ее относительно упругой части – литосфере – значительных напряжений.

При этом *специфика напряжений, возникающих при неравномерном вращении планеты*, определяется тем, что земная кора неоднородна и большое количество слагающих ее относительно однородных блоков по разделяющим их границам (глубинным разломам) слабо сцеплены между собою. Как известно, литосферные плиты, как панцирь покрывающие планету, поворачиваются друг относительно друга, что и находит свое отражение в процессах, протекающих в районах сейсмических поясов Земли. Любое изменение режима вращения планеты, вероятно, должно приводить к тому, что относительно однородные блоки будут стремиться повернуться друг относительно друга.

Нам представляется, что современный геодинамический режим Восточного Кавказа определяется северным дрейфом Аравийской плиты, пододвигающимися под Кавказское сооружение с севера Скифской, с юга – Аравийской, а с СВ – Туранской плитами, а также результирующим северо-восточным направлением движения плит низшего ранга в пределах региона и субвертикальными подвижками блоков (горст-грабенов) земной коры по зонам тектонических нарушений в периоды ослабления горизонтальных напряжений в зоне коллизии трех крупных плит.

Таким образом, современный геодинамический режим региона в свете изложенных теоретических положений – это результат и реакция геологической среды на встречные движения трех крупных тектонических плит, источником энергии которых является внутренняя энергия Земли и ее ротационно-пульсационный режим как планеты.

Современная сейсмичность

Восточный Кавказ характеризуется самой высокой сейсмической активностью в европейской части России. В течение последних 30-40 лет инструментальным путем здесь зарегистрировано довольно много сильных землетрясений, в том числе: Дагестанское – 14.05.1970 г. (8 - 9 баллов), Салатауское – 23.12.1974 г. (7 баллов), Буйнакское – 9.01.1975 г. с силой в эпицентре равной 8 баллам, Кумторкалинские – (31.01. с силой в 7 баллов и 21.02., 14.04.1999 г.) и др. Подавляющее большинство очагов землетрясений расположено на глубинах 15-20 км, находясь в доюрском основания, либо в "гранитном" слое. Некоторые очаги землетрясений располагаются на более мелких глубинах в мезо-кайнозойском осадочном чехле.

Повышенная сейсмичность Восточного Кавказа согласуется с его более высокой подвижностью в течение всего альпийского цикла. Высокосейсмичный район к западу от Махачкалы приурочен к вершине поперечного поднятия Дагестанского выступа и одновременно к вероятному продолжению Пшекиш-Тырныаузской шовной зоны. Зона современной сейсмической активности приурочена к зоне сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном по Чиркей-Экибулакскому глубинному разлому. Последние сильные землетрясения с эпицентрами в районе Кумторкала, Капчугай, Алмало которые произошли здесь по внешним проявлениям оценены как восьми- и семибалльные соответственно. К пересечениям Черногорского разлома поперечными разломами относятся очаги известных сильных землетрясений, в частности, Буйнакское землетрясение 1975 г. с M = 5,6, H = 6, 5 км, J_0 = 8,0 б. Вместе с тем, очаг Буйнакского землетрясения связан и с Капчугайским грабеном.

Анализ пространственного распределения эпицентров землетрясений показывает, что, помимо отмеченной современной высокосейсмичной зоны, в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа выявлены еще четыре сейсмоактивные зоны: Дербентская, Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахская, Аргун-Гудермес-Хасавюртовская и Лагодехи-Белоканы-Закаталинская. Сейсмические циклы в этих зонах имеют другую периодичность и продолжительность. Например, по палеосейсмическим данным, в историческом прошлом (1620-е гг.) в Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахской зоне произошли сейсмические события с *M*=5 и выше. В последующий период, вплоть до настоящего времени, эта зона представляет собой зону сейсмического затишья. Потенциально новой очаговой зоной землетрясений является место сочленения Талгинского выдвинутого блока с Капчугайским грабеном и Губденским блоком.

Как известно «сейсмическую погоду» определяют сильные землетрясения, периодичность которых (точнее - квазипериодичность) по историческим данным превышают сто лет. Инструментальный период (с 1960-х годов) для определения периодичности сильных и сильнейших землетрясений слишком мал. Он пригоден, с некоторыми допущениями, для определения пространственной, временной и энергетической распределений очагов средней силы землетрясений.

Для анализа современной напряженности и направленности геотектонических процессов в регионе, выявления повторяемости сильных землетрясений, миграции и пространственной локализации их очагов нами проведен анализ каталога землетрясений Восточного Кавказа с 1960 по 06. 2017 гг. По результатам анализа составлены карты эпицентров землетрясений. Для анализа использовались данные более чем 800 землетрясений с магнитудой $M \geq 3{,}8$, происшедших на территории площадью около 73.5 тыс. км^2 (координаты: С.Ш.$41^0\ 00^1$ - $44^0\ 00^1$; В.Д. $45^0 30^1$ - $48^0 30^1$). Представительной магнитудой среди ощутимых землетрясений за данный период является М 4 (табл. 1). В качестве минимальной выбрана магнитуда 3.8, так как при относительно более низких значениях представительность ощутимых сейсмических событий резко падает.

Таблица. 1.
Распределение землетрясений по магнитудам

Магнитуда	**Количество землетрясений**	**%**
4 (3.8 – 4.4)	667	80,65
5 (4.5 – 5.4)	143	17,29
6 (5.5 – 6.4)	16	1,94
7 (6.5 – 7.4)	1	0,12
8 (7.5 – 8.4)	-	
∑	**827**	**100**

За последние 10-15 лет наблюдается резкий рост землетрясений представительной магнитуды (рис. 12), что, вероятно, является форшоковой активностью более сильного ближайшего будущего землетрясения. Пик активности – 2013 г.

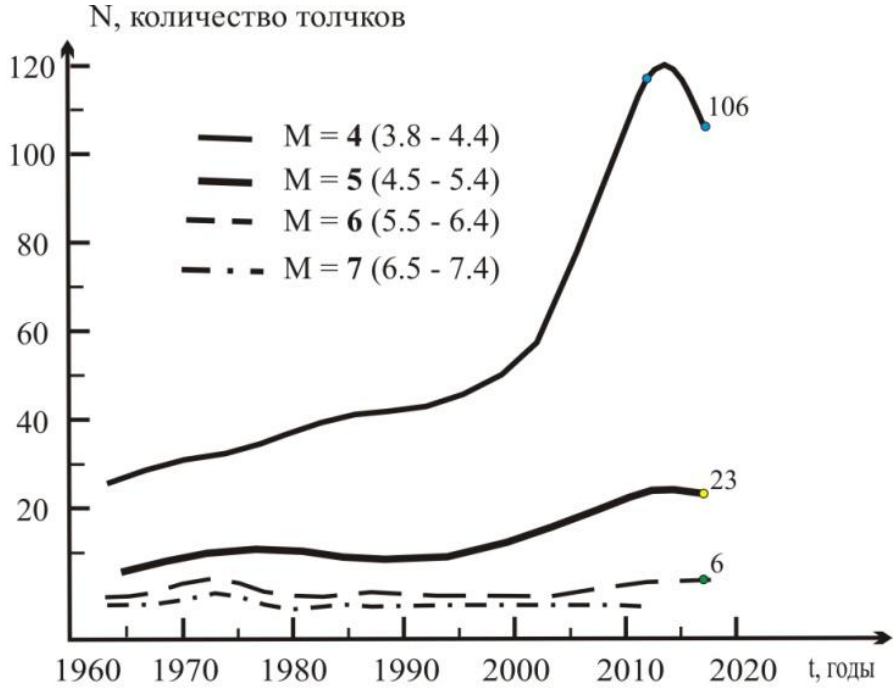


Рис. 12. Изменение количества землетрясений во времени

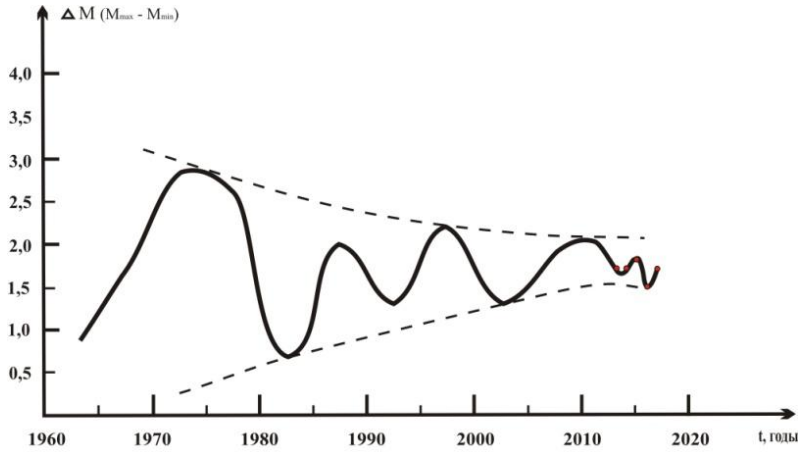
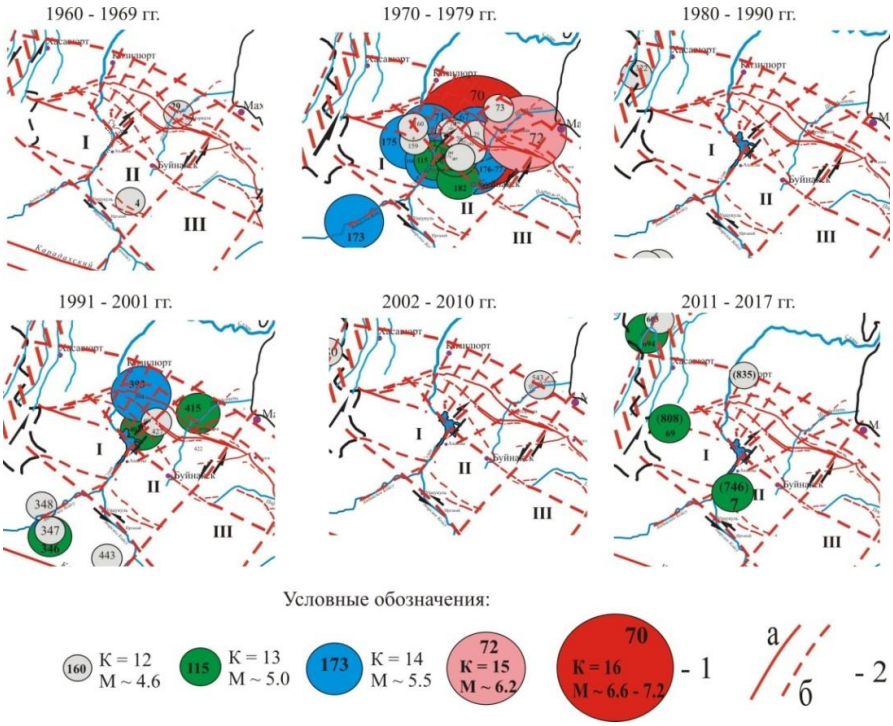


Рис. 13. Изменение дисперсии между $M_{макс.}$ и $M_{мин.}$ [19, с дополнениями].

Одним из признаков вероятной подготовки сильного землетрясения является и изменение дисперсии (уменьшение) между максимальными и минимальными магнитудами за исследуемый период времени (рис. 13). Все изложенное выше, согласуется с выводом о росте сейсмической активности за последние 30-40 лет.

В зоне современной сейсмической активности, приуроченной к области сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном по Чиркей-Экибулакскому глубинному разлому, отмечено чередование циклов сейсмической активности и спада (с $M \geq 4.6$, $K \geq 12$) продолжительностью около 10 лет: 1960-1969 гг. – спад активности, 1970-1979 гг. – повышение, 1980-1990 гг. – спад, 1991-2001 гг. – повышение, 2002-2010 гг. – спад, 2011-2020 гг. – ожидается повышение сейсмической активности (рис. 14).



Тектонические элементы: I - Сулакский выступ; II - Капчугайский грабень; III - Талгинский (Эльдамо-Кукуртауский) выступ.

1 – эпицентры землетрясений с порядковыми номерами и энергетической характеристикой;

2 – глубинные разломы в доюрском фундаменте и разрывные нарушения в осадочном чехле (а – достоверные, б – предполагаемые).

Рис. 14. Чередование циклов сейсмической активности и спада продолжительностью ~ 10 лет в области сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном.

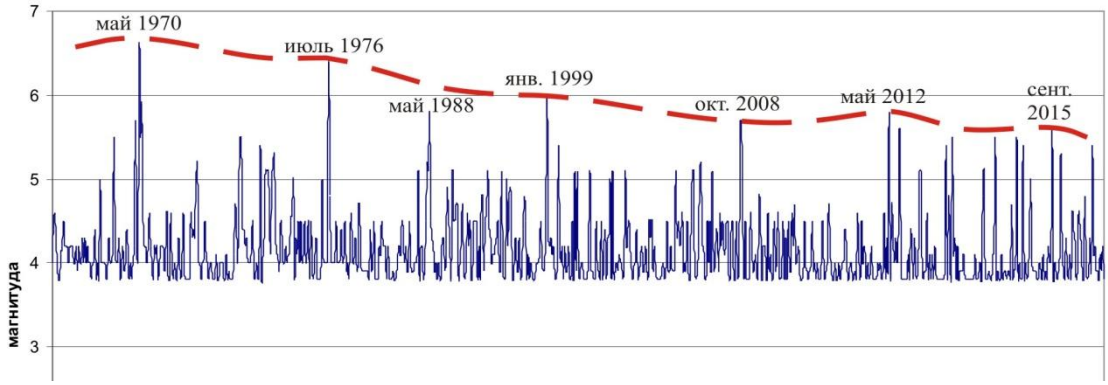


Рис. 15. График временного распределения землетрясений с M ≥ 3.8 (с 1960 по 2017 гг.).

Наблюдается закономерность временного распределения землетрясений (рис. 15) с магнитудами более 5,5 (макс. 6,6): периодичность их свершения (точнее – квазипериодичность) составляет 9,5 ± 3 года (~ 10 лет). Для магнитуды менее 5 – периодичности не наблюдается.

График временного распределения землетрясений показывает (рис. 15) наличие за последние полвека снижения сейсмической активности по максимальным магнитудам, что может быть связано с периодичностью сильных землетрясений Восточного Кавказа. В данном случае снижение активности связано с периодом ее спада продолжительностью 50-60 лет. Периодичность (квазипериодичность) сильных землетрясений для территории Восточного Кавказа по данным анализа исторических событий составляет примерно 90-120 ± 10 лет. Таким образом, следующее сильное землетрясение на территории региона, вероятно, следует ожидать в 2070±10 лет. Это не означает, что в ближайшее десятилетие не может случиться подобное событие. Здесь действуют много факторов, в том числе, не познанные глубинные и не до конца осознанные исследователями космические, и нелинейность самых процессов протекающихся в вечно меняющейся геологической среде. Все эти и другие, еще не познанные механизмы, действуя вместе, превращают литосферу в хаотичную нелинейную, вечно меняющуюся систему. В такой системе, как известно, прошлое не определяет будущее. В нашем понимании «***очаг землетрясения - одна из бесчисленных форм существования вечно меняющейся геологической среды»***. Как говорят в народе: «*дважды в одно и то же реку не войдешь*». Отсюда и трудности с прогнозом времени свершения землетрясения.

Таким образом, современный и последний (30-40 – летний) всплеск сейсмической активности на Восточном Кавказе отражает естественный ход геологических процессов в регионе с «расконсервацией» генетически обретенных и накопленных в современный период геонапряжений в результате встречных движений Аравийской и Евроазиатской (Скифской и Туранской) плит и глубинных субвертикальных вихревых перемещений масс, вызывающие образование или оживление разрывов и разнонаправленные блоково-глыбовые перемещения, затронувшие земную кору на всю мощность, источником энергии которых являются внутренняя энергия Земли и ее ротационно-пульсационный режим как планеты.

Анализ миграции очагов землетрясений. Для анализа миграции очагов за инструментальный период наблюдений выбраны сейсмические события с $M \geq 5$ (табл. 1). За указанный период (с 1960 по 06.2017 гг.) на территории Восточного Кавказа произошло 160 сильных землетрясений. Каждый регион характеризуется своей средней скоростью миграции очагов, отличающийся от других регионов в зависимости от конкретных геотектонических и геодинамических условий. Например, очаги сильнейших землетрясений вдоль северо-западной окраины Тихого океана мигрируют со скоростью около 250±30 *км/год* (Викулин А.В., 1992).

Для каждой траектории движения эпицентров землетрясений Восточного Кавказа определялось значение скорости *V*, численно равное отношению длины прямолинейного отрезка, соединяющего эпицентры соседних по времени землетрясений каталога к интервалу времени между ними. Нам удалось установить, что очаги сильных землетрясений ($M \geq 5$) Восточного Кавказа мигрируют

Таблица 2.
Средние значения скоростей миграции очагов землетрясений

Годы	$V_{ср.}$, *км/год*	
	Субкавказское направление	**Поперечное направление к субкавказскому**
1960–1969	622	169
1970–1979	416	368
1980–1990	914	854
1991–2001	165	891
2002–2010	436	412
2011–2012	934	929
Среднее значение	**580**	**600**

вдоль субширотного направления со средней скоростью 580 *км/год*, а вдоль субмеридионального – со скоростью 600 *км/год* (табл. 2) и не зависит от направления их миграции.

Проведенные исследования позволили сделать вывод о существовании общих региональных закономерностей миграции очагов землетрясений и зон разрядки тектонических напряжений, а также об однородности их физической природы. Исследования позволили проанализировать и установить особенности региональной геотектоники и современной сейсмичности.

Таким образом, проявление современной сейсмичности (миграция очагов землетрясений, усиление активности, группирование очагов и т.д.) - результат и реакция геологической среды на современные геотектонические и геодинамические процессы.

Выводы:

1. Повышенная сейсмическая активность Восточного Кавказа определяется тем, что он входит в альпийскую геосинклинальную область, в которой еще не закончились процессы формирования складчатых структур и в связи с тем, что идут глубинные перемещения масс, вызывающие образование или оживление разрывов и разнонаправленные блоково-глыбовые перемещения, затронувшие земную кору на всю мощность. Взаимные проявления вертикальных и горизонтальных деформаций создали блоковый тип строения фундамента.

2. Уточнено пространственное расположение разломов в области Дагестанского выступа и на этой основе составлена схема его разломно-блоковой тектоники в масштабе 1:200 000. Выявлены разломы, отличающиеся повышенной сейсмической активностью.

3. Составлена новая обобщенная схема разломно-блоковой тектоники Дагестанского сектора Восточного Кавказа в масштабе 1:500 000.

4. Составлена обобщенная схема тектонического районирования с элементами разломно-блоковой тектоники Дагестанского сектора Восточного Кавказа в масштабе 1:500 000.

5. Современный и последний (30-40 – летний) всплеск сейсмической активности на Восточном Кавказе отражает естественный ход геологических процессов в регионе с «расконсервацией» генетически обретенных и накопленных в современный период геонапряжений в результате встречных движений Аравийской и Евроазиатской (Скифской и Туранской) плит и глубинных субвертикальных вихревых перемещений масс, вызывающие образование или оживление разрывов и разнонаправленные блоково-глыбовые перемещения, затронувшие земную кору на всю мощность, источником энергии которых является внутренняя энергия Земли и ее ротационно-пульсационный режим как планеты.

6. Механизм геодинамических и геотектонических процессов и особенности современного сейсмического режима Восточного Кавказа вписываются в рамки «клавишной модели».

7. За последние 10-15 лет наблюдается резкий рост землетрясений представительной магнитуды М 4 (среди землетрясений с $M \geq 3{,}8$) что, вероятно, является форшоковой активностью

более сильного ближайшего будущего землетрясения. Это согласуется с выводом о росте сейсмической активности за последние 30-40 лет.

8. Помимо отмеченной современной высокосейсмичной зоны, в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа выявлены еще четыре сейсмоактивные зоны: Дербентская, Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахская, Аргун-Гудермес-Хасавюртовская и Лагодехи-Белоканы-Закаталинская.

9. Определена средняя скорость миграции очагов землетрясений по территории Восточного Кавказа, которая составляет 580-600 *км*/*год* и не зависит от направления их миграции.

Литература

1. Ажгирей Г.Д. О некоторых важных закономерностях тектонического строения и движения земной коры. Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 8.- С. 21-36.
2. Артюшков Е.В. Геодинамика.- М.: Наука, 1979.- 327 с.
3. Брод И.О. Тектоника и нефтеносность Восточного Предкавказья //Сов. геол., т. VIII, 1938, № 7.- С. 3-23.
4. Бунин Г.Г. Результаты геолого-структурного дешифрирования космоснимков предгорного Дагестана в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности //Нефтегазоносность мезозойских отложений Кавказа. Махачкала. 1986.- С. 117-123.
5. Буторин Г.Д., Галин В.Л. Тектоника передовой складчатой зоны Дагестанского выступа в связи с поисками залежей нефти и газа //Сов. геол., 1972, № 9.- С. 127-133.
6. Ежов Б.В. О связях кольцевых морфоструктур с геофизическими оболочками земли. - в кн.: Геолого-геоморфологические конформные комплексы Дальнего Востока, Владивостока. ДВНЦ АН СССР, 1980.- С. 71-80.
7. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М 1 : 2500000. М.: ГУГК СССР, 1973.
8. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР. М 1 : 5000000. М.: ГУГК СССР, 1989.
9. Касьянова Н.А., Абрамова М.А., Гайрабеков И.Г. //Геотектоника. 1994. № 4.- С. 30.
10. Касьянова Н.А., Абрамова М.А., Гайрабеков И.Г. О горизонтальных деформациях Восточного Кавказа на основе высокоточных геодезических измерений //Геотектоника.– 1995.- № 2.- С. 86-90.
11. Кожевников А.В., Никитин М.Ю. Антропоген долины р. Сулак на Сев. Кавказе //бюл. Моип. Отд. Геол. 1977. Т. 52, вып. 3.- С. 26-44.
12. Короновский Н.В. Аграхан-Тбилисско-Левантийская левосдвиговая зона - важнейшая структура Кавказского региона //Докл. РАН. 1994. Т. 337, № 1.- С.83-89.
13. Краснопевцева Г.В. и др. Результаты глубинного сейсмического зондирования земной коры Кавказа.- в кн.: Глубинное строение Кавказа. М.: Наука, 1966.- С. 43-56.
14. Криволицкий н.в. Тектонические характеристики области известнякового Дагестана //тр. Внигри, 1954, № 4.- С. 148-193.
15. Лобковский Л.И., Баранов Б.В. //Докл. АН СССР. 1984. Т. 275. № 4.- С. 843-847.
16. Магомедов Р.А. Геодинамический режим области Дагестанского клина в альпийском цикле развития Восточного Кавказа //мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды ИГ ДНЦ РАН. – вып. 56.- С. 66-80.
17. Магомедов Р.А. Гидрогеодинамический режим области Дагестанского клина и сопредельных территорий в связи с сейсмичностью. Диссертация на соискание уч. ст. к.г.-м.н. По специальности 25.00.07-гидрогеология. 183 с.
18. Магомедов Р.А. Современная геодинамика и особенности дизъюнктивной тектоники области Дагестанского выступа Восточного Кавказа //Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI тектонического совещания. Том I. М: ГЕОС, 2014.- С. 240-244.
19. Магомедов Р.А. Дизъюнктивная тектоника и современная сейсмичность территории Восточного Кавказа //Отечественная геология, № 3.- 2014.- С. 69-77.
20. Маркус м.а. Долгоживущие структуры Восточного Кавказа //Сов. геология. 1986. № 10. С.63–69.
21. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М., 1968.- 484 с.
22. Овсюченко Н.И. Изучение современной активности тектонических нарушений в сейсмоопасных районах //Геопрофи. 2006. № 1.- С. 51-55.
23. Рычагов Г.И. Позднеплейстоценовая история Каспийского моря //Комплексные исследования Каспийского моря. М., изд-во МГУ, 1976. Вып. 4.- С. 18-29.
24. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. М.: ИГИРГИ, 1989. 183 с.
25. Синягина М.И., Орленка Л.П. //Геодезия и картография. 1959. № 8.- С. 22.

26. Скарятин В.Д. Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномасштабных космоснимков земли (метод многоступенчатой генерализации) //Изв. вузов. Геология и разведка.- 1973.- № 7.- С. 62-67.
27. Скарятин В.Д. Применение метода многоступенчатой генерализации при изучении геологических структур разного масштаба (на примере Северного Кавказа) //Исследование природной среды космическими средствами: геология и геоморфология.- М.: 1976.- Т.5.- С. 123-141.
28. Соборнов К.О. Формирование складчато-надвиговой структуры Дагестанского клина //Геотектоника. 1991. № 3.- С. 34-46.
29. Схема тектонического районирования Дагестана. Составители: Сабанаев К.А., Шалбузова Л.В. По материалам ОАО «НК «Роснефть-Дагнефть»», ООО «КАСПИЙГАЗПРОМ». Масштаб 1: 500 000. Махачкала, 2005.
30. Шерман С.И. Деструкция литосферы: разломно-блоковая делимость и ее тектонофизические закономерности //Геодинамика и тектонофизика. Т.3, вып. 4. Иркутск, 2012.- С. 315-344.
31. Шило Н.А. Природа колебаний уровня Каспия //ДАН СССР. 1989. Т. 305. № 2.- С. 412-416.
32. Черкашин В.И., Дорофеев В.М., Крамынин П.И. и др. Организация инженерно-сейсмометрической службы в Республике Дагестан //Вестник Дагестанского научного центр. № 14. Махачкала, 2003. С. 25-33

УДК 550.81

ОСАДОЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ПРИКУМСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ НА ГЛУБИНАХ БОЛЕЕ 4,5 КМ И ИХ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Гаджиева Т.Р., Шульгина Т.А., Меликов М.М.
Институт геологии ДНЦ РАН

В пределах исследуемого района с целью выявления закономерностей распределения органического вещества и битумоидов в осадочных образованиях мезозоя на глубинах более 4,5км, а также определения условий их образования, было проведено изучение изменения некоторых геохимических показателей ($С_{орг,}$ ХБ, β, аутигенно-минералогических форм железа) по ряду разрезов разведочных и параметрических скважин, характеризующих различные тектонические зоны Прикумской нефтегазоносной области Дагестана.

Ключевые слова: битумы, фация, органическое вещество, углеводороды, битумоиды, органический углерод, хлороформ, триас, юра, мел, карбон, песчаник, глина, алевролит, известняк, пирит, сидерит.

SEDIMENTARY ROCKS OF PRIKUMSK PETROLEUM REGION AT DEPTHS GREATER THAN 4,5 KM AND THEIR GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS

Gadjieva T.R., Shulgina T.A., Melikov M.M.
Institute of Geology Dagestan scientific center of RAS

Within the study area to identify the pattern of distribution of organic matter and bitumens in the sedimentary formation of the transformation of the Mesozoic at depths greater than 4.5 km, and also definition of conditions of their formation were conducted to study the changes in some geochimiceing indicators (TOC, HB, β, authigenic-mineralogical forms of iron) for several sections of exploration and appraisal wells that characterize different tectonic zones Prikumsk petroleum province Dag-mill.

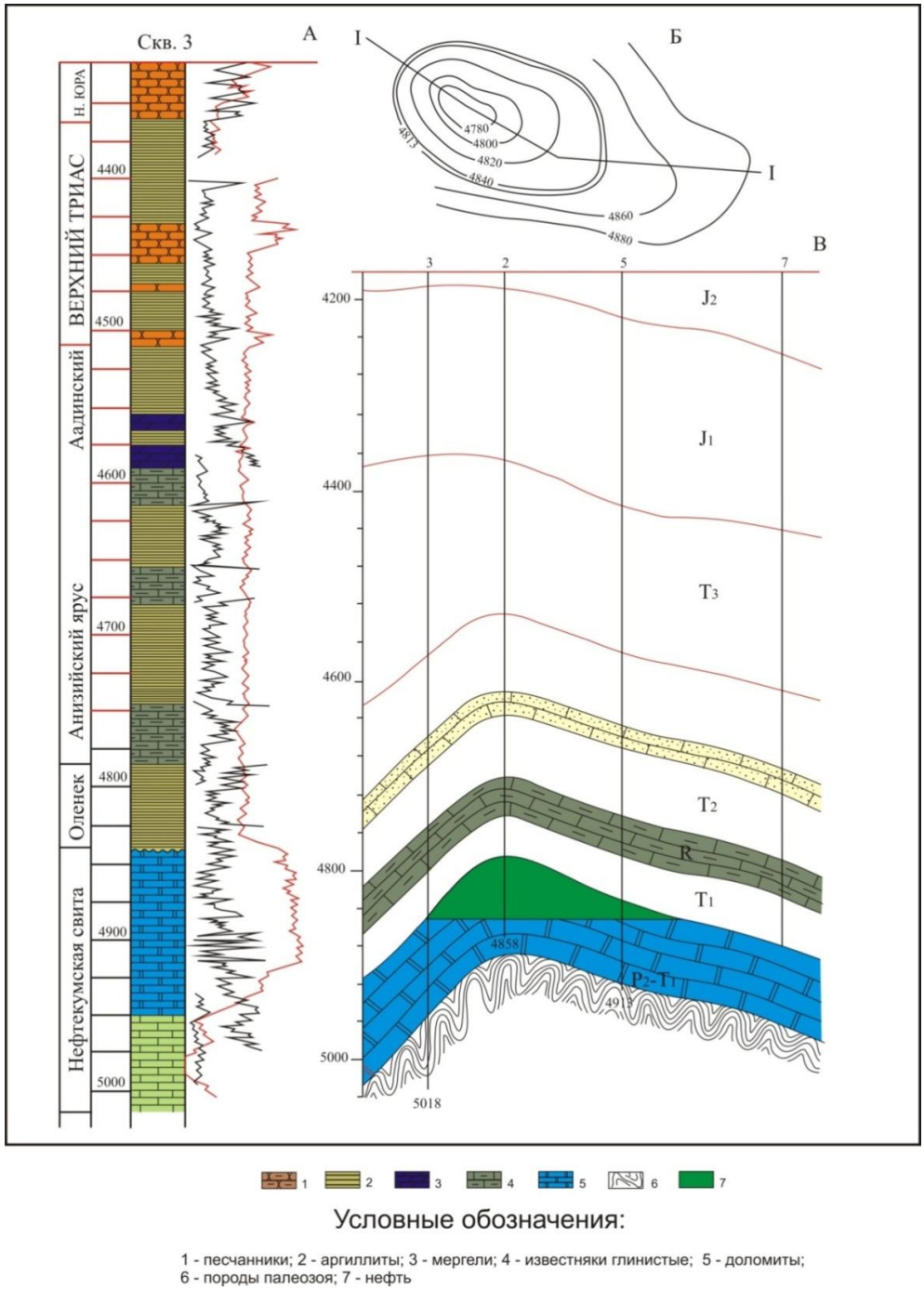
Key words: bitumen, facies, organic matter, hydrocarbons, bitumens, organic carbon, chloroform, Triassic, Jurassic, Cretaceous, Carboniferous, Sandstone, clay, siltstone, limestone, pyrite, siderite.

В осадочных отложениях мезозоя на глубинах более 4,5 км с целью выявления закономерностей распределения органического вещества и битумоидов, а также определения условии их образования, были изучены изменения некоторых геохимических показателей ($С_{орг}$, ХБ, β, аутигенно-минералогических форм железа) по ряду разрезов разведочных и параметрических скважин, характеризующих различные тектонические зоны Прикумской нефтегазоносной области Дагестана (Рис.1).

В пределах исследуемого района на глубинах более 4,5км вскрывается широкий комплекс отложений от нижнего мела до карбона, где наблюдается увеличение стратиграфического диапазона и уменьшение возраста пород с северо-запада на юго-восток [1].

В Восточно-Манычском прогибе (скв. Солнечная-6) на глубинах свыше 4,5км залегают среднетриасовые отложения. Породы ладинского яруса (закумская свита) отличаются низкой битуминозностью (ХБ – 0,0006-0,0025%), малым содержанием $С_{орг}$ (не более 0,25%), β составляет 1-2% иногда повышаясь в алевролитах до 6%. Вниз по разрезу количество ХБ увеличивается до 0,02% при $С_{орг}$ – 0,024-0,3%, (β возрастает до 7-10%, а в отдельных разностях песчано-алевролитовых пород достигает 20% (Таблица1-2).

Анизийские отложения (кизлярская свита) также содержат небольшое количество $С_{орг}$ (0,03-0,27%), однако значительно возрастает концентрация ХБ (до 0,04%), нейтрального характера (χ=1), β увеличивается до 10-23% наиболее высоким его значением отличаются породы с минимальным $С_{орг}$, что свидетельствует о присутствии в них эпибитумоидов. Породы с эпигенетичной битуминозностью характеризуются преобладанием пиритного железа, однако в большинстве пород среднего триаса в балансе аутигенно-минералогических форм превалирует закисное железо (до 75%), окисное составляет 18-26%, пиритное – 2-5%, что свидетельствует о восстановительных условиях их образования (Табл.1-2).



А–геолого-геофизический разрез; Б–структурная карта по поверхности нефтекумской свиты; В– профильный геологический разрез

Рис. 1. Месторождение Кумухское.

Породы нижнего триаса (демьяновская свита) отличаются от вышеописанных меньшим содержанием $C_{орг}$ (0,1-25 %), и битумоидов (ХБ – 0,02, СББ – 0,01%) и более низкими значениями β (2-5%). Отложения култайской свиты в скважине Солнечная-6 керном не охарактеризованы. По всему разрезу скв. Солнечной-6 (табл.1) сверху-вниз возрастает содержание битумоидов β от минимальных значений – в пестроцветных породах закумской свиты до наиболее высоких – в отложениях анизинского яруса среднего триаса. В нижнем триасе значение этих параметров вновь уменьшаются. Содержание $C_{орг}$ и характер распределения форм железа по разрезу существенно не изменяются, иногда в породах кизлярской свиты отмечается преобла-

дание в балансе пиритного железа, при незначительном его содержании в породе. В центральной части Прикумской области изучение проведено по двум различным в нефтегазоносном отношении разрезам: с установленной нефтегазоносностью в отложениях нижнего триаса (Кумухская-2, 3) и не вскрывшем продуктивных пластов (Дахадаевская-9). В скв. Дахадаевская-9 ниже 4,5км залегают отложения нижнего триаса и перми.

Отложения нижнего триаса (култайская свита)характеризуется низким содержанием ХБ (0,0013-0,01%). В подошве на границе с куманской свитой увеличиваются ХБ до 0,02%, и β – до 10%, в остальной части разреза β не превышает 1-4%. В балансе железа преобладает закисное – 75-90%, окисное – 14%, иногда на границе с куманской свитой увеличиваясь до 20%, содержание пиритного железа колеблется от 2 до 12%.

На Кумухской площади (рис.1) керном охарактеризованы отложения среднего и нижнего триаса и карбона. В породах ладинского яруса ХБ не превышает 0,005% при $C_{орг}$– 0,1-0,38%, β – 1-5%. В балансе железа преобладают закисные формы (50-68%), пиритное составляет 5-9%, окисное – 30-45%, что соответствует окисно-сидеритовым фациям. Породы кизлярской свиты при некотором увеличении $C_{орг}$ (не более 0,5%) характеризуются более высокой битуминозностью (ХБ – 0,04-0,08), β – увеличивается до 10-30%, как правило, в глинах и в карбонатных породах за счет присутствия в них эпибитумоидов. Отложения демьяновской свиты (оленек) содержат 0,04-0,08% ХБ восстановленного характера (χ=2), 0,2-0,5% – $C_{орг}$, β – 9-18%. В балансе железа преобладают закисные формы (50-60%), окисное железо составляет 24-36%, пиритное – 14-16%, характеризуя восстановительные условия.

Ниже в кровле нефтекумской свиты резко увеличивается содержание в глинах $C_{орг}$ (до 1,7%) и ХБ (0,156%) однако β снижается до 7%. Залегающая ниже известняково-доломитовая пачка, отличается низким содержанием $C_{орг}$ (0,03-0,1%), ХБ уменьшается до 0,02%, β резко возрастает до 42-96%, что свидетельствует об эпигенитической природе битумоидов. Далее выделяется пачка с минимальным, для этого разреза, ХБ (0,01%) восстановленного характера (χ=2-2,5) и органическим веществом, β которого составляет до 10%. В известняках, залегающих на сланцах карбона, содержание ХБ увеличивается до 0,02-0,04% при низком $C_{орг}$ (0,07-0,15%), β возрастает до 25-35%. Осадки нефтекумской свиты отличаются преобладанием окисно-сидеритовых фаций. Иногда, в основном, в верхней части свиты, в балансе железа увеличивается пиритное (40-78%), указывая на резко восстановительные условия; для большинства пород основную часть составляет закисное (40-55%) и окисное (25-45%) железо, пиритное не превышает 8-20%.

Сланцы карбона характеризуются небольшим содержанием $C_{орг}$ (не более 0,25%) и ХБ (0,01-0,02%), β также уменьшается до 5-12%.

В целом по разрезу Кумухской площади максимальными значениями $C_{орг}$ ХБ и β отличаются отложения кизлярской свиты, минимальными их величинами – закумской свиты среднего триаса. В отложениях нижнего триаса (демьяновская и нефтекумская свиты) наиболее высокие значения ХБ, β, $C_{орг.}$ отмечаются в глинистых отложениях верхней части нефтекумской свиты, в карбонатах преобладают эпибитумоиды (ХБ – 0,02-0,04%, β – до 30-90%), максимальное количество которых отмечается в нижней и верхней частях свиты, т. е. на границах стратиграфических подразделений. Все отложения характеризуются в основном преобладанием окисно-сидеритовых фаций. Увеличение количества пиритного железа, т.е. усиление восстановительных условий отмечается для пород кизлярской свиты и реже – для отложений нижнего триаса. По сравнению с вышеописанными разрезами Солнечной и Дахадаевской площадей наблюдается увеличение окисных форм в балансе железа по всему разрезу.

На юго-востоке (скв. Кочубей-2) на глубинах более 4,5км вскрыты отложения от средней юры до карбона (табл. 1, 2). Среднеюрские породы отличаются значительным содержанием $C_{орг}$ (1,34%) и ХБ (0,08-0,2%) нейтрального, восстановленного характера (χ – 1-2,5), β довольно высокая – 12-42%. В балансе железа преобладает закисное (40-55%), окисное составля-

ет 30-40%, пиритное изменяется от 4 до 30%. Нижнеюрские песчаники также содержат большое количество $C_{орг}$ – 1,06% и ХБ – 0,06-0,18% при β – 12-25%. Снижается доля пиритного железа (не более 1%), в общем его балансе преобладает закисное – 52% и окисное – 47%. Основная часть разреза кизлярской свиты среднего триаса –глинистые породы, характеризуются невысоким $C_{орг}$ – 0,03-0,34%, ХБ – 0,005-0,01%, β – 3%. Исключение составляют прослои известняков в верхней части свиты и глины – в нижней, на границах соответственно с юрскими и нижнетриасовыми породами, где содержание ХБ увеличивается до 0,08%. Среднетриасовые осадки характеризуются преобладанием окисно-сидеритовой фации (табл.1).

Таблица 1
Геохимическая характеристика разрезов триасовых отложений Прикумской области Дагестана на глубинах >4,5 км.

Площади	**Солнечная**					
параметры / свиты	$C_{орг}$ %	ХБ %	β %	Баланс железа %		
				Окисное	Закисное	Пиритное
Закумская T_2	0,24-0,3	0,0006-0,02	1,2-20	16-28	50-72	0-34
Кизлярская T_2	0,03-0,27	4,04	10-23	2-28	0-72	0-98
Демьяновская T_1	0,1-0,25	0,02	2-5	14-29	69-86	0-3
Култайская T_1		0,0013-0,021	1-10	7-20	75-90	2-12
Нефтекумская T_1–P						
Куманская P						
Карбон C						
Площади	**Кумухская**					
параметры / свиты	$C_{орг}$ %	ХБ %	β %	Баланс железа %		
				Окисное	Закисное	Пиритное
Закумская T_2	0,1-0,38	<0,005	1-5	30-45	50-68	5-9
Кизлярская T_2	0,2-0,5	0,04-0,08	10-30	24-36	40-60	4-26
Демьяновская T_1	0,4-0,5	0,04-0,08	9-18	24-36	50-60	14-16
Култайская T_1	Отсутствуют					
Нефтекумская T_1–P	0,07-1,7	0,01-0,156	7-96	25-45	50-55	8-78
Куманская P	Отсутствует					
Карбон C	<0,25	0,01-0,02	5-12			
Площади	**Кочубей**					
параметры / свиты	$C_{орг}$ %	ХБ %	β %	Баланс железа %		
				Окисное	Закисное	Пиритное
Закумская T_2	Отсутствуют					
Кизлярская T_2	0,03-0,34	0,005-0,08	1-30	26-30	46-60	1-16
Демьяновская T_1	0,25-0,28	0,005-0,08	22-25	23-28	60-65	5-10
Култайская T_1	0,35	0,08	<5	20-29	50-74	0-24
Нефтекумская T_1–P	Отсутствует					
Куманская P	0,2	0,0025	1,5	28-32	64-68	1-4
Карбон C	1,4	0,02	<1	7	90	3

Наиболее высокое содержание окисного железа отмечено в породах с высоким ХБ и β, залегающих верхней части разреза.

1 По СКВ. Дахадаевская 9

В отложениях демьяновской свиты нижнего триаса количество ХБ восстановленного характера (χ – 2-4) составляет 0,08% при незначительном содержании $C_{орг}$ (0,25-0,28%) с высокой степенью битуминизации (β – 22-25%). Условия образования пород сходны со среднетриасовыми при некотором возрастании восстановительной обстановки (окисное железо – 23-28% от общего содержания, пиритное – 5-10%). В отложениях култайской свиты нижнего триаса наблюдается снижение сверху-вниз по разрезу $C_{орг}$, ХБ и β. В глинах верхней части $C_{орг}$ составляет 0,35%, ХБ – 0,08%, χ – 4, β – 20%. Известковистые песчаники нижней части содержат 0,15% – $C_{орг.}$0,01% – ХБ нейтрального характера (χ – 1), β – не более 5%, а песчаники, залегающие в подошве свиты, характеризуются еще более низкими значениями этих параметров, которые сопоставимы с [2-5]. Соотношение аутигенно-минералогических форм железа свидетельствует о преобладании окисно-сидеритовых фаций: закисное железо составляет 50-74%, окисное – 20-29%, пиритное – 10-24%, а в подошве свиты отсутствует.

Таблица 2

Геохимическая характеристика разрезов нижнемеловых и юрских отложений Прикумской области Дагестана на глубинах >4,5 км

Площади	Кочубей						Комсомольская					
параметры / возраст	$C_{орг}$ %	ХБ %	β %	Баланс железа %			$C_{орг}$ %	ХБ %	β %	Баланс железа %		
				Окисное	Закисное	Пиритное				Окисное	Закисное	Пиритное
Берриас-валанжин							0,2	0,04	22	2	60	38
Киммеридж-титон							0,05	0,0003-0,006	1-7	2-40	58-90	2-18
Келловей							0,3-1,5	0,04-0,2	3-20	1-12	70-87	10-38
Бат-байос	0,2-2,0	0,015-0,156	2,5-42	30-38	40-60	5-30	0,6-1,8	0,04-0,2	4-10	30-38	60-65	1-10
Аален	0,4-0,6	0,06	2-5	2-5	40-50	45-60						
Тоар	0,1-0,76	0,0025-0,2	<1-22	5-50	50-95	0-40						

Нижнепермские породы (куманская свита) отличаются незначительным содержанием ХБ (<0,005%) и ОВ с низкой степенью битуминозности (β<1), формирование их проходило в условиях преимущественно окисно-сидеритовых фаций (в балансе железа окисное составляет 28-32%, закисное – 64-68%, пиритное – 1-4%). В сланцах карбона повышается содержание $C_{орг}$ (1,4%) и ХБ (0,02%, χ – 1), однако β остается невысокой, в балансе железа преобладает закисное – 90%, окисное составляет 7%, пиритное – 3%, т. е. преобладают сидеритовые фации.

В разрезе Кочубеевской скважины-2 наиболее обогащены органикой и ХБ юрские отложения. Породы кизлярской свиты среднего триаса, отличающиеся, в вышеописанных разрезах, повышенными $C_{орг}$, ХБ и β, здесь характеризуются незначительными величинами этих показателей, за исключением некоторых прослоек с высоким ХБ (0,08%). Повышенная битуминозность пород и ОВ отмечается в отложениях демьяновской свиты нижнего триаса. Отложения триаса, перми и карбона содержат в основном сингенетичные битумоиды, β невысокая (1-5%), иногда отмечаются эпибитумоиды с β – до 20-25%.

В южной части территории геохимические исследования глубокопогруженных горизонтов проведены по скважине Комсомольская, где на глубинах более 4,5км вскрыты нижнемеловые и юрские отложения. В доломитах берриас-валанжина $C_{орг}$ составляет 0,15%, при довольно высоком значении ХБ (0,04%), χ=2, β возрастает до 22%, что свидетельствует об эпигенетиче-

ской природе битумоидов. В балансе железа превалирует закисное (62%) и пиритное (38%.), окисное составляет 2%.

Верхнеюрская сульфатно-карбонатная толща отличается минимальными значениями $C_{орг}$ (0,02-0,03%) и ХБ (не более 0,005%), β изменяется от 1 до 8%, увеличиваясь в подошве свиты, на границе с доломитами оксфорда β в этих отложениях возрастает по сравнению с нижнемеловыми доля окисного железа (до 42%), закисное составляет 56%, пиритное – 2%, т. е. происходит усиление окислительной обстановки. Терригенно-карбонатные отложения верхнего келловея содержат 0,3-0,5% – $C_{орг}$ и 0,04-0,08% – ХБ с χ – 2-8, наиболее восстановленные эпибитумоиды отмечены в алевролитах. При значительном преобладании закисного железа (66-88%) для описываемых пород характерно увеличение пиритного (5-25%) и снижение окисного (2-8%) железа, т. е. – восстановительные условия.

Песчано-глинистые образования нижнего келловея и средней юры наиболее обогащены $C_{орг}$ (0,5-1,96%) при максимальном содержании в глинах байоса, и минимальном – в алевролитах келловея и песчаной пачке – байоса. Количество ХБ очень высокое (0,113-0,2%), несколько уменьшается (до 0,04-0,08%) в глинах песчаной пачки. Битумоид восстановленный (χ – 2-4), однако β не очень высок (4-9%), что свидетельствует о сингенетичности битумоидов вмещающих отложений. Формирование пород происходило преимущественно в восстановительной обстановке.

Преобладающим в балансе железа является закисное (64-72%), пиритное изменяется от 20-24% – в отложениях келловея, до 2-8% – в байосе, окисное составляет 6-10% в келловее, а в байосе его доля в балансе увеличивается до 27-35%. При сохранении восстановительного режима в общем осадконакоплении в бат-байосе происходит некоторое его ослабление по сравнению с келловеем.

Анализ геохимических параметров по разрезу Комсомольской| скважины показывает, что сверху-вниз происходит увеличение $C_{орг}$ и ХБ – от сульфатно-терригенно-карбонатных осадков нижнего мела и верхней юры – к терригенным отложениям келловея, где достигает максимума в породах средней юры. В балансе аутигенно-минералогических форм железа в породах нижнего мела и юры преобладают закисные формы, что свидетельствует о восстановительной или слабовосстановительной среде в условиях сидеритовых, реже – пиритово-сидеритовых или окисно-сидеритовых фаций.

Таким образом, исследование геохимических особенностей отложений по разрезам скважин Прикумской нефтегазоносной области позволяет резюмировать следующее:

Распределение $C_{орг}$, ХБ, β по разрезу, в общем, для рассматриваемой области довольно неравномерно, где сверху-вниз происходит увеличение $C_{орг}$ и ХБ от сульфатно-терригенно-карбонатных осадков нижнего мела-верхней юры к верхне- и среднеюрским песчано-глинистым породам. А в триасовом комплексе минимальной концентрацией $C_{орг}$., χ, ХБ и низкими β характеризуются отложения закумской свиты среднего триаса. Наиболее высоким содержанием РОВ и битумоидов отличаются анизийские глинисто-карбонатные отложения (кизлярская свита) и глинистые породы демьяновской свиты нижнего триаса. В нефтекумской свите в центральной части области наиболее высокие значения $C_{орг}$, ХБ и β приурочены к глинистым отложениям, в карбонатах $C_{орг}$ уменьшается, β увеличивается, свидетельствуя о присутствии большого количества (0,02-0,04%) эпибитумоидов. Отложения куманской свиты нижней перми отличаются незначительным содержанием ХБ (0,005%) и ОВ с низкой степенью битуминозности. В сланцах карбона повышается содержание $C_{орг}$ и ХБ при невысокой степени битуминозности ОВ. По разрезу триасовых отложений происходит наиболее значительное изменение таких показателей как ХБ и β, содержание $C_{орг}$ – более постоянно. В ряде случаев отмечается повышение битуминозности пород на границах стратиграфических подразделений (Кочубей-2 – известняки кизлярской свиты на границе с юрой и нижним триасом; Дахадаевская-9 – породы култайской свиты на границе с куманской свитой; Кумухская – известняки нефтекумской свиты на границе с карбоном).

Литература

1. Мирзоев Д.А., Пирбудагов В. М., Джапаридзе Л. И. Геохимические показатели нефтегазоносности мезозойских отложений Восточного Кавказа и Предкавказья. Нефтегазоносность мезозойских отложений Кавказа, Махачкала, 1986, с. 53-60.
2. Флоровская В.Н. Люминесцентно-битуминологический метод в нефтяной геологии, Изд-во МГУ, 1957.
3. Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород. Л., «Недра». 1966.
4. Шоломинская Л.Ф., Аболенцева Т.Т., Мелашенко В.Г. Результаты люминесцентно-битуминологических исследований мезозойских отложений района Русского Хутора. Труды Института геологии. г. Махачкала, Вып.6, 1966.
5. Глебовская Е.А., Иванцова В.В., Бабинкова Н.Н. и др. Эталоны ИК-спектров поглощения битумоидов для диагностики стадий метаморфизма органического вещества пород и углей// Тр. ВНИГРИ, 1974, Вып.353. С.28-34.

УДК 551.24

КОНТРОЛЬ И ПРОГНОЗ ОПАСНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЛОТИН.

Марчук А.Н., Марчук Н.А.
Институт физики земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Работа посвящена научным исследованиям, по прогнозу опасных геодинамических процессов с помощью измерительных систем плотин. Высокая степень изученности геологических, сейсмотектонических условий в районах створов гидроузлов, большое количество возбужденных и природных землетрясений, длинные временные ряды штатных наблюдений, резонирующая роль высокоградиентных напряжений и напора позволяют установить зависимости между величиной сильных предвестников, параметрами ожидаемого землетрясения и прогнозным временем события.

Ключевые слова: геодинамические процессы, измерительные системы, прогноз, плотины, опасные геологические процессы.

MONITORING AND FORECAST OF DANGEROUS GEODYNAMIC PROCESSES USING MEASUREMENT SYSTEMS OF DAMS

Marchuk A.N., Marchuk N.A.
Institute of physics of the earth. O. Y. Schmidt, RAS

The work is dedicated to scientific research, according to the forecast of dangerous geodynamic processes using measurement systems of dams. High degree of knowledge of the geological, seismotectonic conditions in the areas of the sections of the waterworks, a large number of excited and natural earthquakes, long time series of regular observations, resonating the role of high-gradient stress and pressure allow you to set the relationship between the strong precursors, para-meters of the expected earthquake and the predicted time of the event.

Key words: geodynamic processes, measurement systems, forecast, dams, hazardous geological processes.

1. Цели и задачи

Работа выполняется с 1992 года по инициативе академика Н.П. Лаверова и имеет две цели:

- изучить особенности взаимодействия компонентов природно-технической системы «плотина-основание-водохранилище» с точки зрения геодинамической безопасности больших гидроузлов и территорий;

- создать практические методы краткосрочного прогноза землетрясений с использованием метрологических возможностей измерительных систем плотин.

Почти все высоконапорные плотины СССР и РФ расположены в сейсмоопасных регионах, как правило, встроены в разломы, в локальные поля тектонических напряжений и представляют собой объекты высокой ответственности и уникальные геофизические полигоны.

Нарынский каскад ГЭС иллюстрирует отношения гидроузлов с разломами. Существует мнение о непричастности Токтогульского водохранилища к Сусамырскому землетрясению. Но есть вопросы: почему вместо 500 лет повторяемости по Крестникову и Нерсесову между Чаткальским 1946 г. и Сусамырским 1992 г. землетрясениями прошло 46 лет? Почему эпицентр Сусамырского землетрясения расположен на северном борту Таласо-Ферганского разлома, считавшегося асейсмичным? Белые пароводяные фонтаны, наблюдавшиеся при толчке, возможны только под влиянием водохранилища.

Степень сейсмической опасности для ГЭС определял ИФЗ РАН и каждый раз с увеличением, при этом наука остается непорочной. Вместе с тем, фактически измеренные напряжения в плотинах существенно превышают расчетные. Это значит, что мы не умеем считать или существуют неучтенные нагрузки. Карта ОСР-97 усугубляет ситуацию. Разница между фактическими и расчетными напряжениями есть цифровое выражение геодинамического влияния. К этому превышению надо прибавить еще напряжения от максимального расчетного землетрясения (МРЗ) по карте ОСР-97. Гидропроект, группа А.И.Савича, пересчитала наиболее напряженные плотины. С учетом имеющихся советских запасов прочности, сооружения выдерживают повышенные нагрузки, однако некоторые – на пределе прочности.

Натурные наблюдения показывают их непроектное состояние:

Максимальные арочные σ_a и распорные σ_z напряжения сжатия в статически неопределимых высоконапорных бетонных плотинах по расчету и фактически для основного сочетания нагрузок.

Плотина	σ_a, σ_z, МПа		Локализация σ_{max}	
	По расчету	Измерено	По расчету	Фактически
Ингурская	9,29	15,0	В ключе ВГ	В нижней части правобережной трети НГ
Чиркейская	7,90	12,5	В ключе ВГ в средней части по высоте	В нижней части левобережной секции на НГ
Саяно-Шушенская	7,20	15 – 18	Пригребневая часть ВГ	В береговых секциях НГ
Миатлинская	1,69	7 – 11	В ключе ВГ	В нижней трети всей плотины
Токтогульская	2,4	3,8	У основания	Левый берег в пределах призмы сработки
Зейская	0	17	-	В напорных оголовках
Курпсайская	3,5	до 11,5	На НГ	ВГ центральных секций

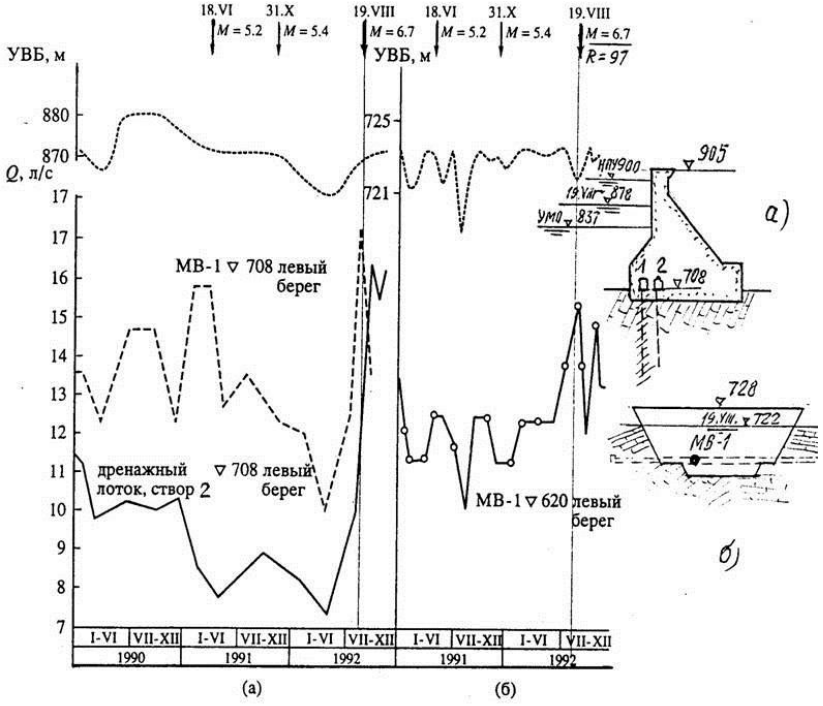
ВГ- верховая грань, НГ- низовая грань

Например, контрфорсная плотина Зейской ГЭС с водохранилищем 68.5 куб. км, высотой 115 м, запроектированная на 6 баллов, при одном ударе МРЗ в 9 баллов сохраняет напорный фронт, но с развитой трещиноватостью. Гидроузел расположен на границе двух геоблоков – опускающейся Амуро-Зейской впадины и воздымающихся хребтов Тукурингра-Соктохан – уже имеет напряжения в пять раз выше расчетных. Активные разломы низших порядков вызывают в основании блоковые движения, а сейсмические нагрузки имеют вектор вдоль створа, крайне нежелательный для контрфорсной плотины. Здесь же наблюдаются катастрофические паводки, во время которых сейсмичность резко повышается, как показал опыт 2011-2013 гг. С помощью ИФЗ (Николаев, Башилов) на плотине в 1997 г. поставлены первые сейсмометры.

Проектировщики Чиркейской арочной плотины высотой 220 м, встроенной в Сулакский разлом, предположили, что плотные глинистые прослойки в карбонатных сланцах будут скреплять основание «как арматура» и повысили расчетные параметры сопротивления сдвигу против полученных в опытах. Получилось ровно наоборот – по увлажненным прослойкам образовался оползнеопасный склон со стороны более высокого левого берега над зданием ГЭС. Сейсмопросвечиванием (Савич) выявлено переформирование напряжений от крипа с левого берега с соответствующей депланацией арки.

Развитая система дренажа плотины со штольнями, сетью дренажных скважин и пьезометров предоставляет широкие возможности контроля поля напряжений в основании по ГГД-предвестникам. Пример – предвестники Сусамырского землетрясения на двух плотинах Нарынского каскада – Токтогульской и Курпсайской ГЭС, встроенных в Нарыно-Чичканский разлом. Здесь в сентябре 1992 г. нам удалось впервые предсказать афтершок М=5.3 по аналогу из временного ряда за 25 суток до толчка.

Инструментами контроля НДС плотин и оснований служат также струнные телетензометры, отвесы прямые и обратные (сдвигомеры), гидростатические нивелиры, щелемеры, которые легко автоматизируются, геохимические и температурные измерения, геодезические наблюдения в створах и на разломах. Чувствительность телетензометров проверена на Саяно-Шушенской плотине, где наблюдатели не учитывали сейсмособытия дневного времени, считая их взрывами. В действительности в наиболее чувствительных зонах плотины, например её 18 секции, за которой расположен аварийный блок №2, фиксируются все динамические воздействия.



Изменения фильтрационных расходов в мерном водосливе №1 и дренажном лотке створа №2 левого берега Токтогульской плотины (а) и в мерном водосливе №1 левого берега Курпсайской плотины (б) в период Сусамырского землетрясения 19 августа 1992 г. Толчки с М=5,2 не показаны.

На плотинах хорошо известны наиболее информативные периоды наблюдений, во время которых можно калибровать датчики, используя многочисленность толчков разной энергии и величины предвестников.

Под влиянием наших исследований в Дагестане на базе 28 ГЭС «РусГИДРО» планирует создать республиканскую систему контроля сейсмологической обстановки и раннего предупреждения сейсмической опасности.

2. Роль медленных движений

Медленные движения проявляются после наполнения водохранилища и могут быть не менее опасны, чем землетрясения – это оползни и обрушения, как например, в нижнем бъефе правобережного примыкания Чиркейской плотины в 1991 г.

Водохранилища активизируют ближайшие разломы и тектонические нарушения. Они могут вызвать образование новых разломов, как это наблюдается в ложе Братского водохранилища. К сожалению, наблюдаются разломы неудовлетворительно. Разлом Калудалкал в 500 м ниже Чиркейской ГЭС по рекомендации ВНИИГ контролируется раз в 5 лет. Ежегодный контроль для исследований ИФЗ обнаружил среднюю скорость обратимых подвижек 14-15 мм\год

под влиянием сейсмотектонической активности. В августе 2008 г. подвижки вдруг остановились, наступила консолидация, грозящая срывом напряжений. Проверка ситуации с выездом на место по другим предвестникам позволила предсказать Курчалойское землетрясение 11.10.08 г. М=5.6. Аналогичная остановка в разломе произошла и в 2015 г., синхронная с началом подвижки в Сулакском разломе. Это может означать подготовку сильного землетрясения.

Ближайший к СШГЭС Кантегирский разлом с потенциалом М=5 контролируется редко и неудачно по подвижкам оперяющего разлома на одном борту. Тем не менее, наибольшие подвижки связаны с сильными сейсмическими событиями – Красноярским, Горно-Алтайским и Тувинскими землетрясениями. Только с помощью систематических наблюдений за разломом, накопив надежную статистику, можно составить среднесрочный прогноз МРЗ.

Дислокация диоритов в правобережном примыкании Зейской плотины с наклоном к водохранилищу под 45-70 градусов вызвала подвижки береговых секций в сторону водохранилища и трещинообразование на низовой грани. С учетом максимальных расходов фильтрации по правому берегу, следует считать наиболее опасным при МРЗ правобережное примыкание плотины.

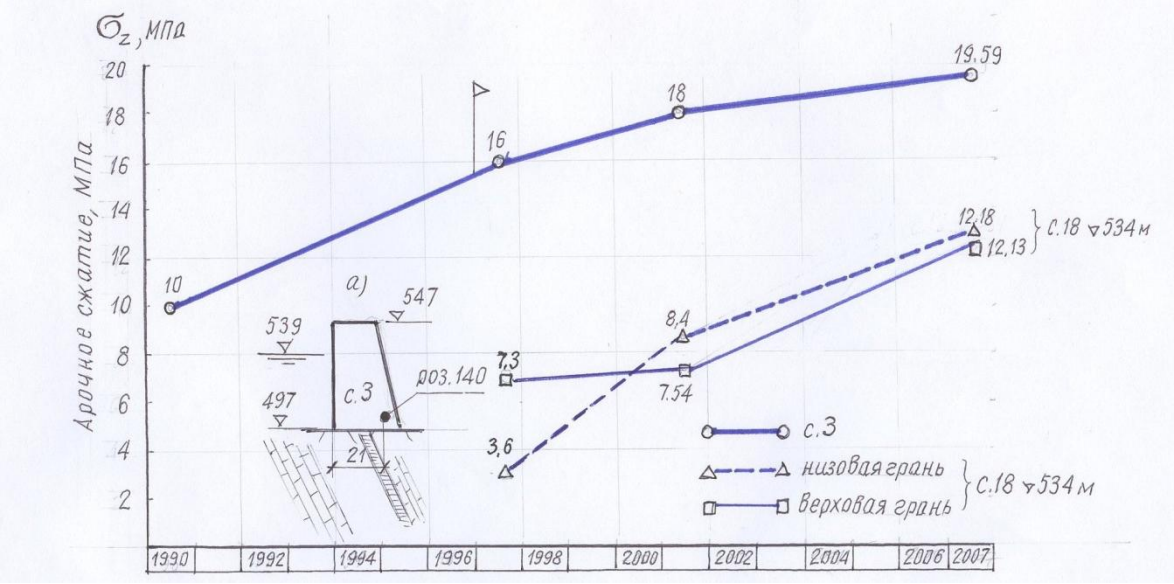
Крип со стороны левобережного откоса над зданием Чиркейской ГЭС контролируется трехосным щелемером на трещине в подпорной стенке. Из-за этого крипа 90% фильтрации идет по правому берегу, ослабляя правобережное примыкание. Сейсмограммы Грузино-Дагестанского землетрясения 17.09.13 г., записанные на плотине и в штольнях, (Н.К.Капустян) подтверждают это и позволяют судить о возможных смещениях плотины при МРЗ по сопоставлению максимальных амплитуд сейсмограмм по всем трем координатным осям. В зоне потенциальной опасности для Чиркейской плотины находится правобережное примыкание с шахтой лифта, зданием сейсмослужбы и геодезии, площадка ОРУ, о чем РусГИДРО предупреждено.

В 10 км ниже ЧГЭС расположена плотина Миатлинской ГЭС, на которую движется оползень объемом 3 млн.куб.м. Он прошел уже от 7 до 30 м, его скорость зависит от сейсмической активности и количества осадков. Обратный отвес в основании Миатлинской ГЭС с августа 2015 г. показывает аномальный наклон плотины в верхний бъеф и с июля 2015 г. подвижки в основании вдоль Сулакского разлома, синхронные со сжатием в поперечном разломе Калудалкал.

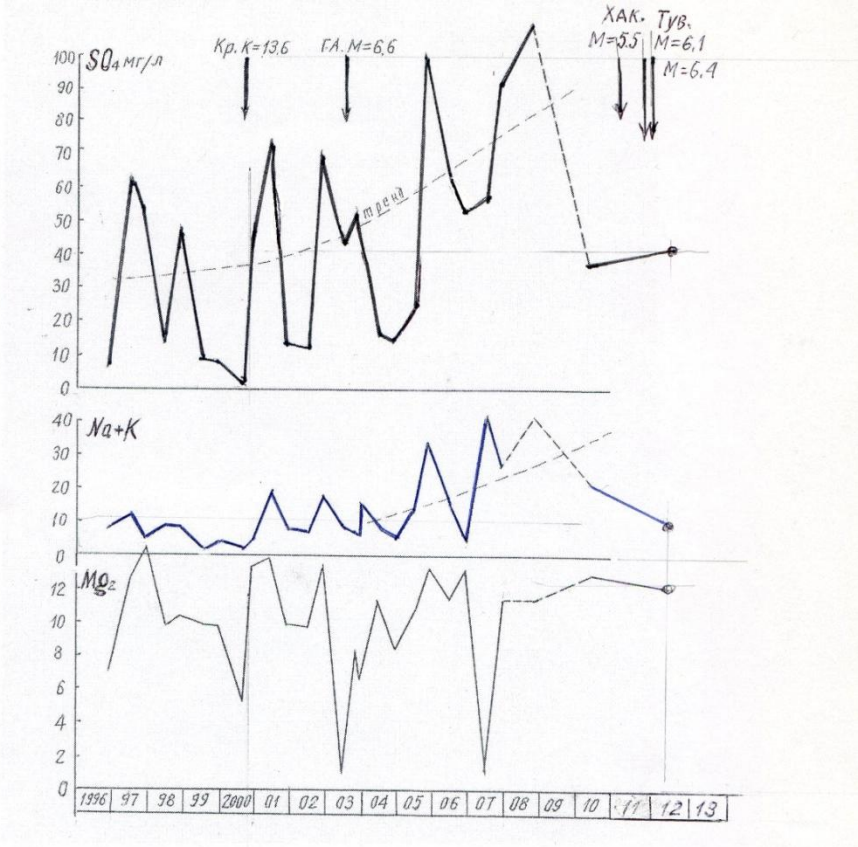
3. Геодинамические аспекты катастрофы на СШГЭС

СШГЭС проектировалась при слабой изученности сейсмотектоники Западного Саяна. В 1963-65 гг. там работали Масарский и Рейснер (ИФЗ), Зятькова из СО РАН. Их заключения были спокойными, поэтому в проекте, составленном на 7 баллов указано, что «заметных неотектонических движений нет», хотя при изысканиях отмечались подвижки 10 в минус пятой и даже четвертой степени. В последнее двадцатилетие здесь произошло 7 сильных землетрясений, самое близкое – Хакасское 10.11.2011г. М=5.6. Арочно-гравитационная плотина высотой 245 м держит водохранилище объемом более 30 куб. км и расположена в зоне Джебашско-Джойского антиклинория, сложно построенного горного сооружения, на крутопадающих метаморфизированных сланцах, прорванных интрузией гранитов. Контактный слой не определен. В русле проходит разрывное нарушение по литологической границе орто- и парасланцев. При изысканиях МГУ (Золотарев, Кутепов) определили высокий уровень собственных горизонтальных тектонических напряжений - 20 -30 МПа с вектором сжатия нормально к руслу (Глазков), которые с возникновением водохранилища стали разгружаться в плотину, увеличив расчетные напряжения к 2000 году в два раза.

График увеличения арочных напряжений в секциях №3 и №18 плотины Саяно-Шушенской ГЭС под влиянием разгрузки горизонтальных тектонических напряжений



Работу плотины осложнила недооценка роли руслового разрывного нарушения, где деформативность оказалась в три раза ниже среднего по основанию. При интенсивном наполнении водохранилища со скоростью 2 м\сут (до 90 м за сезон) жестко омоноличенное сооружение не могло следовать за неравномерной осадкой основания от веса воды. Образовалась контактная трещина на длине до 70 м под сооружение. Повышенная фильтрация в основании вызывает химическую суффозию и процесс его разуплотнения.



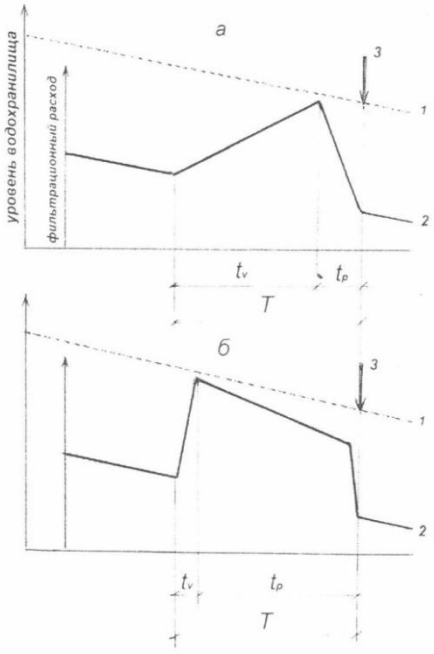
Вариации содержания ионов химического вещества в пробах дренажных вод в основании секций 16, 17 и 18.

Жестко заделанные в низовую грань плотины напорные трубопроводы передают напряжения от изгиба плотины на блоки здания ГЭС. В основании аварийного блока гидроагрегата №2 проходит тектоническое нарушение с повышенной деформативностью, что всегда вызывало высокую вибрацию гидроагрегата. Авария произошла не случайно в августе, когда достигнут проектный уровень водохранилища и открывались водосбросы. В этот момент возникает импульс упругого отпора со стороны береговых примыканий, вызывающий гидравлическое возмущение в трубе. Этот момент отмечен сокращением длин хорд плотины, пьезометрами, дебитом дрен и сейсмостанцией «Черемушки». Упругий отпор – триггер, изменения напора в водоводе – авария. Характерно, что после аварии изменился тренд верхних хорд плотины, на что повлияло также строительство берегового водосброса (БВС), снизившее горизонтальные тектонические напряжения сжатия со стороны правого берега.

БВС, расположенный между правобережным примыканием плотины и Кантегирским разломом, представляет потенциальный источник вибрационного влияния и на разлом и на правобережное крыло плотины и нуждается в тщательном контроле при работе.

4. Краткосрочный прогноз землетрясений с помощью измерительных систем плотин

Запатентованный автором способ прогноза землетрясений отличается тем, что вариации геофизических полей исследуются не с поверхности, а изнутри крупных геоблоков, вмещающих гидроузел, с высокими градиентами напоров и напряжений, с большим количеством сейсмособытий и многофункциональных приборов. За 20 лет работы ИФЗ на плотинах обучен персонал групп мониторинга распознаванию предвестников. Но мало выделить предвестник, надо знать, что с ним делать. Предвестник – это не одномоментный сигнал, а процесс. Мы предложили метод отсчета прогнозного времени от момента пикового значения графика ГГД-предвестника в зависимости от его величины, прямо связанной с энергией ожидаемого землетрясения. Пик – это начало дилатансии, после чего наступает срыв напряжений, толчок. Период дилатансии и есть прогнозное время. Оно определяется по графикам, по аналогам из временного ряда или по скорости дилатансии.



Два типа графических схем ГГД-предвестников в фильтрационном режиме оснований больших плотин:
а – с постепенным развитием предвестника;
б – скачкообразное проявление предвестника;
1 – уровень водохранилища, 2 – график ГГД-предвестника, 3 – ожидаемое землетрясение

Анализ подготовительного периода всех перенесенных СШГЭС землетрясений позволил построить график зависимости прогнозного времени от энергии ожидаемого землетрясения. Так, за 22 суток до Хакасского землетрясения наблюдатели ГЭС отметили аномальный излив дренажных скважин, зафиксировали предвестники Тувинских землетрясений.

Наиболее интересные результаты получила группа мониторинга Бурейской ГЭС. В основании – диориты, разновысокие берега, на правом берегу небольшой разлом, в русле несколько тектонических нарушений. В 2006 и 2007 гг. автоматизированные пьезометры с дискретностью 2 сек. зафиксировали Курильские землетрясения на расстоянии 1600 км. Более того, за 95-140 суток до землетрясения Тахоку и Фукусимского цунами все пьезометры, фильтрационные расходы и обратные отвесы в основании плотины показали сильные аномалии. Расстояние 1800 км. Южносахалинские сейсмологи объясняют такую чувствительность приборов Бурейской ГЭС наличием близкой Танлу-Охотской рифтовой зоны. Это значит, что предлагаемый метод прогноза имеет не региональное значение.

Попытка обобщить графики связи для четырех высоких плотин показала, что все они индивидуальны и зависят от прочности пород оснований. Самые короткоживущие предвестники характерны для слабых сланцевых карбонатных пород Чиркея, самые длительные – для прочных изверженных пород Зеи и Буреи.

График связи прогнозного времени с энергией землетрясений для СШГЭС сравнительно с такими же графиками для Чиркейской, Бурейской и Зейской ГЭС

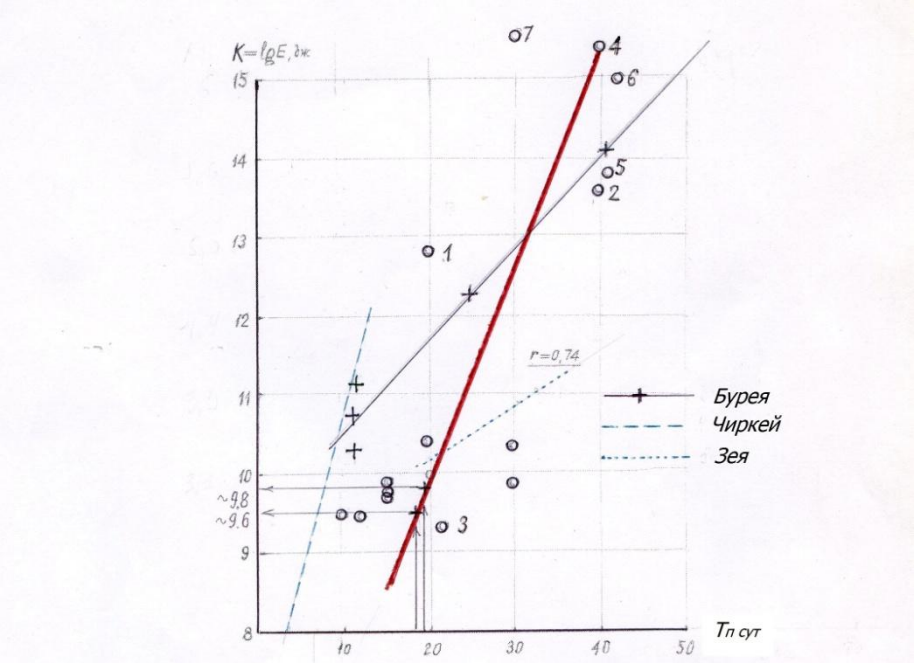


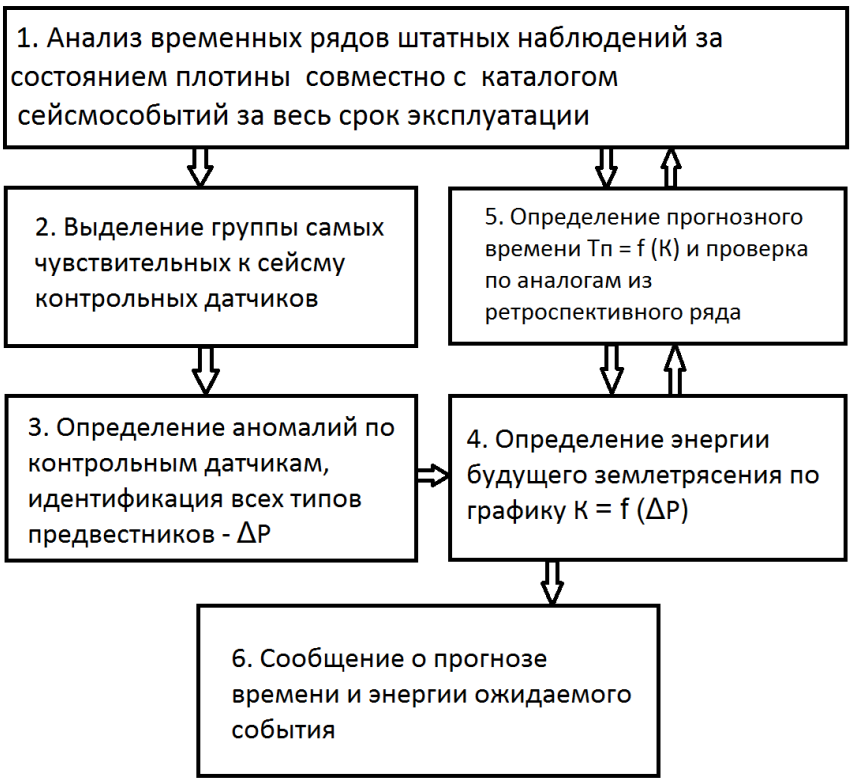
График зависимости прогнозного времени Tп от энергии землетрясений в районе створа СШГЭС.

1. ***Шагонарское К=12,9***
2. ***Красноярское К=13,6***
3. ***Ермаковское К=9,4***
4. ***Горно-Алтайское К=15,4***
5. ***Хакасское К=13,9***
6. ***Тывинское К=15***
7. ***Тывинское К=15,6***

Систематизация опыта экспериментальных прогнозов землетрясений на Токтогульской, Курпсайской, Чиркейской и Саяно-Шушенской ГЭС позволила составить алгоритм краткосрочного прогнозирования сейсмической опасности с помощью измерительных систем плотин. Актуальность этой методики заключается в необходимости своевременной подготовке мероприятий по минимизации ущербов на гидроузлах и прилегающих территорий в нижнем бъефе.

АЛГОРИТМ прогноза землетрясений с помощью измерительных систем плотин

Цифрами обозначена очерёдность операции



Выводы:

- Настоящая тема научных исследований возникла в связи с вводом в действие карты ОСР-97, имеет прикладное (безопасность плотин) и фундаментальное значение по проблеме краткосрочного прогноза землетрясений.
- Большие бетонные плотины (Н≥100 м), встроенные в русла рек, как в разломы или вблизи разломов, оснащенные большим количеством многофункциональных приборов, являются эффективными геофизическими полигонами для идентификации комплекса предвестников землетрясений и неотектонических движений как аномалий на фоне известных зависимостей измеряемых параметров от УВБ.
- Высокая степень изученности геологических, сейсмотектонических условий в районах створов гидроузлов, большое количество возбужденных и природных землетрясений, длинные временные ряды штатных наблюдений, резонирующая роль высокоградиентных напряжений и напора позволяют установить зависимости между величиной сильных предвестников, параметрами ожидаемого землетрясения и прогнозным временем события.
- Для достижения прогностических целей, необходимо продолжить тему, автоматизировать действующие измерительные системы плотин до режима работы, близкого к реальному времени и включить их в общую прогностическую сеть страны.

УДК 55.531.35

ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАРБОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

Гусейханов С.М., Черкашин В.И., Юсупов А.Р.
Институт геологии ДНЦ РАН

В данной статье изложены новые взгляды на формирование карбонатных комплексов Большого Кавказа на примере анализа их взаимоотношений с подстилающими терригенными отложениями нижней-средней юры и их приуроченность к строго определённым частям складчатого сооружения Большого Кавказа. Впервые показано, что карбонатные комплексы верхней юры – мела образовались вокруг зародившейся при коллизионных процессах островной суши, напротив современного Центрального Кавказа, в мелководном морском бассейне, который постепенно в связи с усилением коллизионных процессов отступал к северо-западу и юго-востоку, а также к северо-востоку и юго-западу. При этом в прибрежной полосе формировались органогенно-обломочные известняки, которые к северо-востоку и юго-западу менялись более глубоководными разностями. Формирование современной складчатой структуры и рудогенетические процессы на Восточном Кавказе в пределах Дагестана связаны со складкообразовательными процессами коллизионной природы постмелового возраста.

Ключевые слова: Центральный, Юго-Восточный Кавказ, Малый Кавказ, антиклинории Главного и Бокового Кавказского хребтов, карбонатные комплексы, окраинное море, складкообразовательные и рудогенетические процессы, рамповая складка.

PALEORECONSTRUCTION GEODYNAMIC PROCESSES OF CARBONATE COMPLEXES OF SOUTH-EASTERN CAUCASUS

Guseinov S. M., Cherkashin V. I., Yusupov R. A.
Institute of Geology Dagestan scientific center of RAS

In this paper, new views on the formation of carbonate complexes of the greater Caucasus on the example of analysis of their interaction with the underlying clastic sediments of the lower-her-middle Jurassic and their attachment to strictly certain parts of folded structures of the greater Caucasus. It was shown that carbonate complexes of the upper Jurassic – Cretaceous formed around originated in the collision processes island of land, opposite the present Central Caucasus, in the shallow sea basin, which gradually increased to collisional processes retreated to the North-West and South-East and North-East and South-West. While in the coastal strip was formed organogenic-clastic limestones, which to the North-East and South-West has varied over deep differences. The modern formation of folded structures and radiogenetic processes in the Eastern Caucasus within Dagestan are connected with sladkovato-tive collisional processes of nature postmessage age.

Keywords: Central, South-Eastern Caucasus, the lesser Caucasus, anticlinoria Main and Lateral Caucasian ridges, carbonate complexes, marginal sea, and skladkoobrazovaniem radiogenetic processes, the ramp folds.

Карбонатные комплексы верхнеюрско-мелового возраста на Юго-Восточном Кавказе слагают массивы гор Шалбуздаг, Шахдаг, Кизил-Кая, которые приурочены к северному крылу в присводовой части антиклинория Бокового Кавказского Хребта (БКХ) и массива горы Гестинкиль, расположенного к ССВ от горы Шалбуздаг. В структурном плане первые три приурочены к антиклинорию БКХ в его Восточной части, а гора Гестинкиль находится в 18 км северо-восточнее горы Шалбуздаг. Наивысшими точками Восточного Кавказа в юго-восточной части Горного Дагестана в БКХ являются массивы гор Шалбуздаг и Шахдаг, приуроченные к северному крылу антиклинория Бокового Кавказского хребта. Гора Шалбуздаг находится на территории Республики Дагестан, а массив горы Шахдаг почти целиком находится на территории Республики Азербайджан, и лишь небольшая её северо-западная часть располагается на территории Дагестана. Карбонатные комплексы вдоль БКХ в юго-восточном направлении прослеживаются до середины расстояния между городом Лагич и берегом Каспийского моря на территории Азербайджана, и далее огибая юго-восточную периклинальную часть антиклинория Главного Кавказского хребта (ГКХ) переходят на его юго-западный склон. (*Считается, что вдоль осевой части Большого Кавказа карбонатные комплексы эродировались и к настоящему времени не сохранились).*

Формирование карбонатных комплексов верхнеюрско-мелового возраста на Большом Кавказе происходило в неглубоководном морском бассейне, вокруг вышедшего из-под уровня

моря горного массива. Этот массив вначале сформировался в области современного Центрального Кавказа и в дальнейшем постепенно «разрастался» в сторону северо-запада и юго-востока, что связано с опережением коллизионных процессов в этой части Большого Кавказа, с которыми в свою очередь связаны складкообразовательные процессы. Складчатые структуры Восточного Кавказа, относительно структур Центрального Кавказа более позднего происхождения, связаны с миграцией коллизионных процессов к юго-востоку и рудогенетическими процессами. Граница этого бассейна, на территории Дагестана в верхнеюрско-среднеюрское время, проходила примерно вдоль северо-восточной границы так называемого «Дагестанского клина» до селения Сардаркент (бассейн реки Чирахчай), и далее шла по линии селение Кабир и северо-западнее гор Гестинкиль, Шалбуздаг. От горы Шалбуздаг береговая линия среднеюрско-верхнеюрского моря проходила по линии юго-западных склонов гор Шалбуздаг, Шахдаг, Кизил-Кая к юго-востоку (северо-восточные присводовые части антиклинория БКХ) и далее на половине расстояния между городом Лагич - берег Каспия (через город Сиазань) на территории республики Азербайджан, где подковообразно огибала юго-восточную периклинальную часть горной системы и переходила на её юго-западный склон. С юго-запада берег моря ограничивался северо-восточными отрогами Малого Кавказа.

Формирование терригенных отложений нижне-среднеюрского возрастов до верхнеюрского времени происходило в приуроченном к южному склону Скифской плиты (севернее Малого Кавказа) окраинном море. Северо-восточный берег окраинного моря в байосское время проходил на широте селения Кабир Курахского района Республики Дагестан. Этот вывод сделан на основании выявленных здесь конгломератов перемешанных с галькой изверженных и метаморфических пород [2], которые, как мы считаем, формировались вдоль побережья моря в его пляжной зоне. Отсутствие байосских отложений на горе Шалбуздаг [6], контакт между верхней и средней юрой через базальные конгломераты на горе Гестинкиль (определен при съёмочных работах в 1980 году) свидетельствуют о том, что окраинное море, где происходило формирование терригенно-глинистых комплексов нижней-средней юры, просуществовало до байосского времени. К этому времени и в юго-восточной части современного Горного Дагестана несколько юго-западнее меридиана гор Шалбуздаг, Шахдаг сформировалась антиклиналь (БКХ), северо-восточнее которой обособилось внутриконтинентальное море, где в более мелководной среде образовались карбонатные комплексы верхней юры-мела, формирование которых происходило с постепенным смещением (регрессией) южного берега, внутриконтинентального моря к северу.

Образование глубоководных терригенно-глинистых отложений на Большом Кавказе происходило в окраинном море и в его восточной части продолжалось до байосского времени. Этот процесс сопровождался одновременными с ним излияниями магмы на морское дно и постепенной миграцией этих процессов к юго-востоку, а также размыву вулканогенно-осадочных комплексов в северо-западных и переотложению их в юго–восточных частях. Это было обусловлено опережением субдукционных процессов между Аравийской и Скифской плитами на меридиане рек Кура-Риони, что связано с остриём Аравийской плиты, находящейся напротив Центрального Кавказа, что привело к опережению по времени всех геологических процессов в области Центрального Кавказа, их постепенной миграции к северо-западу и юго-востоку по мере усиления субдукционных процессов. Это доказывается наличием в Горном Дагестане серий омолаживающихся к юго-востоку горизонтов эффузивов, туфолав, серий подводящих к ним даек. Анализ площадного распространения конгломератов состоящих из разной степени окатанных обломков изверженных [2] и терригенных [7] пород, присутствующих вдоль всего Горного Дагестана от юго-востока до северо-востока, показал, что они как в плане, так и в разрезах приурочены к единой структурной линии. Увеличение степени окатанности обломков конгломератов к юго-востоку и наличие довольно крупных ксенолитов конгломератов в нижне-среднеюрских песчаниках в юго-восточной части Дагестана, приуроченность конгломератового слоя к единой структурной линии, омоложение этого горизонта в северо-западном направлении (доказывается фаунистическими находками в конгломератах) показывают, что

они сформировались вдоль мигрировавшейся к юго-востоку и к северо-востоку береговой линии окраинного моря. Решающую роль при их образовании сыграл юго-восточный снос продуктов эрозии из северо-западных частей, где субдукционные и обусловленные им коллизионные процессы опережали как таковые в юго-восточной части Горного Дагестана, что и обуславливал снос продуктов эрозии в этом направлении. Об этом свидетельствуют и выявленные в юго-восточной части Горного Дагестана терригенные отложения турбидитной природы среднеюрского возраста, связанные с подводными течениями [5].

Анализируя морфологические особенности складок в северном склоне ГКХ, в рудоносной зоне месторождения Кизил-Дере и в Боковом хребте, ещё в 80–х годах прошлого века было выяснено, что они образованы тангенциально сжимающими усилиями северо-восточного направления [2,3]. Однако к тому времени не была ясна природа этих усилий, которые к настоящему времени хорошо объясняются коллизионными процессами при субдукции Аравийской плиты под Скифскую, с которыми связывают формирование складчатых структур Кавказа [1].

В связи с почти полной перекрытостью контактовой части карбонатных комплексов верхней юры-мела и терригенных отложений нижней, средней юры современными четвертичными отложениями, изучение структурных соотношений между терригенными и карбонатными комплексами в пределах Горного Дагестана задача весьма сложная, а иногда может привести к ложным выводам. Так, например, в области Каладжухского седла съёмщиками был сделан ложный вывод о том, что выше этого «седла» карбонатные комплексы верхней юры-мела изогнуты в антиклинальную складку, а в подстилающих терригенных отложениях нижней и средней юры это якобы не выражена. Однако по юго-восточному склону этого «седла» в пределах Республики Азербайджан, чётко дешифрируется конформное залегание обоих комплексов (рис.1). Отсюда видно, что карбонатные комплексы гор Шалбуздаг, Шахдаг, а также горы Гестинкиль верхнеюрского возраста имеют в целом северо-восточные падения.

Следует отметить также и выявленный, при геолого-съёмочных работах, факт отсутствия рифовых известняков (олистостромы, конгломерато-брекчии) в карбонатных комплексах массива горы Шахдаг, севернее Каладжухского «седла», которые имеют широкое развитие в северном склоне антиклинория БКХ между Каладжухским и Сельдинским «седлами». Все это можно объяснить тем, что они были образованы в неглубокой примыкавшей к сводовой части антиклинория БКХ морском бассейне, глубина которого увеличивалась к северо-востоку и в связи с этим фациально сменялись более глубоководными отложениями. Рифогенные известняки нижнего мела массива горы Шахдаг мы связываем с миграцией юго-восточной периклинальной части раннего горного массива к юго-востоку.

Развитие карбонатных комплексов вдоль южного и северного склонов Большого Кавказа, обрамление ими его юго-восточной части, регрессивное залегание карбонатных комплексов верхней юры-мела на подстилающие их терригенные отложения юры, широкое развитие вдоль их контактов олистостором позволяют говорить что их отсутствие вдоль Большого Кавказа связано не с их эрозией, а с развитием этой части в эрозионном режиме, в период образования карбонатных комплексов.

Судя по отсутствию нижнебайосских отложений на горе Шалбуздаг [6], резкой разнице абсолютных высот древней береговой линии байосс-батского моря фиксированной при геолого-съёмочных работах наличием конгломератовых слоев на южном склоне горы Шалбуздаг на высоте 3500 м и северо-восточнее от них в окрестностях сел. Кабир на высоте 950 м над уровнем моря [2], формирование антиклинали БКХ происходило по геологическим меркам, за очень короткий период времени, которое послужило юго-западной границей морского бассейна, где образовались карбонатные комплексы северного склона Большого Кавказа.

Как видно из рисунка 1, карбонатные комплексы горы Шахдаг с северо-востока ограничены Каладжухским, с юго-запада Сельдинским «сёдлами» и изогнуты в осложнённую складками (синклиналь) более высокого порядка опрокинутыми на северо-восток. Мелкие, более высокого порядка складки - результат «продольных укорочений» при послойных срывах. При этом верхние части относительно нижних смещались к северо-востоку.

Формирование БКХ в восточном сегменте завершилось в байосе. С этим связано образование плато гор Сельды и Ярудаг, которые по сути являются разными частями рамповой складки, формировавшейся в результате северо-восточного давления со стороны северного края антиклинория ГКХ. Плато горы Ярудаг ступенчато возвышается над плато горы Сельды, которое расположено севернее него и представляет собой плоскость послойного срыва верхней части относительно нижнего. Он сложен рифовыми известняками, доломитами, брекчие-конгломератами оксфорд-кимеридж-титонских ярусов верхней юры, согласно перекрытых известковистыми песчаниками, гравелитистыми, песчанистыми известняками, мергелистыми и алевритистыми аргиллитами нижнего мела, слагающими верхнюю часть массива горы Шахдаг.

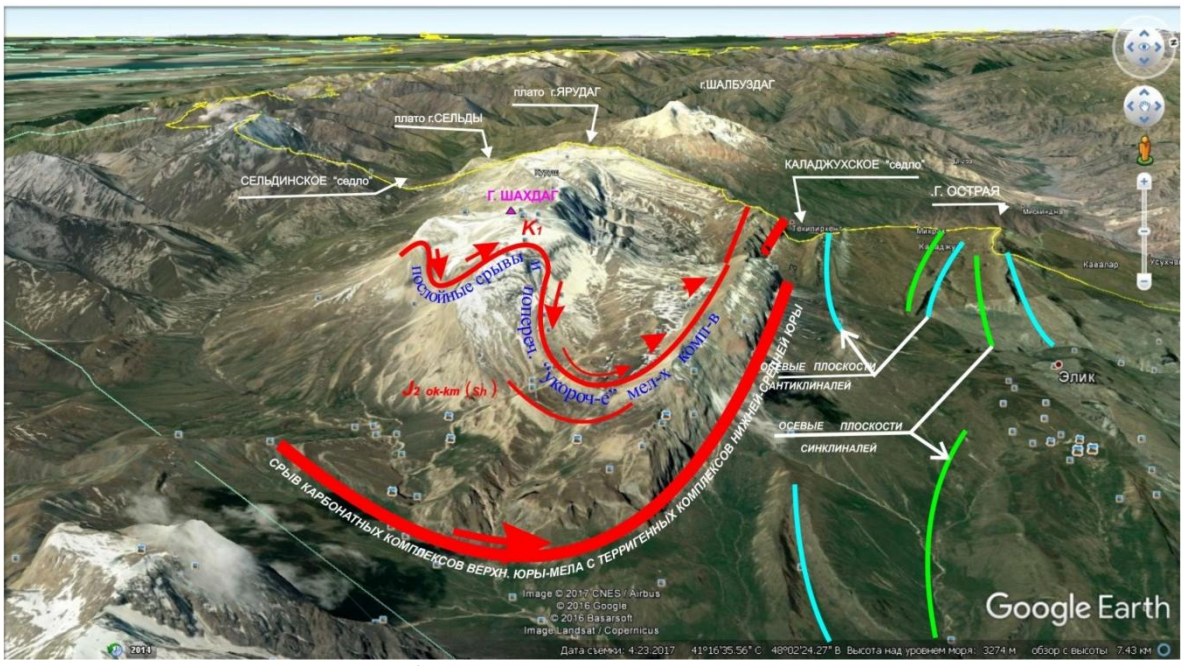


Рис.1. Геологическое строение горы Шахдаг

Геодинамические процессы формирования антиклинория Главного Кавказского хребта здесь не рассматриваются. Отметим лишь то, что антиклинорий ГКХ в юго-восточной части Большого Кавказа представляет собой выжатая к верху часть аккреционной призмы Большого Кавказа, обусловленной поперечным укорочением альпинотипной субдукцией, Главным Кавказским надвигом, проходящим в области сочленения карбонатных комплексов верхней юры-мела и терригенных отложений нижней-средней юры на южном склоне антиклинория ГКХ. Северной границей антиклинория ГКХ следует считать Даличайский северный разлом, по которому южная часть аккреционной призмы Большого Кавказа надвинута на северную. Величина надвигания по нему обуславливает сегментарное строение юго-восточной части Горного Дагестана.

Формирование антиклинория ГКХ, обусловленные им и направленные к северо-востоку сжимающие усилия, привели к складчато-надвиговому, складчато-чешуйчатому строению на северо-востоке этого антиклинория. С этим связаны и образование гидротермальных растворов обогатившимися рудными металлами из отложений которые образовались в результате размыва более ранних вулканогенно-осадочных толщ. Эти толщи при складкообразовании попали в термодинамические поля на глубоких горизонтах.

Масштабность образованного при этом оруденения, определялось приуроченностью рудолокализующих структур к той или иной части складчато-надвигового пояса. Вещественный же состав руд зависело удаленностью участков формирования рудолокализующих структур от очага зарождения гидротермальных растворов. Благородные металлы (золото, серебро) осаждались во фронтальных частях гидротермальных систем и наибольшая их концентрация про-

исходила в рудных ловушках открытого типа, что связано с резким спадом температуры и давления в таких ловушках. Подавляющее большинство исследователей считают, что колчеданное оруденение юго-восточной части Дагестана относится к юрскому возрасту, однако обнаруженное при геолого-съемочных работах в 1963 году (Пшеничный Л.В. и др.) ещё до открытия месторождения Кизил-Дере, жила в секущих верхнеюрско-мелового возраста известняках, которая находится в правом борту ручья Каладжух, позволяет утвердить, что оруденение, по крайней мере, в юго-восточной части Горного Дагестана относится постмеловому возрасту. В последующем при геолого-съёмочных работах отведение такому оруденению экзотического характера в карбонатных комплексах массива горы Шахдаг в пределах Дагестана, не имеет под собой основания. Акцентирование внимания на этом вопросе вызвано тем, что при охвате гидротермальными процессами карбонатных толщ, в последних формируются крупнообъёмные золоторудные объекты (м-е Карлин и др.). Кроме того на Центральном Кавказе в низах известняков Скалистого хребта по результатам пробирных анализов в штуфных пробах, содержания золота достигали 1,4-1,6 г/т. Это имело место и в карбонатных комплексах на территории Дагестана [8]. Однако специализированные работы по оценке золотоносности карбонатных комплексов на Большом Кавказе не проводились. Наличие в основании карбонатных толщ мощных зон ожелезнения, связанные, на наш взгляд, с охватом этих частей гидротермальными процессами ставит вопрос о необходимости изучения таких участков для оценки их перспектив на золотоносность.

Литература

1. Большой Кавказ в альпийскую эпоху. ГЕОС, 2007 (под редакцией Леонова М.Г.).
2. Бровков. Г.Н., Москаленко Т.А. О первой находке конгломератов с галькой доюрских изверженных и метаморфических пород в байосе юго-восточного Дагестана. Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, т. II.
3. Гусейханов С.М. Структурные условия локализации медно-пирротинового месторождения Кизил-Дере. Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, вып.25, 1982.
4. Гусейханов С.М. Структура рудного поля месторождения Кизил-Дере. Механизм её формирования и условия локализации рудных тел.Тр. ИГ ФАН СССР, вып.29, 1984.
5. Гусейханов С.М., Юсупов А.Р., Абдуллаев М.Ш., Черкашин В.И. Геологическое строение юго-восточной части Горного Дагестана. Тр. ИГ ДНЦ РАН, вып.66, 2016.
6. Халифазаде Ч.М., Магомедов А.М. Среднеюрские отложения восточной части Большого Кавказа. Наука, 1982.
7. Черкашин В.И., Мацапулин В.У. Минералого-геохимические особенности юрских рудных образований и металлогения Восточного Кавказа. Тр. ИГ ДНЦ РАН, вып.54, 2009, 275 стр.
8. Черкашин В.И., Мацапулин В.У., Юсупов А. Р. Золотоносность среднемиоценовой россыпной подпровинции Восточного Кавказа (Дагестанское обрамление). Вестник Дагестанского научного центра, 2013, № 50,с. 19-25.

УДК 551.2/.3: 550.34

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ РСО-АЛАНИЯ

Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Кануков А.С., Габараев А.Ф., Рыжанов О.Н.

В связи с активизацией опасных природных процессов на Кавказе и, в частности, сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года существующая республиканская сейсмическая сеть наблюдений Центра в конце 2003 года была преобразована в сеть комплексных наблюдений «Кармадонский параметрический полигон». Целью функционирования сети является исследование природно-техногенных опасных геологических процессов в горных районах.

Ключевые слова: мониторинг, полигон, сейсмологические наблюдения, гравиметрия, GPS

COMPLEX MONITORING OF HAZORDOUS NATURAL-TECHNOGENIC PROCESSES IN THE TERRITORY OF RNO-ALANYA

Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kanukov A.S., Gabaraev A.F., Ryzhanov O.N.

In connection with activization of hazardous and technogenic processes in Caucasus and, in particular, fall of glacier Kolka (happened on 20 September 2002) existing republican seismic network was reconstructed in network of complex observations “Karmadon paramentric range”. The goal of network operation is investigation of nature-technogenic hazardous geological processes in mountain regions.

Keywords: monitoring, polygon, seismological observations, gravimetry, GPS

Ежедневно в мире происходят сотни катастроф природного и техногенного характера. Среди других катастроф сейсмическая занимает особое место. По данным ООН (Living with risk, 2002), они составляют около 51% от общего числа природных катаклизмов и доминируют в ряду всех видов катастроф [Баласанян и др., 2004].

Наибольшую опасность в силу своей близости к территории г.Владикавказа представляет Владикавказский разлом, сейсмический потенциал которого оценивается M=7.1 (Рогожин, 2007). В связи с этим, а также в связи с активизацией опасных природных процессов на Кавказе и, в частности, неожиданным сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года в конце 2003 года существующая Республиканская сейсмическая сеть наблюдений Центра была преобразована в сеть комплексных наблюдений «Кармадонский параметрический полигон» (рис. 1), предполагающую сейсмологические, геодинамические и гравиметрические наблюдения [Бондырев, Заалишвили, 2005]. В середине 2006 года сеть была частично модернизирована. В результате модернизации сети сейсмологических наблюдений была произведена замена устаревших цифровых регистраторов сейсмических сигналов (РСС) «Альфа-Геон» на регистраторы нового поколения «Дельта-Геон». Это позволило увеличить продолжительность регистрации записей за счет применения флеш карт большой емкости, наладить службу точного времени за счет использования GPS и т.д. Целью функционирования сети является разработка новой концепции безопасности населения горных регионов и создание эталонных сценариев опасных геологических процессов (оползни, движения ледников, землетрясения и т.д.). Именно для этих целей нами в сентябре 2003г. была организована базовая станция в п. Кармадон.

Для обработки получаемых данных сети Кармадонского параметрического полигона, сотрудниками Центра был разработан пакет программ.

- программа ADB2DB, предназначенная для ввода в единую базу данных записей сейсмических событий;
- программа «Выборка событий», предназначенная для выделения сейсмических событий для их последующей обработки;
- программа WINADB-SEV, предназначенная для монтажа событий в формат SEV и позволяющая вызывать служебные программы для их последующей обработки.

- утилиты, предназначенные для просмотра и редактирования заголовков adb файлов, конвертер adb файлов в текстовый формат.

Такое структурирование данных позволяет не только находить нужные записи из банка данных, но и производить более сложные операции с помощью SQL- запросов. Важным элементом обработки записей любой локальной сети сейсмологических наблюдений является выборка событий. Событие считается выделенным, если оно зарегистрировано не менее чем N станциями (например, тремя), причем время включения регистраторов, попадает в определенный временной интервал (временное окно) dt. Разработанная программа «Выборка событий» позволяет производить процедуру поиска записей, удовлетворяющих данным условиям. Общий вид программы «Выборка событий» представлен на рис. 1.

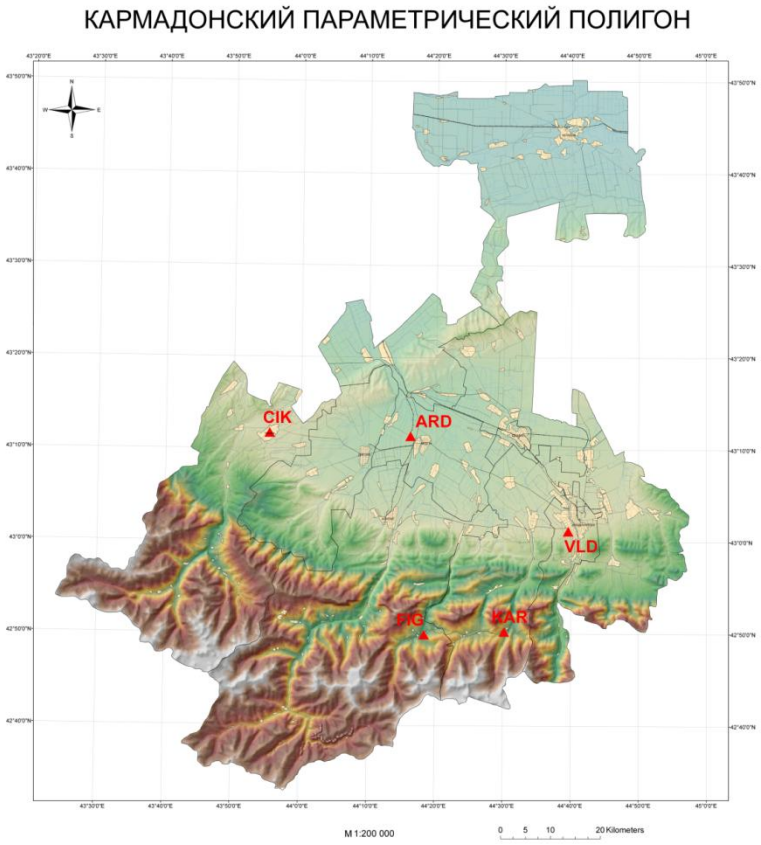


Рис. 1. Сеть сейсмологических наблюдений Кармадонского параметрического полигона

Окно разделено на несколько областей: календарь, текстовая область. Также в программе можно вызвать окно ввода SQL-запроса, что позволяет передавать дополнительные параметры, выполняя более гибкий запрос. Результаты обработки данных за 2006-2016 гг. представлены на рис. 2.

Только за последние два года было получено и обработана 781 запись сейсмических событий, из которых 157 событий зарегистрировали одновременно 5 станций, 237 событий – 4 станции и 385 событий – три станции (рис 2).

Создание системы сейсмических наблюдений, согласно рекомендациям ООН, обязательны для урбанизированных территорий, расположенных в зоне высокой сейсмической опасности. Это особенно актуально для Северного Кавказа, где такие наблюдения отсутствуют.

В связи с этим, а также необходимостью изучения и последующего анализа малоизученного проявления особенностей воздействия активных разломов на ситуацию в городе, на территории г. Владикавказа по инициативе В.Б. Заалишвили было решено развернуть локальную сеть сейсмических наблюдений.

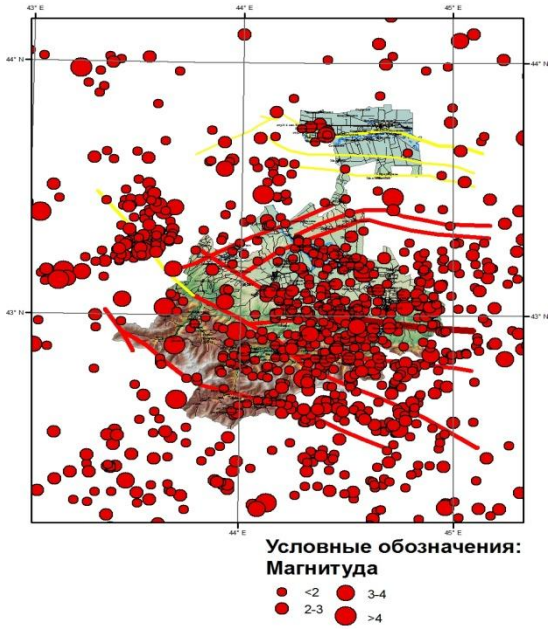


Рис 2. Обработанные события за 2006-2016 гг.

В августе 2004 г. впервые на Северном Кавказе нами была организована постоянная локальная сеть сейсмических наблюдений на участках с различными грунтовыми условиями непосредственно на урбанизированной территории - г. Владикавказ (рис. 3).

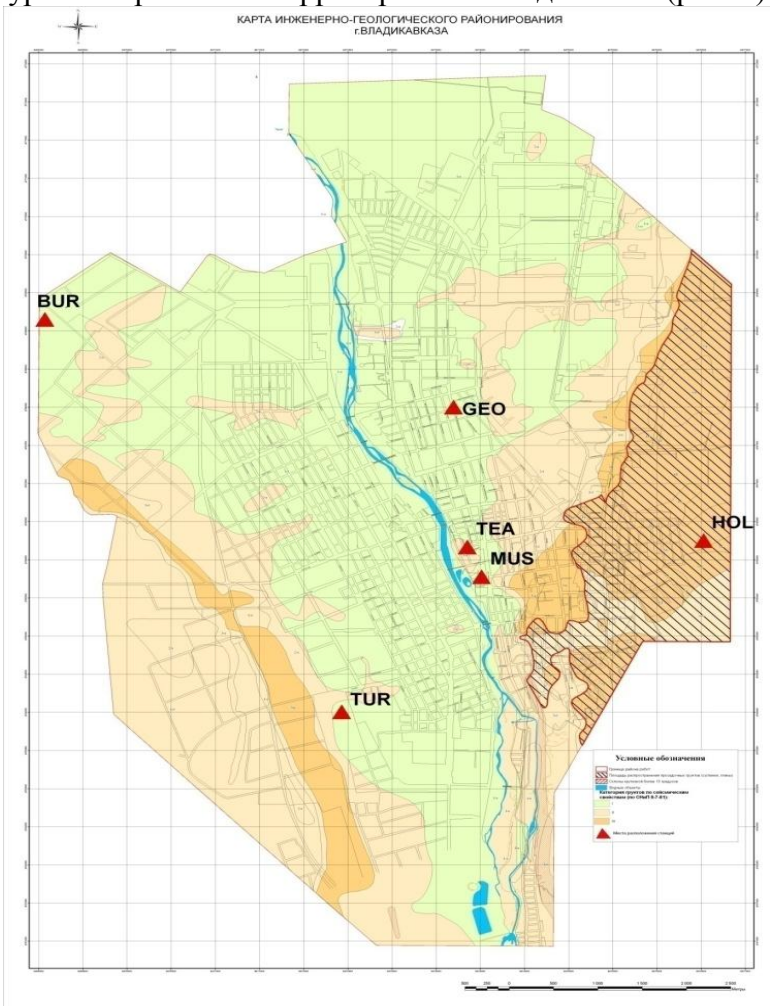
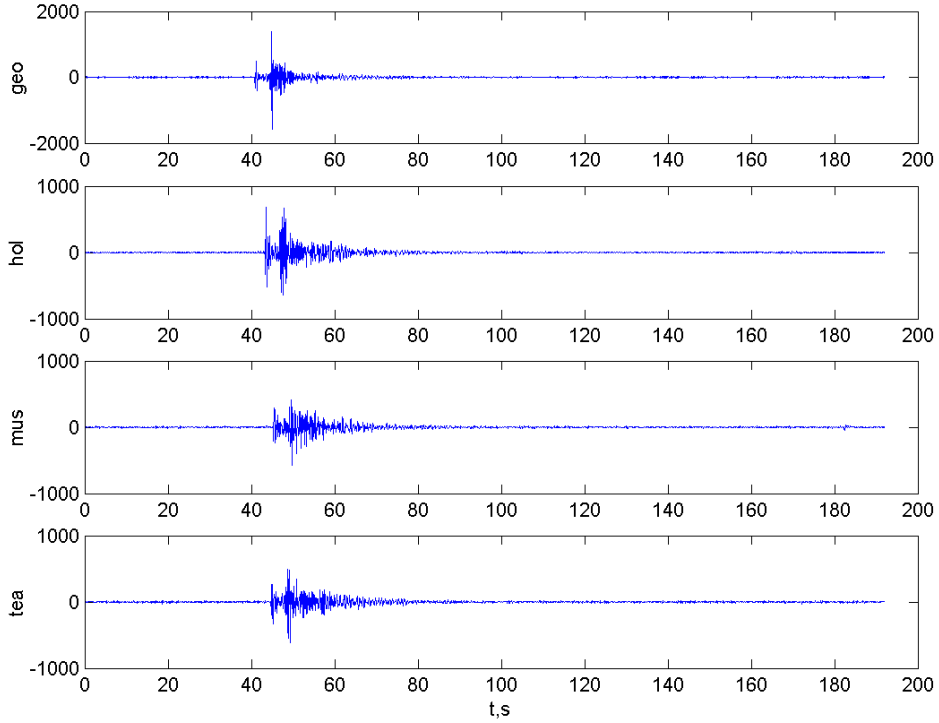
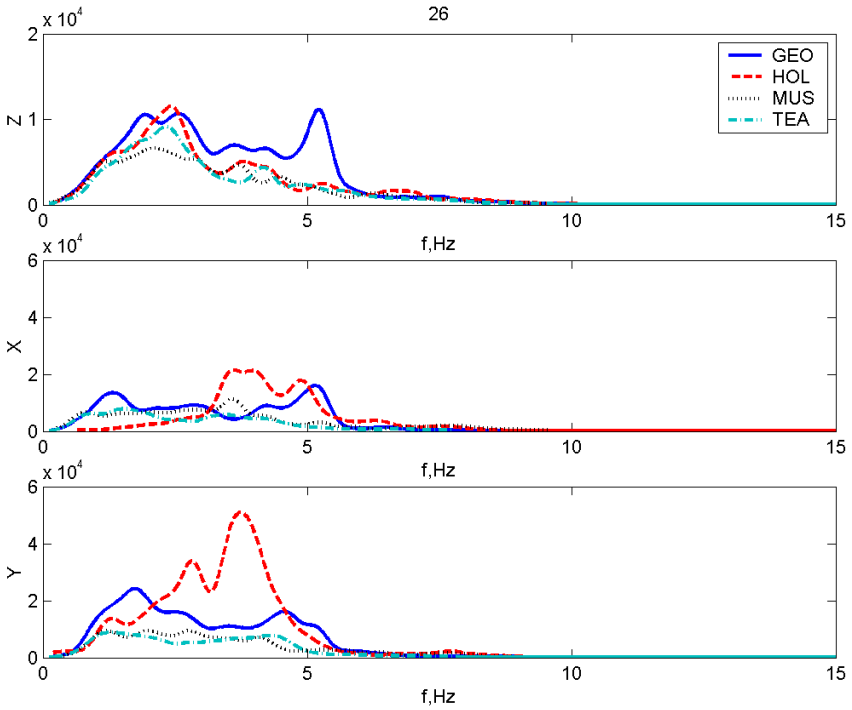


Рис. 3. Схема расположения сейсмических станций на территории г.Владикавказа, инженерно-геологические условия исследуемой территории

Главной задачей создания локальной сети «Владикавказ» («Урбанизированная территория)» явилась необходимость оценки влияния грунтовых условий на формирование интенсивности и спектрального состава землетрясений. На рис. 4 представлены записи землетрясения, зарегистрированного сетью сейсмологических наблюдений «Владикавказ» и соответствующие спектры, демонстрирующие влияние грунтовых условий на спектральный состав колебаний.



а)



б)

Рис. 4. Сейсмическое событие, зарегистрированное станциями сети сейсмологических наблюдений «Владикавказ», вертикальная компонента (а) и соответствующие спектры колебаний (б)

В 2010 году в процессе выполнения работы сеть была расширена и дополнена двумя станциями по улицам Гадиева и Владикавказской (BUR и TUR, соответственно).

Характеристики современных движений и деформаций являются одними из основных при исследовании развития геодинамических процессов геологической среды. Развитие Северо-Кавказской деформационной сети позволит создать систему контроля за современными движениями и деформациями земной коры.

Вновь создаваемая Северо-Осетинская сеть пунктов GPS является развитием Северокавказской геодинамической сети, которая включает пункты GPS созданные и использованные для измерений по разным проектам предыдущих эпох.

Первая эпоха измерений GPS относится к июлю-августу 1991 г., когда сотрудниками ИФЗ АН СССР совместно с американскими специалистами были выполнены измерения по Международному проекту Кавказ-1991 (Галаганов О.Н. и др. 2007).

С целью развития Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС в 2008 г. в здании Геофизического центра ВНЦ РАН и РСО-А заложена стационарная станция «Владикавказ» (код станции VLAD) (рис. 5). В стационарном режиме станция работает с 2008 г.

Рис. 5. Стационарная станция наблюдений спутников GPS/ГЛОНАСС «Владикавказ»

В результате совместных работ ИФЗ РАН и ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А выполнено следующее: обсуждена концепция создания и развития Северо-Осетинской геодинамической сети, проведена рекогносцировка мест размещения пунктов GPS дискретных измерений, разработана конструкция знака пункта GPS, устанавливаемого на крышах зданий, один из которых установлен на территории г.Владикавказа (KM20)и выполнены GPS измерения на трех пунктах синхронно с работой на четвертом пункте с постоянной регистрацией спутниковых сигналов, которые будем считать исходной эпохой геодинамических исследований с применением спутниковых технологий в зоне Владикавказского глубинного разлома.

Оценка текущих координат проводилась методом PPP (Precise Point Positioning),реализованного в составе программного комплекса BERNESE 5.0 [Милюков идр., 2008]. Оценки скоростей проводились относительно системы ITRF2005. Для станции VLAD получены следующие значения компонент скоростей: E 25,7±1,4, N 14,5±0,9, U -3,6±2,4, что соответствует горизонтальному вектору скорости 29,5 ±1,4 мм/год, азимут 60,6 градусов. Данная величина соответствует, в общем, полю скоростей Северного Кавказа, полученного по данным станций NDCA – быстрое горизонтальное движение в северо-восточном направлении практически с одинаковыми скоростями, около 28 мм/год.

Для определения вертикальных движений поверхности Земли в районах Главного хребта Кавказа в районе Баксанского ущелья уже в течение 20 лет проводятся:

1. Стационарные и относительные геодезические определения координат и высот долговременных геодезических и гравиметрических пунктов.

2. Абсолютные и относительные гравиметрические определения силы тяжести в районе главного хребта Кавказа и на равнине, т.е. в районах с максимальными и минимальными вертикальными скоростями движения поверхности.

До настоящего времени работы по относительной гравиметрической съемке с целью уточнения вертикальных скоростей поднятия Главного хребта Кавказа выполнялись на гравиметрических пунктах узкодиапазонного и широкодиапазонного гравиметрических полигонов, созданных в 1970-1972 годах.

Постаменты пунктов гравиметрических полигонов расположены на открытой местности вблизи дорог. Качество гравиметрических измерений на этих пунктах страдает из-за влияния вибраций от автомобильных дорог и влияния атмосферных факторов (дождей, солнца, ветра, разностей наружных температур между наблюдениями и т.п.), приводящих к сильному искажению поступающей информации. Поэтому качественный результат относительного гравиметрического метода может быть достигнут только за длительный период наблюдений.

В 2010 году для повышения качества измерений было решено провести дополнительные относительные гравиметрические измерения на абсолютных гравиметрических пунктах. Совмещение абсолютных и относительных измерений, выполняемых на одних и тех же постаментах, выгодно по трем причинам:

1. В связи с тем, что пункты совмещены, поступающая информация дублируется, достоверность, и качество ее повышается.

2. В связи с тем, что пункты находятся внутри зданий, влияние окружающей среды минимизируется.

3. В связи с тем, что измерения проводятся по пунктам с абсолютным значением, автоматически происходит определение цены деления относительных гравиметров.

Работы по измерениям выполнялись группой специалистов ЦГИ ВНЦ РАН (Владикавказ) и ГАИШ МГУ (Москва) относительным гравиметром CG5 № 567 канадской фирмы Scintrex.

Для выполнения относительных измерений силы были выбраны следующие абсолютные гравиметрические пункты: «Ардон», «Владикавказ».

Пункт «Ардон» расположен в здании антенного комплекса «Антенные поля», принадлежащего МЧС России в районе города Ардон Республики Северная Осетия.

Пункт «Владикавказ» заложен в 2008 году. Пункт расположен в специально построенном одноэтажном здании ЦГИ ВНЦ РАН И РСО-Алания. Марка заложена в постаменте размером 122х120см высотой 120 см установленном на галечном грунте. Марка находится на 7 мм ниже поверхности постамента.

Все измерения выполнялись в соответствии с «Инструкцией по гравиразведке» 1980 г. по схеме повторных связей типа А-В-А [ГОСТ 24284-80; Инструкция …, 1980].

Гравиметр после включения прогревался не менее 2-х суток. Перед работами в гравиметре были проведены соответствующие юстировки и настройки.

Выводы:

1. В связи с активизацией опасных природных процессов на Кавказе и, в частности, сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года в конце 2003 года существующая Республиканская сейсмическая сеть наблюдений Центра была преобразована в сеть комплексных наблюдений «Кармадонский параметрический полигон».
2. В результате модернизации в 2006 г. была произведена замена устаревших регистраторов на регистраторы нового поколения «Дельта-Геон», что позволило увеличить про-

должительность регистрации записей и наладить службу точного времени за счет использования GPS.

3. Целью функционирования сети «Кармадонский параметрический полигон» является разработка новой концепции повышения безопасности населения горных регионов и создание эталонных сценариев опасных геологических процессов.
4. Комплексная система наблюдений включает в себя сейсмологические, геодинамические и гравиметрические наблюдения.
5. С целью развития Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС в 2008 г. в здании Геофизического центра ВНЦ РАН и РСО-А заложена стационарная станция «Владикавказ».
6. В 2008 году заложен гравиметрический пункт «Владикавказ», оснащенный современным гравиметром Scintrex CG-5. В 2010 году для повышения качества измерений были проведены дополнительные относительные гравиметрические измерения на абсолютных гравиметрических пунктах.
7. Таким образом, на территории РСО-А сформирована современная система наблюдений, что должно позволит решать актуальные задачи снижения риска населения

Литература

1. Баласанян С. Ю., Назаретян С. Н., Амирбекян В. С. Сейсмическая защита и ее организация. Гюмри «Эльдорадо», 2004г. – 436с.
2. Бондырев И.В., Заалишвили В.Б. Современные геодинамические процессы Казбеги-Кельского района Центрального Кавказа. Институт географии им. В.Багратиони АН Грузии, Тбилиси, 2005, 154 с.
3. Милюков В.К., Кануков А.С., Хубаев Х.М. Создание Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС //Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Владикавказ: ВНЦ РАН и РСО-А, 2008.
4. ГОСТ 24284-80 Гравиразведка и магниторазведка. Термины и определения
5. Инструкция по гравиразведке. Утверждена Мингео СССР, ГУНиО, ГУГК, ИФЗ АН СССР. - М., ВТУ, 1980.

УДК 551.3

ГЕОЛОГИЯ, СЕЙСМИЧНОСТЬ, ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И НЕКОТОРЫЕ ФОРМЫ ИХ ПРОЯВЛЕНИЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ДАГЕСТАНА

Меликов М.М., Гаджиева Т.Р.
Институт геологии ДНЦ РАН

Сейсмичность и экзогенные геологические процессы (ЭГП), являются опасными процессами. В работе приводится естественная и техногенная сейсмичность области Дагестанский клин, а также некоторые формы проявлений экзогенных процессов: оползни, сели, обвалы и т.д.

Ключевые слова: сейсмичность, техногенная, тектоника, обвалы, осыпи, сели, оползни, выветривание, инженерные сооружения.

GEOLOGY, SEISMICITY, EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES AND SOME FORMS OF THEIR MANIFESTATION IN THE MOUNTAINOUS REGIONS OF DAGESTAN

Melikov M.M., Gadjieva T.R.
Institute of Geology Dagestan scientific center of RAS

Seismicity and exogenous geological processes (EGP) are hazardous processes. The paper presents the natural and induced seismicity region of the Dagestan wedge, as well as some forms of manifestations of exogenous processes: landslides, mudflows, landslides etc.

Key words: seismicity, technogenesis, tectonics, landslides, screes, mudflows, weathering, engineering structures.

Сейсмические события и ЭГП, в практике именуемые опасные, являются одними из грозных стихийных бедствий, особенно в горных районах, имеющих сложные геолого-тектонические и геоморфологические условия. ЭГП в некоторых случаях являются прямым следствием сейсмических событий. Наиболее опасным в этом плане является область Дагестанского клина

Ниже нами кратко приводится геологическое строение, сейсмичность и некоторые формы проявлений ЭГП в области Дагестанского клина и в других горных районах Дагестана.

Геологическое строение

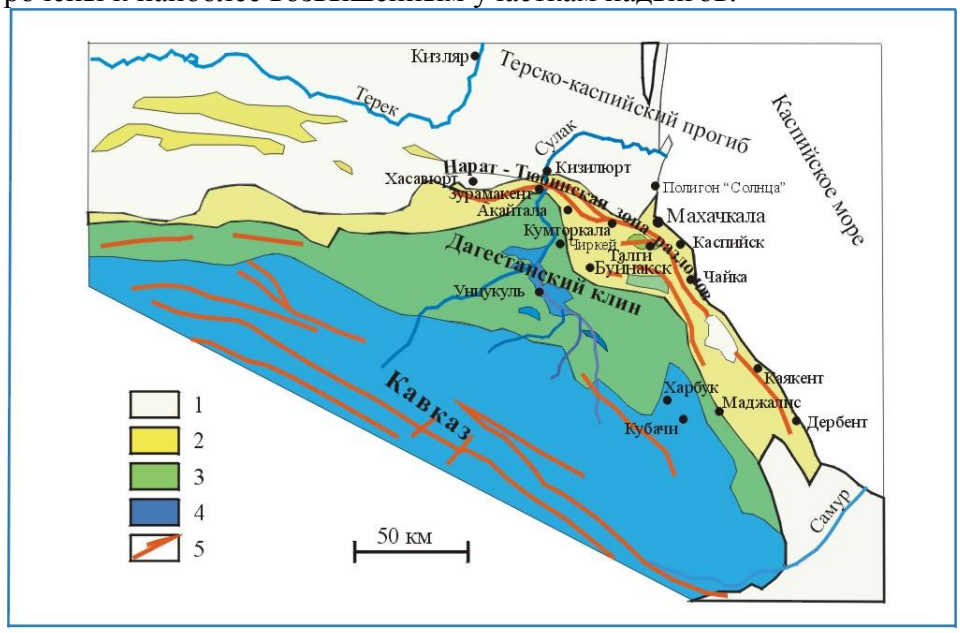
Геологическое строение области Дагестанского клина определяется приуроченностью её к северному склону Восточного Кавказа и Восточного Предкавказья. Рассматриваемая область сложена мощной толщей пород от среднелейассового до антропогенового возрастов включительно (Рис.1). Степень обнажённости этих пород увеличивается с востока и юго-востока на запад и северо-запад. Наиболее обнажены породы в зоне Сулакского выступа.

Дагестанский структурный выступ по поверхности палеозойского фундамента представлен уступом с перепадом отметок от 7 до11км [1]. Эта структура имеет исключительно сложное строение и представляет собой зону развития активных надвигов размером до 90-100км в поперечнике.

В строении Дагестанского клина Б.А. Соколов и Д.А. Мирзоев с соавторами выделяют три покровно-надвиговые пластины, надвинутые одна на другую в северном и северо-восточном направлениях [2].

Одним из важных признаков надвигания пластин одна на другую является резкое увеличение мощностей майкопских отложений на границах пластин. Зона сдвоенных мощностей майкопских отложений огибает фронтальную часть Дагестанского клина на всём протяжении Нарат-Тюбинского надвига. По мнению Ф.М. Коршенбаума, весь осадочный чехол Дагестанского клина сорван с доюрского основания, амплитуда только поперечного смещения мезозойской толщи, не считая общего горизонтального перемещения аллохтона достигает 4-5км, общая же протяжённость эшелонированной системы Дагестанского пояса надвигов приближается к 200км [3]. К флангам Дагестанского клина амплитуда горизонтальных смещений сокращается до первых километров и менее, а вместо покровов и пологих надвигов здесь получили раз-

витие преимущественно взбросы [2]. Большинство развитых в пределах Дагестанского клина складок приурочены к наиболее возвышенным участкам надвигов.



1-5 - **стратиграфические комплексы:** 1 - плиоцен-четвертичный, 2 - олигоцен-миоценовый, 3 - верхнеюрско-эоценовый, 4 - нижне-среднеюрский; 5 - разрывы.

Рис.1. Схематическая геологическая карта Восточно-Кавказского пояса надвигов [6].

Юрская система. Отложения юрской системы обнажаются в пределах Гимринского и Салатаусского хребтов неполным объёмом среднего отдела и полностью – верхним отделом. *Средний отдел* представлен отложениями верхнего байосса и нижнего бата. Верхняя часть байосских отложений, обогащённая песчаниками и песчано-глинистые отложения бата объединяются в верхнебайосско-батский терригенный комплекс. Видимая мощность среднеюрских отложений не превышает 220-250м [4]. *Верхний отдел* подразделяется на два комплекса. Отложения келловейского яруса образуют нижний терригенно-доломитовый комплекс, представленный в основном алевролитами с прослоями песчанистых известняков и доломитов мощностью до 140м. Отложения оксфорд-киммеридж-титонского ярусов образуют карбонатный комплекс верхней юры, сложенный, в основном, плотными известняками, доломитизированными с прослоями доломитов, часто загипсованных. Мощность комплекса – 100м.

Меловая система. Отложения меловой системы представлены всеми стратиграфическими подразделениями. *Нижний отдел* подразделяется по литологическому составу на два комплекса. Отложения валанжинского, готеривского и нижней частью барремского ярусов образуют карбонатно-терригенный комплекс нижнего мела мощностью 120-140м (Рис.1). Представлен он преимущественно известняками с тонкими прослоями мергелей, песчаников и алевролитов. Отложения верхней части барремского яруса, аптского и альбского ярусов образуют терригенный комплекс нижнего мела. Представлен он чередованием алевролито-глинистых и песчано-алевролитовых пород. В средней части толщи (аптский ярус) песчаники часто образуют мощные пачки, до 20-25м каждая. Отложения альбского яруса более глинисты. Мощность комплекса – в пределах 240-250м. *Верхний отдел* чётко выделяется в разрезе по литологическому составу, формируя мощный карбонатный комплекс. Породы этого комплекса имеют хорошо развитую трещиноватость и водообильность. Возможно, они участвуют в формировании химического состава подземных вод верхнемеловой-палеогенового водоносного комплекса [5]. Карбонатный комплекс представлен, в основном, тонкослоистыми известняками с подчинёнными прослоями мергелей и мергельных глин. В верхней части отдела (сенон) получают развитие массивные плотные известняки. Мощность верхнемеловых отложений – 400-500м.

Палеогеновая система. Палеогеновая система по литологическому составу подразделяется на две толщи. *Нижняя,* включающая отложения палеоцена и эоцена – мергельная и стра-

тифицируется по местному делению в самостоятельную фораминиферовую толщу. Представлена она пёстроцветными мергелями и мергельными глинами, с подчинённым развитием известняков. Мощность толщи – 180-200м. Фораминиферовая толща объединяется с отложениями верхнего мела в единый литолого-стратиграфический комплекс – карбонатный верхнего мела и палеогена.

Верхняя толща представлена отложениями олигоцена, которые вместе с нижнемиоценовыми отложениями объединяются в единую глинистую толщу хадумской свиты и майкопской серии пород ($P_3+N^1_1$). Эта толща получила значительное развитие, достигая мощности 2000м в районе Чиркейского водохранилища.

Неогеновая система. *Миоценовый отдел*. Нижняя часть миоценового отдела входит в майкопскую серию осадков. Среднемиоценовый подотдел включает четыре горизонта: тарханский, чокракский, караганский и конский. Тарханский горизонт имеет региональное распространение, хорошо прослеживается почти во всех разрезах Дагестана и представлен тёмно-бурыми мергелями, доломитизированными известняками. Мощность – 25-50м. Чокракский горизонт, по литолого-петрографическим признакам, подразделяется на две части: верхнюю – песчанистую и нижнюю – глинистую. Нижний чокрак сильно изменяется в мощности за счёт появления большого количества песчаников в пределах предгорной части Дагестана. Верхний чокрак, в силу выдержанности по площади песчаных пластов, имеет огромное значение как водоносный горизонт. Мощность его составляет 800 м.

Караганский горизонт, в пределах Дагестанского клина, представлен мергелями, рыхлыми кварцевыми песчаниками. Мощность, в пределах 290-360м. Конский горизонт представлен тёмными слоистыми глинами и песками. Мощность – 50-70м. Верхний подотдел представлен сарматским и меотическим ярусами. Сарматский ярус характеризуется большим разнообразием литологического состава. На большей части Предгорного Дагестана он сложен песчанистыми и карбонатными глинами, песчаниками, известняками, мелководными прибрежными осадками. Общая мощность составляет 250-300м.

Меотический ярус. На территории Дагестанского клина отложения меотиса присутствуют лишь в разрезе на реке Сулак, где они представлены глинами с частыми прослоями и пластами песчаников, известняков и конгломератов. Мощность меотиса на реке Сулак составляет 500м [5].

Плиоценовый отдел. Плиоценовый отдел делится на три подотдела: нижний, средний и верхний. Отложения нижнего и среднего отделов в области Дагестанского клина не представлены. Верхнеплиоценовый подотдел включает акчагыльский и апшеронский ярусы. Акчагыльский ярус представлен в верхней части известняками, конгломератами и галечниками, в нижней – песчаниками, известняками и глинами. Суммарная мощность акчагыла составляет 300-350м. Апшеронский ярус в северной части Предгорного Дагестана, на реке Сулак представлен толщей песчаников и глин с прослоями и пластами, конгломератами. Мощность составляет 100-250м.

Четвертичная (антропогеновая) система. Отложения четвертичной системы распространены в Прибрежной части Каспийского моря и по долинам рек и представлены двумя типами осадков: морскими и континентальными. Морские отложения расчленяются на бакинский, хазарский, хвалынский и новокаспийский ярусы. Континентальные отложения состоят из древних и современных аллювиальных и делювиальных образований. Морские отложения *бакинского яруса* слагают в Предгорном Дагестане третью древнекаспийскую террасу. Литологически бакинский ярус представлен известняками, конгломератами, песчаниками и глинами. Мощность яруса 20-40м. *Хазарские отложения* слагают вторую древнекаспийскую террасу. Представлены эти отложения глинами и рыхлыми песчаниками с пластами известняков и линзами конгломератов в кровле. Мощность яруса не более 20м. *Хвалынские отложения* образуют первую древнекаспийскую террасу. Эти отложения развиты на значительной территории Прикаспийской низменности и представлены песками, детритусовыми известняками и конгломератами общей мощностью 30-50 м.

Новокаспийские и современные морские отложения развиты узкой (1-2м) полосой вдоль берега Каспийского моря и слагает песчаные дюны и холмы высотой до 10-15м. Древнеантропогеновые континентальные отложения распространены в долинах рек. Представлены эти отложения конгломератами и галечниками с линзовидными прослоями песков и песчанистых глин. В синклинальных прогибах Нагорного Дагестана и областей предгорий в виде небольших останцев встречаются дислоцированные древние делювиальные образования (лёссовидные суглинки).

Современные континентальные отложения особенно широко развиты на склонах предгорий Дагестана. Представлены они недислоцированными делювиальными суглинками, супесями и аллювиальными галечниками. Суглинки и супеси серо-жёлтые, бесструктурные, большей частью загипсованы. Мощность современных континентальных отложений обычно не превышает нескольких метров.

Осадконакопление, орогенез, эрозия, денудация и абразия определили геологическое строение области Дагестанского клина и стратиграфическое положение залегающих здесь пород. Как правило, более древние породы выходят на дневную поверхность гипсометрически выше более молодых. Исключение составляют разрушенные своды антиклиналей и куполов, где обнажаются меловые известняки.

Сейсмичность.
Естественная сейсмичность

Области с высокой сейсмичностью характеризуются новейшими и современными тектоническими движениями, что определяют значительные по величине естественные напряжения, в неоднородной по строению, верхней части земной коры. Естественные напряжения непрерывно меняются во времени и пространстве в зависимости от геологического строения региона и глубинных процессов. Большая часть землетрясений происходит в земной коре. Там же выделяется и почти вся сейсмическая энергия (без учёта энергии, которая уходит на физико-химические процессы в земной коре и на пластические деформации в верхней мантии и в низах земной коры). В последние годы подтвердилось, что преобладают неглубокие землетрясения, очаги которых располагаются в верхней части земной коры. В горных областях максимальная сейсмическая энергия выделяется на глубинах 10-20 км. Сейсмическая активность (потрескивание земной коры) – это постоянный процесс и длится он, несомненно, в течение всей жизни земной коры, т.е. на протяжении сотен тысяч - миллионов лет. По оценкам [7] средняя скорость астеносферных течений составляет 40-50 см/год.

Территория Дагестана в геолого-тектоническом отношении является весьма сложно построенным структурным элементом, расположенным на северо-восточном окончании Кавказского мегантиклинория. Отложения разбиты весьма сложной системой глубинных разломов различной ориентации, образующих ряд крупных тектонических блоков. Глубинные разломы, особенно зоны их пересечения, являются теми участками, в пределах которых происходит, в основном, как накопление, так и разрядка тектонической энергии через энергию землетрясений.

В пределах Дагестанского клина ширина полосы наибольшего скопления землетрясений составляет 50 км, что примерно соответствует величине горизонтальных подвижек за новейшее время в этом районе [6].

Рассматриваемая территория относится к высокосейсмической зоне альпийской складчатости. Лишь за последние 10-15 лет она испытала три – восьми-, шесть – семи- и девять шестибалльных землетрясений, подавляющая часть которых произошла в пределах Дагестанского клина. Таким образом, данная территория отнесена к восьми-девятибалльной зоне. Граница семибалльной зоны отодвинута к северу и проходит по равнинной части территории Дагестана, вблизи широтного течения реки Терек (Рис. 2).

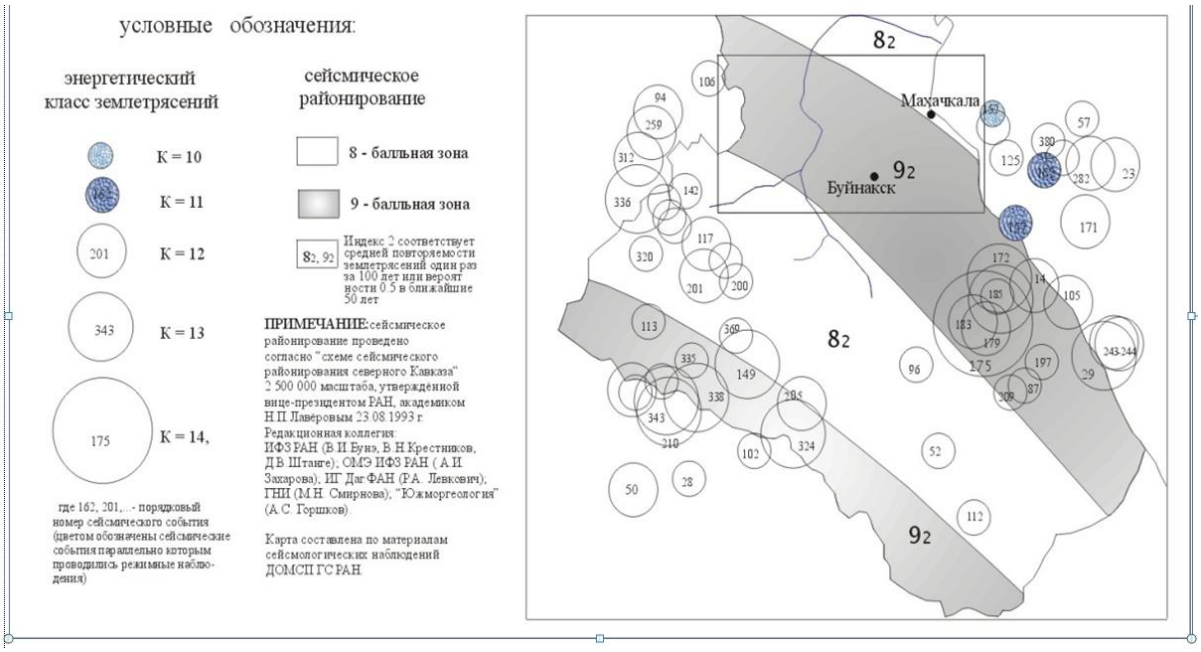


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений (К ≥ 10.5) происшедших в 1980-96 гг. за пределами области Дагестанского клина [5]

Техногенная сейсмичность

Более ста лет назад всемирно известный французский учёный Элизе Реклю (1830-1905 гг) писал уже об «искусственных» землетрясениях. Однако, проблема возникла только столетие спустя и стала именоваться не «искусственные» землетрясения, а «возбуждённая сейсмичность». Дело в том, что Э. Реклю, говоря об искусственных землетрясениях, имел в виду разного рода взрывы при проведении инженерных работ, добыче полезных ископаемых, в военных целях и т.д. Исследователи «возбуждённой» сейсмичности сталкиваются именно с натуральными землетрясениями, только происходящими в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека, в результате чего провоцируются землетрясения. Различного виды инженерно-хозяйственной деятельности воздействуют на напряжённо-деформированное состояние и на сейсмичность верхней части земной коры: создание в горно-сейсмических областях глубоких водохранилищ; извлечение со снижением пластового давления подземных вод, нефти и газов в больших количествах; закачивание под высокими давлениями на большие глубины промышленных стоков и вод при разработке нефтяных месторождений, и т.д. [8].

«Возбуждённая» сейсмичность территории Дагестанского клина обусловлена, главным образом, строительством каскада гидроэлектростанций на реке Сулак. Влияние водохранилищ на возникновение «возбуждённой» сейсмичности, во многих случаях, но не для каждого, доказано режимными наблюдениями на станциях (в частности, наблюдениями за заполнением и эксплуатационным режимом Чиркейского водохранилища [5-6]). В 1974 г началось форсированное заполнение водохранилища Чиркейской ГЭС, который характеризовался резким усилением сейсмической активности района. За период наблюдений, в радиусе нескольких десятков км от водохранилища, произошло свыше 35 землетрясений энергетического класса 9 и более [5-6].

Отмечено, что «возбуждённые» землетрясения обладают несколькими специфическими особенностями: преимущественно они мелкофокусные; их интенсивность и магнитуда не превышают фоновую сейсмичность, типичную для данного района; более продолжительным временем действия и иным распределением форшоков и афтершоков, количество которых также больше и т.д. [8].

Интересным с точки зрения объяснения возникновения «возбуждённых» землетрясений, является сокращение или полное прекращение разгрузки напорных вод через естественные источники в области, затопленной водохранилищем, за счёт подпора и закупорки каналов раз-

грузки илистым материалом [4]. Кальматация трещин взвешенными частицами и последующий переход илистых осадков в пластическое состояние, считают авторы [4] является исходным моментом процесса повышения давления в пластовых системах, ранее дренируемых источниками, что и провоцирует разрядку сейсмогенерирующих структур, залегающих на небольшой глубине. Помимо этого, смешение подземных напорных высокоминерализованных вод с холодными пресными водами водохранилища неизбежно приводит к выпадению слаборастворимых солей и постепенному закрытию трещин разгрузки под его ложем. По мере увеличения толщины и плотности иловой «подушки» на дне водохранилища (поскольку это приводит к замыканию пластовой гидравлической системы и увеличению давления в массиве горных пород), по мере прекращения восходящей разгрузки подземных вод (эффект штуцера), вероятность возникновения сильного «плотинного» землетрясения возрастает. К негативным последствиям, спровоцирование сейсмичности, можно отнести и разработки углеводородных месторождений по близости к водохранилищам (Шамхал-Булак).

«Возбуждённые» землетрясения являются как бы спусковым механизмом, способствующим высвобождению уже накопившейся энергии тектонической природы.

Таким образом, сейсмичность, спровоцированная техногенным фактором, оказывает определённое влияние на естественный сейсмический режим территории.

Характерные формы проявлений ЭГП

Инженерно-хозяйственная сфера деятельности человека связана с приповерхностной частью литосферы, которую мы называем геологической средой. Она, как и любая другая геологическая материя находится в постоянном движении и взаимодействии со смежными процессами и явлениями. Геологический процесс – движение геологической среды и материи в целом, как результат ее взаимодействия с другими средами-сферами (атмосфера, биосфера, гидросфера, мантия, инженерные сооружения и т. д.). Внешние проявления процесса называются явлениями. Таким образом, если процесс – последовательная смена состояний геологической среды, то явление – состояние этой среды в данный момент времени и географического месторасположения этой же среды (геологического объекта).

Геологические процессы подразделяются на две большие группы: эндогенные (тектонические, сейсмические и вулканические), возбужденные внутренними причинами; экзогенные – внешними. Первые происходят в результате действия силы тяжести, внутренней энергии и внутренней теплоты Земли, а также физико-химических процессов, протекающих как внутри нее, так и приповерхностной зоне, сочетающейся с гравитационной энергией, вторые – в результате действия солнечной энергии в сочетании с гравитационной, в т.ч. и импактного (ударного) генезиса, происходящего в результате столкновения космических тел. Эти процессы, действуя в геологической среде, тесно переплетаются друг с другом, оказывая влияние на различного рода экзогенных геологических процессов (ЭГП), в практике именуемые опасными.

Изучение современных геологических (природных) и инженерно-геологических (антропогенное воздействие) процессов, как одного из компонентов инженерно-геологических условий, необходимо для инженерно-геологической оценки территории с целью проектирования, строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений (Рис.1).

К примеру, дорожное строительство ведется в различных инженерно-геологических условиях: дороги пересекают горные перевалы и широкие речные долины, очень сложные геолого-тектонические условия, или – возведение различных промышленных и гражданских сооружений.

В условиях горного Дагестана сложность инженерно-геологических условий определяется широким развитием ЭГП. Это, прежде всего выветривание, сели, оползни, обвалы и осыпи и др., с которыми часто встречаются при строительстве различных инженерных сооружений.

В данной работе не ставится задача всеобъемлющего охвата решения проблем, связанных с ЭГП, а всего лишь попытается дать краткую характеристику наиболее распространенных их форм проявлений, имеющих место при строительстве вышеупомянутых сооружений.

Выветривание – наиболее распространенный ЭГП в Горном и Предгорном Дагестане, ясно подчиняющиеся закону вертикальной зональности. В высокогорной зоне ведущая роль принадлежит физическому выветриванию, приводящее к механическому дроблению пород поверхностной зоны. Дроблению, в основном способствует расклинивающее действие замерзающей воды в трещинах и порах горных пород, вызванные резким перепадом ночных и дневных температур в результате процесса замерзания-оттаивания (замерзшая вода оказывает давление на стенки материнской породы, примерно, до 800 кг/см^2).

В среднегорной и предгорной зонах возрастает роль химического и биохимического выветривания, приводящие к разрушению пород с изменением минерального состава и структурно-текстурных особенностей пород (чисто визуально), а химически они остаются практически неизменными. Процесс выветривания более активно протекает в зонах гравитационного разуплотнения, тектонических разрывов, сводов антиклиналей и на крутых склонах, лишенных растительности. Процессы выветривания в различных литологических разностях протекает поразному.

Для сланцев характерно быстрое рассланцевание на склонах с последующими смещениями аллювия. У подножия склонов образуются мощные накопления коллювия – потенциальные возможности селе- и оползнеобразования, характерные для Сланцевого Дагестана (в частности, Ахтынский, Цумадинский, Цунтинский и др.районы). Выветривание карбонатных пород (Известняковый Дагестан и предгорья) приводит к образованию на пологих склонах осыпей, на крутых – обвалов, загромождая автомобильные дороги и другие объекты, в т.ч. рекреационные и сельскохозяйственные.

Сели. Селевые потоки – грозное природное явление, часто внезапно возникающее и приводящее к катастрофическим последствиям и огромным материальным ущербам. Сели более широко распространены в Сланцевом Дагестане, в Известняковом – в меньшей степени, наносящие колоссальный ущерб, как населенным пунктам, так и объектам народного хозяйства, разрушая дороги, мосты, выводя из строя пахотные земли, сады и т.д.

Основные факторы селеформирования – глубоко и сильно расчлененный рельеф, наличие ледников и моренно-подпрудных озер, значительные скопления рыхлого материала, кратковременные, но интенсивные ливни (0,5 и более мм/мин).

В высокогорной и среднегорной зонах водной составляющей селей являются, главным образом, атмосферные осадки. Наибольшую опасность представляют сели, вызванные талыми водами и ливневыми дождями одновременно. В высокогорной зоне Сланцевого Дагестана преобладают грязевые и грязекаменные сели, Известнякового – водо-каменные. В среднегорной зоне часто формируются селеподобные паводки. Почти все притоки крупных рек Сланцевого и Известнякового Дагестана являются селеносными, наиболее опасными из которых являются бассейны рек: Усух-чай, Ахты-чай, Гюльгеры-чай, Кара-самур, Рубас-чай и др.

Сложная взаимосвязанная с другими процессами природа образования селевых потоков, грандиозность и катастрофический характер их развития и горный рельеф создают трудности осуществления защиты и в проведении в определенной последовательности комплексных мероприятий. Но, несмотря на эти трудности, т. ч. и финансовые, на наш взгляд, можно приложить усилия по созданию противоселевых защитных сооружений с целью минимизации наносимого ущерба и более безопасного движения автотранспорта и существованию различных объектов народного хозяйства.

Оползни. Они наиболее разнообразны по типам, факторам образования, механизму развития и распространению среди многочисленных склоновых гравитационных процессов.

Оползни широко развиты в Горном и Предгорном Дагестане на склонах гор и речных долин. Основными природными и техногенными факторами, обуславливающими возможность их возникновения и развития, являются: эрозионное и тектоническое расчленение рельефа; дислокации осадочных толщ, слагающих поверхность всей территории Дагестана; подмыв склонов в речных долинах и увеличение их высоты в результате боковой и донной эрозии; чередование пород различными прочностными и деформационными характеристиками в геоло-

гическом разрезе; антропогенный фактор (например, динамическое воздействие при взрывных работах (строительство дорог в горных районах, разработка карьеров строительных материалов по добыче «рваного камня») и др. Активизация оползней происходит после сильных землетрясений и продолжительных дождей, а также при заполнении водохранилищ (Чиркейская, Гергебильская, Ирганайская, Гунибская ГЭС), после чего произошла активизация рядя оползневых массивов вокруг водохранилища, загромоздив дороги, разрушая различные инженерные и коммуникационные (водо-, газопроводные) системы и т. д.

Обвалы и осыпи. Характерной особенностью обвальных процессов в горных областях и на высоких крутых обнажениях речных склонов является отчленение от основного массива блоков глыб или обломков разных объемов, их опрокидывание с большими скоростями и на значительные расстояния, часто обладающих огромной энергией. Обвалы и осыпи следует рассматривать как единый процесс, так как в пределах Дагестана они взаимосвязаны, трудноразделимы и в «чисто» раздельном виде встречаются редко (единичные случаи – Ахтынский, Шамильский, Рутульский районы). Эти процессы, в основном развиты в горной части Дагестана. Наблюдается также и вертикальная зональность: степень пораженности территорий в нивально-высокогорной зоне достигает до 90-100%, высокогорной – до 80%, средне- и низкогорной – от 10 до 50-60% [8].

Обвально-осыпным процессам подвержены крутые склоны речных долин, эскарпы и т. д. Виды и масштабы обвальных процессов различны, от непрерывно осыпающейся щебенки или песчаных масс, до обвалов, объемами в сотни тысяч и миллионы кубических метров, образующих в основании склонов нагромождения, нередко преграждая автомобильные дороги и другие объекты отраслей народного хозяйства.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы и дать рекомендации:

– большинство автомобильных дорог и другие инженерные сооружения, а также объекты возделывания сельскохозяйственных культур горных районов Дагестана расположены в районах с наибольшей пораженностью ЭГП;

– ЭГП в той или иной степени возможно прогнозировать при условии, что необходимо провести инженерно-геологический мониторинг на участках, где они представляют наибольшую опасность с целью их предупреждения и предотвращения;

– Рекомендуем заложить в смету проекта строительства инженерных сооружений и объектов агропромышленных комплексов защитные сооружения с целью минимизации ущерба от ЭГП.

Литература

1. Тектоника и нефтегазоносность Северного Кавказа /А.И. Летавин, В.Е. Орел и др.-М.:Наука,1987.- 94 с.
2. Нефтегазообразование и нефтегазонакопление в Восточном Предкавказье /Б.А. Соколов, Ю.И. Корчагина, Д.А.Мирзоев и др. –М.: Наука,1990.- 206 с.
3. Коршенбаум Ф.М. Покровно-надвиговые структуры Предгорного Дагестана //Сов. геология, 1985. -№6.- С.101-105.
4. Геодинамический эффект создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях /Левкович Р.А., Дейнега Г.И., Каспаров С.А.и др.- М.: Наука, 1982.-76 с.
5. Магомедов Р.А. Гидрогеодинамический режим области Дагестанского клина Восточного Кавказа в связи с сейсмичностью. ПБОЮЛ «Бисултанова», Мхачкала,2003.- 204 с.
6. Магомедов Р.А. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды ИГ ДНЦ РАН. Выпуск 56.- Махачкала, 2010 . - С. 80-90.
7. Сорохтин А.Г. Напряженное состояние и тектонические разломы в литосфере Земли //Докл. АН СССР. - 1973. –Т.212, №4. С. 856-859.
8. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика. -М.: Изд-во МГУ, 1983, -328

УДК 551.1

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИПОЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В РАЙОНЕ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЕС В ПЕРИОД КИЗИЛЮРТОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1999 г. В ДАГЕСТАНЕ

Идармачев [2] Ш.Г., Даниялов [1]М.Г., Магомедов [1]Х.Д.
[1]ФИЦ Единая геофизическая служба РАН
[2]Институт геологии ДНЦ РАН

Рассматриваются данные дипольного электрического зондирования Хадумского купола, расположенного в центре Сулакского каскада ГЭС в Дагестане в период сильного землетрясения, происшедшего 31 января 1999 г. Перед основным толчком и сильными афтершоками в интервале магнитуд 5.7 – 4.6 зарегистрированы аномальные уменьшения кажущегося электрического сопротивления массива горных пород на 85–20%. Предполагается, что эти вариации связаны с сжатием-растяжением вертикальных трещин, секущих Хадумский купол.

The results of the DIPOLE ELECTRICAL SOUNDING IN the AREA of CHIRKEY HPP IN the period of the KIZILYURT EARTHQUAKE of 1999 IN DAGESTAN

Idarmachev[2] Sh.G. Daniyalov[1] M.G., Magomedov[1] H.D.
[1]United geophysical service RAS
[2]Institute of Geology Dagestan scientific center of RAS

Focuses on data of dipole electrical sounding Kadomskogo dome located in the center of Sulak cascade of hydroelectric power stations in Dagestan in a period of strong earthquakes, praised-Szego January 31, 1999 Before the main jolt and strong aftershocks in the range of magnitude 5.7 to 4.6 was anomalous decrease in the apparent electrical resistance of the array of mountains among rocks on 85-20%. It is assumed that these variations are connected with the compression-tension vertical fractures, intersecting Gadomski dome.

Введение. Каскад Сулакских ГЭС, состоящий из Чиркейской, Миатлинской и Кизилюртовской, располагается в наиболее сейсмоопасной зоне Северного Кавказа в полосе перехода горной части Дагестана в предгорную, где в ретроспективный период располагались очаги сильных землетрясений. Самая крупная из них Чиркейская ГЭС. Плотина ГЭС высотой 232 м преграждает реку Сулак в Чиркейском ущелье, образуя водохранилище объемом 2.9 км^3. Все три ГЭС располагаются компактно друг за другом в западной части афтершоковой области сильного землетрясения 14 мая 1970 г. с магнитудой 6.6 [1].

При заполнении Чиркейского водохранилища в 1974–1975 гг. было отмечено резкое увеличение числа слабых толчков [2], а затем, при превышении уровня воды 100 м относительно основания плотины ГЭС, произошло несколько землетрясений, которые получили названия «Каранайский рой», «Салатауское» и «Буйнакское» землетрясения с магнитудами 4.5, 5.0 и 5.2, соответственно [3, 4].

После заполнения водохранилища район исследований длительное время по настоящий день продолжает оставаться одним из самых сейсмоактивных на территории Дагестана. Как показало сейсмическое событие с магнитудой M=5.7, происшедшее 31 января 1999 г., опасность возникновения нового сильного землетрясения в районе весьма велика. Поэтому изучение предвестников землетрясений в районе Сулакского каскада ГЭС имеет важное прикладное значение.

Исходные данные и методика наблюдений

Для анализа использовались данные Дагестанского филиала ФИЦ Единой геофизической службы РАН и дипольного электрического зондирования Хадумского купола [5, 6]. Хадумский купол расположен между Чиркейским и Миатлинским водохранилищами. Абсолютная высотная отметка купола составляет 900 *м*. Максимальная высота относительно уровня водохранилища составляет 600 *м*.

Электрическое зондирование осуществляется ежедневно. Схема расположения генераторной и приемной станций показано на рис. 1.

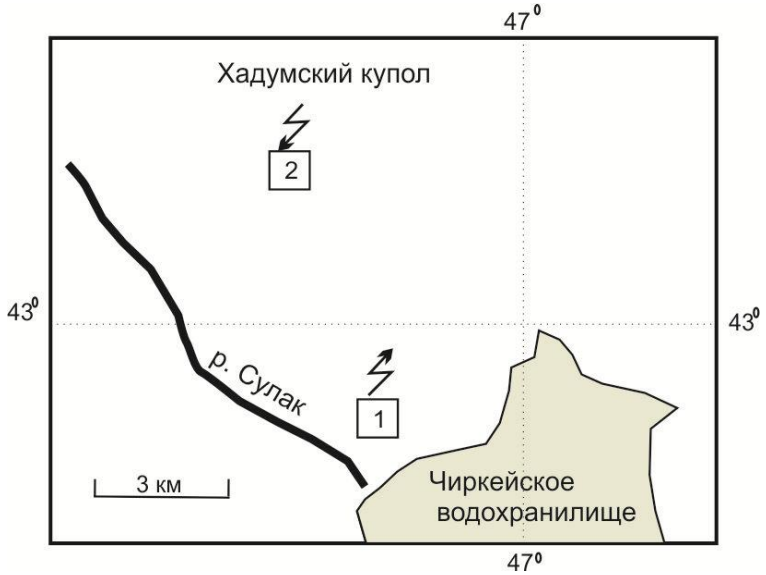


Рис. 1. Схема Хадумского купола: 1 – генераторная станция; 2 – приемная станция

Для создания электрического поля в земле используется излучающий диполь длиной 700 *м*, который располагается в южной части основания купола, а приемный диполь длиной 150 *м* закреплен в населенном пункте Дубки, который находится на его вершине купола. Для электрической линии приемного диполя, соединяющей приемные электроды с цифровым вольтметром, используется сталемедный геофизический провод сопротивлением изоляции 100 *МОм*. Провода диполя подвешены на столбах с изоляторами, чтобы исключить электрические утечки на землю. Приемные электроды, состоящие из свинцовых пластин, закопаны в земле на глубине 1 *м*. Разность поляризации электродов не превышает ΔU_1=25 *мВ*. Расстояние между излучающим и приемным диполями равно 5.6 *км*. Излучающий диполь питает генератор мощностью 25 *кВт*. В землю при помощи электрической линии, концы которой соединены с десятью металлическими штырями, забитыми в грунт, пропускают ток I=20–25*А* в виде серии из 50 знакопеременных импульсов прямоугольной формы. Для исключения возможных утечек тока на землю провод линии подвешен на столбах с изоляторами. Одновременно на питающей и приемной станциях производится запись зондирующих импульсов, а затем определяются средние значения амплитуд тока в питающей линии I и разности потенциалов на приемной линии ΔU. Для измерений используются цифровые вольтметры класса точности ±2%. Величина кажущегося удельного электрического сопротивления горных пород определяется по формуле:

$$\rho_к = к\ (\Delta U/I) \qquad (1)$$

где к – геометрический коэффициент дипольной установки, зависящий от расстояния и азимутального угла между диполями.

Среднеквадратичное отклонение результатов измерений не превышает ±5–6%.

В графическом виде на рис. 2 результаты измерений представляются как отклонения, выраженные в процентах относительно первоначально измеренного значения $\rho_к^1$, т.е. $(\Delta\rho_к/\rho_к^1)\cdot 100\%$.

Обсуждение результатов

Измерения были начаты 16.11.1998 г. Вначале для короткого периода времени с 26.12.1998 по 27.01.1999 гг. измерения не производились по техническим причинам.

На рис. 2 представлены графики исходных данных $\rho_к$ (а), а также его сглаженной формы (б). На нем отмечены времена четырех сильных толчков Кизилюртовского землетрясения.

По данным [5], всего за год, было зарегистрировано более 700 повторных толчков с энергетическими классами $К \geq 6.0$ (где К= lg E, *Дж*).

На рис. 2 можно видеть уменьшение $\rho_к$ перед каждым из сильных толчков, а после, наблюдается полное или частичное восстановление, при этом, длительности этих периодов разные, например, для 1-го и 2-го толчков они составляют 13 и 27 суток, соответственно, а для 3 и 4 – 63 и 90 суток.

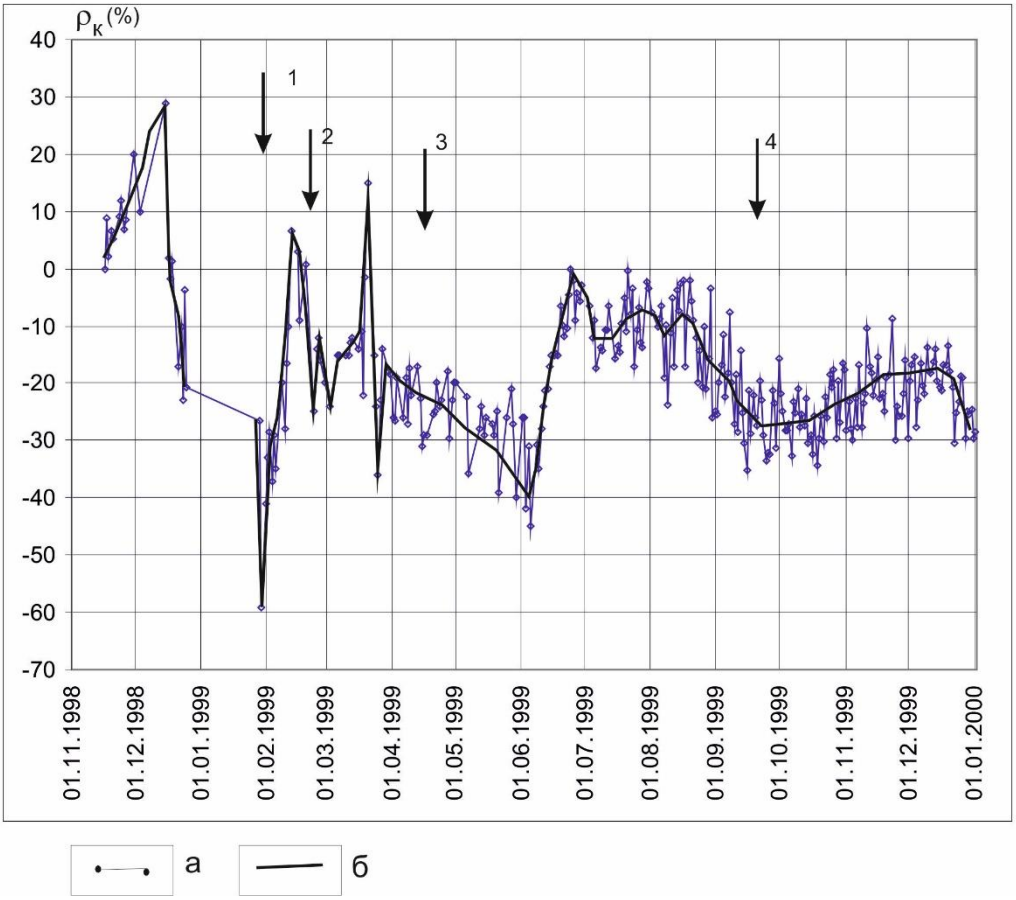


Рис. 2. Графики кажущегося удельного электрического сопротивления горных пород Хадумского купола: а – исходный ; б – слаженный

В табл. 1 приведены данные аномальных изменений $\rho_к$, гипоцентральных расстояний (r) до генераторной станции установки дипольного зондирования, глубин очагов (h) и расчетные значения амплитуд аномальных деформаций ($\Delta\varepsilon/\varepsilon$) предвестников землетрясений на удалениях r. Для оценки $\Delta\varepsilon/\varepsilon$ использовалась формула Зубкова [7]:

$$\Delta\varepsilon/\varepsilon = 10^{0.37M-6.89} / r^{0.85} \qquad (2)$$

Таблица 1

№ толчка	Магнитуда	$\Delta\rho_к/\rho_{к,\%}$	r, *км*	h, *км*	$\Delta\varepsilon/\varepsilon$
1	5,7	0,85	36	33	$7{,}8\cdot10^{-7}$
2	5,0	0,30	33	32	$5{,}0\cdot10^{-7}$
3	4,8	0,40	27	8	$4{,}4\cdot10^{-7}$
4	4,6	0,20	33	29	$3{,}1\cdot10^{-7}$

Анализ аномалий уменьшения $\rho_к$ перед всеми сильными толчками землетрясения 1999 г., а также восстановление $\rho_к$ после землетрясений позволяет сделать вывод о связи этих вариаций $\rho_к$ с деформационными процессами, происходящими в области очагов землетрясений, как в периоды их подготовок, так и сброса упругих напряжений после землетрясения. Из табл. 1, видно, что гипоцентральные расстояния, за исключением землетрясения №3, отличаются незначительно от глубин очагов, т.е., очаги землетрясений №1, №2 и №4 располагаются практически под наблюдательным пунктом и могут вызвать деформацию горных пород в районе измерительного пункта пропорционально магнитуде землетрясений.

Заключение

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что массив горных пород Хадумского купола обладает высоким коэффициентом тензочувствительности по электрическому сопротивлению, которая определяется формулой $T=(\Delta\rho_к/\rho_к)/(\Delta\varepsilon/\varepsilon)$. Среднее значение T, рассчитанное по данным, приведенным в табл. 1 равно $0.77\cdot10^6$. Природа такой аномально высокой тезочувствительности пород Хадумского купола пока не ясна, однако понятно, что такого порядка изменения удельного электрического сопротивления в реальной среде вследствие деформации произойти не могут и тем более в упругом режиме. Например, при одноосном сжатии больших образцов пород в лабораторных условиях разрушение наступает при изменении электрического сопротивления на 30% [8]. Можно только предположить, что вариации $\rho_к$ могут быть связаны с процессом сжатия-растяжения трещинных зон вертикального простирания, секущих Хадумский купол, которые могут являться «природными усилителями» изменения $\rho_к$ от деформации.

В геологическом плане Хадумский купол состоит в основном из высокомных карбонатных пород. Величина $\rho_к$=900 *Ом·м*. Это подтверждает обезвоженность пород расположенных выше уровня водохранилища. Сжатие-растяжение вертикальных трещинных зон может вызвать изменение площади контакта между блоками в зоне между питающим и приемным диполями, тем самым, создавая слои изолирующие электрическое поле от приемного диполя. При отсутствии воды в трещинах воздушные прослойки между питающим и приемным диполями могут служить своего рода изоляторами. Вариации $\rho_к$=85% зарегистрированы впервые (для справки, из литературных источников издательств академии наук СССР, США, Китая, Италии и др. известные максимальные амплитуды изменения $\rho_к$ в сейсмоактивных районах перед землетрясениями не превышают 40% [9, 10]).

Таким образом, анализ результатов, полученных в районе Хадумского купола, показал, что метод дипольного электрического зондирования является эффективным средством для контроля над импульсными геодинамическими процессами в земной коре (землетрясениями), представляющими опасность для района Сулакского каскада ГЭС и ближайших к нему населенных пунктов.

Выводы:

1. Перед главным толчком Кизилюртовского землетрясения 1999 г. впервые в практике электромагнитных исследований горных пород на сейсмопрогностических полигонах перед сильным землетрясением M=5.7 на эпицентральном расстоянии сравнимым с длинной разрыва очага (L=16.6 *км)* зарегистрировано уменьшение $\rho_к$ с максимальной амплитудой 85%. Перед всеми сильными афтершоками с M=5.0, 4.8 и 4.6 также наблюдались вариации $\rho_к$ на 30%, 40% и 20%, соответственно.

2. Среднее значение коэффициента тензочувствительности массива пород в районе Хадумского купола по $\rho_к$, определенная по результатам дипольного зондирования во время названного землетрясения, составляет $T=0.77\cdot10^6$. Для объяснения столь высокого значения коэффициента T предлагается модель сжатия-растяжения субвертикальных трещинных зон, секущих купол. При деформации растяжения земной коры вертикальные трещины раскрываются, формируя зону, экранирующую поле питающего диполя от приемного диполя. Такой процесс приводит к уменьшению разности потенциалов на приемной станции и соответственно кажущегося сопротивления пород.

Литература

1. Арефьев С.С., Стасюк Е.И., Ривера Л. Модель очага дагестанского землетрясения 1970 г. //Физика Земли. – 2004. – №2. – С. 15–27.
2. Идармачев Ш.Г., Левкович Р.А., Арефьев С.С. и др. Изменение некоторых характеристик сейсмичности района Чиркейской ГЭС в период его заполнения. Сейсмической режим территории Дагестана. Махачкала: Институт геологии Дагестанского филиал АН СССР. – 1977. – Вып.1. – С. 3–9.
3. Асманов О.А., Арефьев С.С., Идармачев Ш.Г. и др. Салауское землетрясение 23 декабря 1974 г. в Дагестане //Землетрясения в СССР в 1975. М.: Наука. – 1976. – С. 43–52.

4. Левкович Р.А. Буйнакское землетрясение 9 января 1975г. //Сейсмический бюллетень Кавказа 1975 г. Тбилиси: Мацниереба. – 1977. – С. 171–192.
5. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана. Махачкала.:Эпоха. – 2007. – 393 с.
6. Даниялов М.Г., Идармачев Ш.Г., Левкович Р.А. Вариации кажущегося сопротивления горных пород в связи с сейсмичностью территории Дагестана //Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2006. – №25. – С. 17–20.
7. Зубков С.И. О краткосрочных предвестниках землетрясений //Физика Земли. – 1993. – № 9. – С. 67–70.
8. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. – 2003. – 269 с.
9. Идармачев Ш.Г., Барсуков О.М., «Плотинные» землетрясения и вариации электросопротивления массива горных пород в районе Чиркейского водохранилища //ДАН СССР. – 1978. – Т. 240. – № 2. С. 301–305.
10. 10.Bella F., Biargi P., Della M. G. et all. Some possible precursors of the main earthquake of the Torniparte (Central Italiy); Seismic sequence occurred in 1985 //Nuovo cim. C. – 1987. – Vol. 10. – No. 4. P. 455–463.

УДК 550.34.06.013.3

ИЗМЕНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ПЕРИОД НАПОЛНЕНИЯ ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Идармачев Ш.Г., Мусаев М.А.
Институт геологии ДНЦ РАН

Сделан анализ сейсмической активности района Чиркейского водохранилища, за период 1971–2015 гг. Показано, что заполнение водохранилища в течение периода 1974–1976 гг. привело к всплеску сейсмической активности территории площадью 2000 км^2 вокруг водохранилища.

Ключевые слова: сейсмическая активность, Чиркейское водохранилище, класс землетрясений, сезонные колебания уровня воды.

CHANGE OF SEPARATE PARAMETERS OF SEISMIC REGIME IN THE PERIOD OF FILLING OF THE CHIRKE WATER RESERVOIR

Idarmachev Sh.G., Musaev M.A.
Institute of Geology, Dagestan scientific center, RAS

The analysis of seismic activity in the area of the Chirkey water reservoir, for the period 1971-2015. it is Shown that the filling of the reservoir during the period 1974-1976 led to a surge in seismic activity of an area of 2000 km2 around the reservoir.

Keywords: seismic activity, Chirkey reservoir, earthquake class, seasonal fluctuations in water level.

Исследование сейсмической активности района Чиркейской ГЭС проведено в авторами работ [4] для различных периодов наблюдений. Накопившиеся к настоящему времени сейсмологические данные, полученные Дагестанским филиалом Единой Геофизической службой РАН, позволяют рассмотреть отдельные параметры сейсмического режима данного района повторно в более расширенном виде.

Временные вариации основных параметров сейсмического режима по региональному каталогу для территории Дагестана за период 1960–2005 гг. [2] показывают, что сейсмичность области после землетрясения 1970 г. резко возросла и остается на высоком уровне, чем прежде, даже 25 лет спустя. Одно из объяснений этого явления идея о наложении на афтершоковый процесс наведенной в данном районе сейсмичности в связи с заполнением Чиркейского водохранилища [1]. Поэтому в настоящей работе проведен анализ отдельных параметров сейсмичности для данного района, начиная со второй половины 1971 г. до конца 2015 г. Такой выбор начала наблюдений был сделан из предположения, что к данному периоду произошло завершение афтершокового периода землетрясения 14 мая 1970 г.

Для анализа использовался региональный каталог землетрясений Дагестанского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». По нему строился график сейсмической активности A_{10} для двух разных площадей с радиусами 25 км и 50 км, центром которых являлось Чиркейское водохранилище.

Расчет параметра A_{10} проводился по известной формуле [3], который показывает какое число землетрясений, приведенных к энергетическому классу К=10 произошло на площади 1000 км^2 в единицу времени:

$$A_{10} = \frac{1000}{ST} \frac{\sum_{K\min}^{K\max} 10^{\gamma(K-10)} \cdot N_k}{K_{\max} - K_{\min} + 1} \qquad (1)$$

где S – площади двух областей, принимаемые нами равными 2240 км^2 и 8950 км^2 для радиусов с центром «водохранилище» 25 и 50 км, соответственно; T – период наблюдений, равный одному году; K = lgE – энергетический класс землетрясения (E – энергия землетрясения в Дж); γ – угловой коэффициент графика повторяемости, равный для данного района 0.47;

$N_к$ – число произошедших землетрясений, соответствующих энергетическому классу К; K_{min} – уровень представительности (для рассматриваемой территории мы принимали K_{min} = 8); K_{max} – максимальный класс землетрясений, наблюденных на площадях S за рассматриваемый год.

График изменения во времени сейсмической активности A_{10} построен для скользящего года с шагом в 0.5 года.

Полученные графики сейсмической активности приведены на рис. 1. Здесь же приведен график заполнения водохранилища. Заполнение началось в июле 1974 г. и достигло своего проектного уровня 230 м в сентябре 1976 г. Сезонные колебания уровня воды Чиркейского водохранилища составляют в среднем 35–40 м, с максимумом в июле-августе и минимумом в марте-апреле.

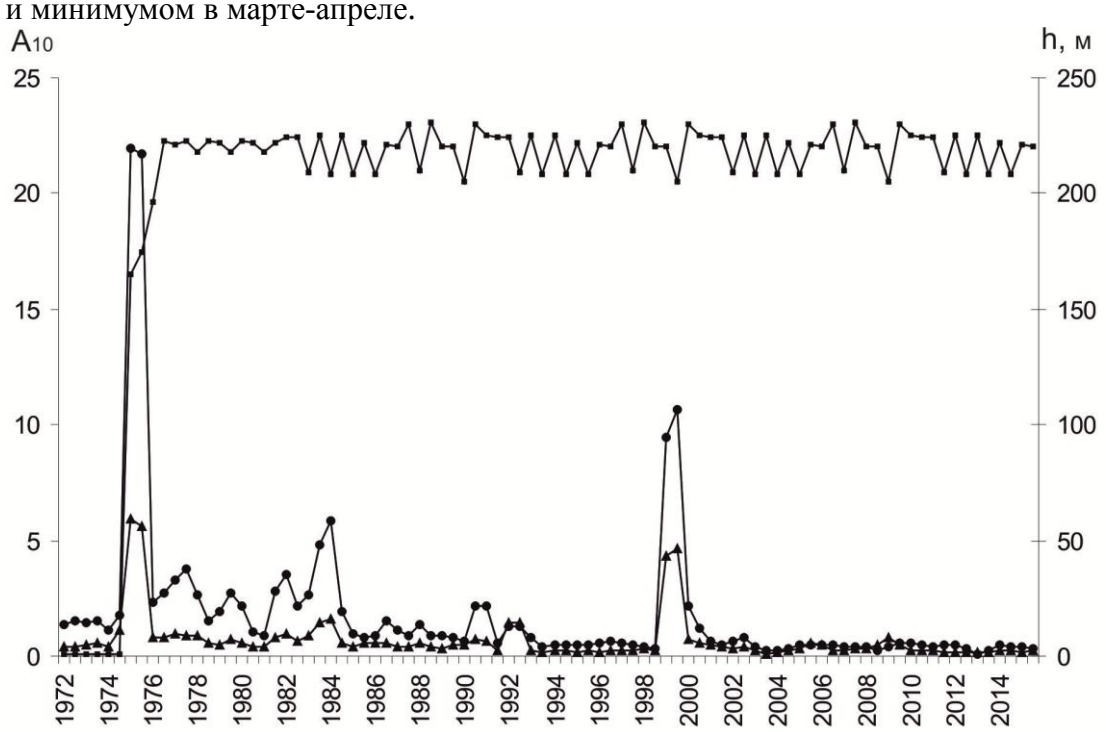


Рис. 1. Графики изменения во времени сейсмической активности (круглые точки – для площади с радиусом 25 км; треугольники – для площади с радиусом 50 км) и уровня воды в водохранилище (квадратные)

Полученные графики A_{10} практически «дублируют» друг друга (коэффициент корреляции 0,9). Это означает, что наибольшее количество землетрясений произошло на площади, ограниченной радиусом 25 км. Максимальная амплитуда графика A_{10} по времени совпадает с периодом наполнения водохранилища, которое началось во второй половине 1974 г., когда уровень воды в верхнем бьефе плотины достиг 125 м, т.е. половины своей проектной величины. Основные пики графиков A_{10} соответствуют периодам 1974–1976 гг. и 1999–2000 гг., когда произошли сильные землетрясения: в декабре 1974 г. – К=13,6, в январе 1975 г. – К=14,0 и в январе 1999 г. – К=14,5. Особенностью этих трех землетрясений в районе Чиркейского водохранилища является то, что они предварялись многочисленными форшоками, что является характерной для плотинного типа землетрясений [5].

Таким образом, анализ сейсмичности района Чиркейской ГЭС за период 1971–2015 гг. позволяет сделать вывод о том, что заполнение водохранилища привело к увеличению его активности.

Динамику развития сейсмических событий при заполнении Чиркейского водохранилища, можно посмотреть на Youtube (https://youtu.be/OWqQdnkMyn0).

Вывод:

Заполнение Чиркейского водохранилища привело к значительному увеличению сейсмической активности прилегающего к нему района на площади, ограниченной радиусом 25 км. При достижении уровня воды 120 м параметр, характеризующий сейсмическую активность A_{10}, скачком увеличился более чем на порядок по сравнению со средней ее величиной до начала заполнения. Аномально высокая активность продолжалась в течение трех неполных лет: 1974–1976 гг.

Литература

1. Арефьев С.С., Стасюк Е.И., Ривера Л. Модель очага Дагестанского землетрясения 1970 г. // Физика Земли. 2004. № 2. С. 15–27.
2. Арефьев С.С., Идармачев Ш.Г. Сейсмичность территории Дагестана за период 1960-2005 гг. // Мониторинг природных катастроф. Махачкала: «Aleph». 2010. С. 12–19.
3. Бунэ В.И. Сейсмический режим Вахшского района Таджикской ССР. Душанбе: АН Тадж. ССР, 1965. С. 71–128.
4. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Алиев И.А., Абдулаев Ш.-С.О., Идармачев А.Ш. Возбужденная сейсмичность в районе Чиркейского водохранилища и ее проявления в геофизических полях. Махачкала: «Aleph». 2012. 103 с.
5. Rothe J.P. Seismic Artificials . Tectonophysics. 1970. Vol. 9. No. 2. P. 215–238.

УДК 550.349

РАЗВИТИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА

Мирзалиев М.М.

Единая геофизическая служба РАН, Махачкала, Россия. e-mail: info@dbgsran.ru

В данной статье анализируется динамика развития инструментальных сейсмологических наблюдений на территории Дагестана, комплектация цифровых сейсмических станций, организация локальной сейсмологической сети в районе Сулакского каскада ГЭС.

Ключевые слова: сейсмологические наблюдения, аналоговые и цифровые сейсмостанции, локальная сеть, каскад ГЭС.

THE DEVELOPMENT OF SEISMIC MONITORING ON THE TERRITORY OF DAGESTAN

M. M. Mirzaliyev
United geophysical service of RAS, Makhachkala, Russia

The article represents the dynamics of development of instrumental seismic observations on the Dagestan territory, digital seismic recording systems equipment, the organization of local seismic net in the region of hydroelectric station Sulaksky cascade.

Key words: seismic observation, analog and digital seismic recording systems, local net, hydroelectric station cascade.

Территория Дагестана относится к самым сейсмически активным районам европейской части России. Как в историческом прошлом, так и в последние годы, на территории Дагестана произошли сильные и разрушительные землетрясения

анализируется динамика развития инструментальных сейсмологических наблюдений на территории Дагестана, комплектация цифровых сейсмических станций, организация локальной сейсмологической сети в районе Сулакского каскада ГЭС.

В 1994 году на базе опытно-методических экспедиций и партий была создана Геофизическая служба РАН с главной задачей проведения непрерывного сейсмологического мониторинга территории России и отдельных её регионов. Также для сейсмического районирования и прогноза землетрясений с оперативным оповещением центральных, местных органов исполнительной власти, заинтересованных ведомств и организаций о произошедших сейсмических событиях.

Объектом исследования Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН является землетрясение, рассматриваемое в нескольких аспектах, основными из которых являются сейсмический режим, уровень сейсмической опасности, природа сейсмогенеза (в том числе и природа «техногенных» землетрясений). Также исследуются изменения физических, геохимических и других полей, сопутствующих подготовке землетрясений, которые рассматриваются как предвестники с ориентацией в последующем на прогноз землетрясений [3].

В настоящее время на территории Дагестана развернута сеть сейсмических наблюдений, которая позволяет фиксировать сейсмические события различного масштабного уровня.

Для проведения сейсмологических и др. наблюдений с целью изучения сейсмического режима территории Дагестана и сопредельных районов, а также для поиска предвестников землетрясений в рамках ДФ ГС РАН задействованы 16 сейсмических станций, 1 геохимическая и 2 геофизических станций и пункты наблюдений.

Схема расположения наблюдательной сети ДФ ФИЦ ЕГС РАН показана на рис.1.

За последние десятилетия в системе сейсмических наблюдений на территории Дагестана произошли значительные изменения.

До 2008 г. сейсмологические наблюдения проводились фотогальваническим методом. Начиная с 2008 г. сейсмические станции оснащается современными отечественными цифровыми сейсмостанциями.

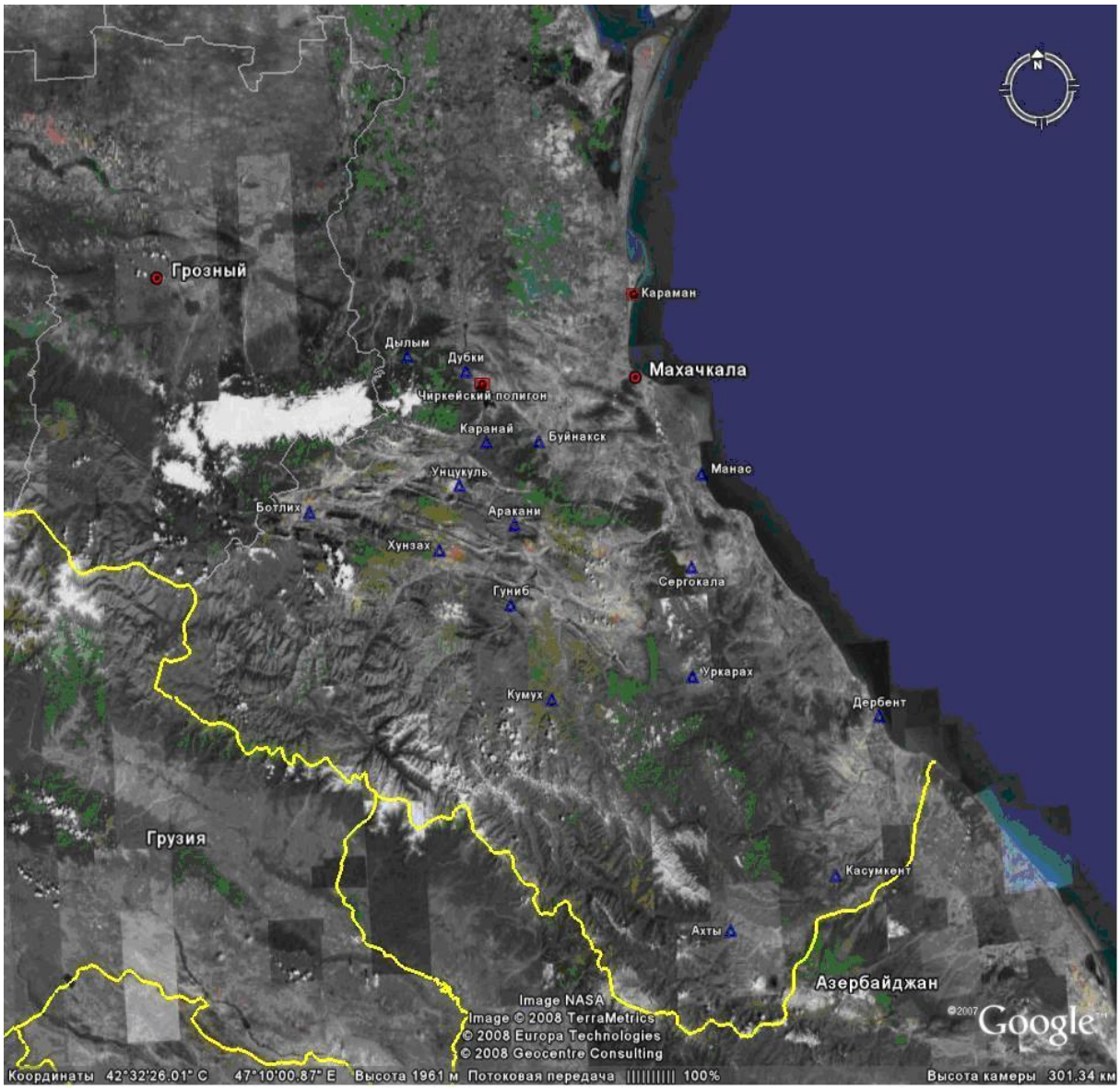


Рис.1. Размещение наблюдательной сети ДФ ФИЦ ЕГС РАН.

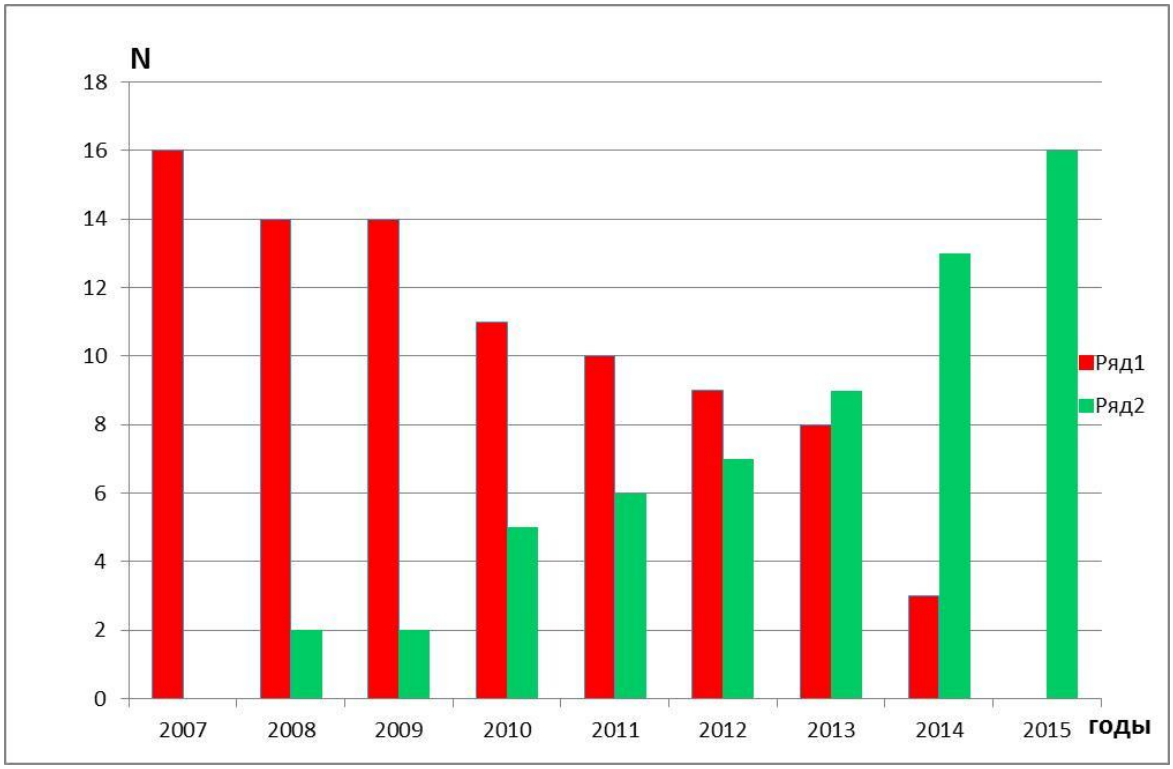
По программе модернизации наблюдательной сети, с целью повышения качества информативности получаемой сейсмической информации к концу 2015г. количество цифровых сейсмических станций достигло 16. Цифровые станции полностью заменили аналоговые станции с гальванической формой записью. Цифровые станции типа SDAS и UGRA позволяют вести регистрацию в непрерывном режиме на трёх каналах. Динамический диапазон регистрации сейсмических событий составляет 96 дб (16-разрядов АЦП) для станции SDAS и 120 дб (24 разряда АЦП) для станции UGRA, частотный диапазон составляет 0-30 гц. Частота квантования при оцифровке задана в пределах от 20 до 100 отсч/сек [4].

Все цифровые станции подключены к сети Интернет и передают информацию в Центр обработки в режиме реального времени.

Динамика модернизации наблюдательной сети Дагестана показана в таблице 1 и на рис.2.

Таблица 1
Количество сейсмостанций наблюдательной сети Дагестана

Года / Станции	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Аналоговые	16	14	14	11	10	9	8	3	-
Цифровые	-	2	2	5	6	7	9	13	16



N – Количество сейсмостанций;
Ряд 1 – аналоговые сейсмостанции;
Ряд 2 – цифровые сейсмостанции

Рис. 2. Динамика модернизации наблюдательной сети ДФ ФИЦ ГС РАН.

В течение 2015 года были выполнены работы по монтажу и пуску-наладке локальной автоматической сейсмологической сети и ее внедрению в систему мониторинга уровня безопасности гидротехнических сооружений ОАО «Русгидро». С созданием локальной автоматической сейсмологической сети удается обеспечить регистрацию сейсмических событий малой энергии и их высокоточную локализацию, позволяющие фиксировать сейсмические события, связанные с подвижками крупных оползневых массивов, что может иметь важное значение для обеспечения безопасности гидротехнических сооружений.

Локальная система автоматического сейсмологического мониторинга каскада ГЭС на реке Сулак включает в себя 13 пунктов наблюдений, в том числе 7 существующих станции региональной сети Дагестанского Филиала ЕГС РАН и оборудована цифровыми сейсмическими датчиками типа CMG-6TD (GSL, Великобритания) [5]

Краткая характеристика и место установки цифровых станций показаны в таблице №2

Таблица №2
Аппаратура цифровых сейсмостанций

№ п/п	Станция код.	Координаты, h, м		Тип прибора	Переч. каналов	Част. диап.	Част. опросов	Разряд АЦП	Дата Откр.
		φ, ^{0}N	λ, ^{0}E						
1	Дубки DBC	43.0216 850м	46.8410	SDAS СМ3-кв	SH(NZE) SL(NZE)	0.5-30 0.5-30	40 40	16 16	01.11. 2008г.
2	Гуниб GNBR	42.3893 1210м	46.9638	SDAS СМ3-кв	SH(NZE) SL(NZE)	0.5-30 0.5-30	40 40	16 16	19.09. 2008г.
3	Ботлих BTLR	42.6653 970м	46.2192	UGRA СМ3-кв	SHN SHZ SHE	0.5-30 0.5-30 0.5-30	50 50 50	24 24 24	28.06. 2010г.
4	Ахты AKT	41.4793 1115м	47.7148	UGRA СМ3-кв	SHN SHZ SHE	0.5-30 0.5-30 0.5-30	50 50 50	24 24 24	17.10. 2010г.
5	Дербент DRN	42.0204 -20м	48.3318	UGRA СМ3-кв	SHN SHZ SHE	0.5-30 0.5-30 0.5-30	50 50 50	24 24 24	02.09. 2010г.
6	Хунзах XNZR	42.5451 1680м	46.7053	UGRA СМ3-кв	SHN SHZ SHE	0.5-30 0.5-30 0.5-30	50 50 50	24 24 24	21.07. 2011г.
7	Уркарах URKR	42.1649 1330м	47.6310	UGRA СМ3-кв	SHN SHZ SHE	0.5-30 0.5-30 0.5-30	50 50 50	24 24 24	20.06. 2012г.
8	Буйнакск BUJR	42.8208 480м	47.1039	UGRA СМ3-кв	SHN SHZ SHE	0.5-30 0.5-30 0.5-30	50 50 50	24 24 24	14.06. 2013г.
9	Караман KANR	43.196 -25м	47.489	UGRA СМ3-кв	SHN SHZ SHE	0.5-30 0.5-30 0.5-30	50 50 50	24 24 24	01.12. 2013г.
10	Сергокала SGKR	42, 4576 560 м	47,6556	UGRA СКМ- 3	SHN SHZ SHE	0,5-30 0,5-30 0,5-30	50 50 50	24 24 24	06.11. 2014 г.
11	Дылым DLMR	43,0730 660 м	46,6187	UGRA СКМ-3	SHN SHZ SHE	0,5-30 0,5-30 0,5-30	50 50 50	24 24 24	12.11 2014 г.
12	Каранай KRNR	42,8267 1250 м	46,9053	UGRA СКМ-3	SHN SHZ SHE	0,5-30 0,5-30 0,5-30	50 50 50	24 24 24	19.11. 2014 г.
13	Аракани ARKR	42,6021 760 м	46,9942	UGRA СКМ-3	SHN SHZ SHE	0,5-30 0,5-30 0,5-30	50 50 50	24 24 24	20.11. 2014 г.
14	Касумкент KSMR	41,6023 930м	48,1246	UGRA СКМ-3	SHN SHZ SHE	0,5-30 0,5-30 0,5-30	50 50 50	24 24 24	16.06 2015г.
15	Унцукуль UNCR	42,7155 780м	46,7929	UGRA СКМ-3	SHN SHZ SHE	0,5-30 0,5-30 0,5-30	50 50 50	24 24 24	01.08 2015г.
16	Кумух KMKR	42,1287 1895м	47,0977	UGRA СКМ-3	SHN SHZ SHE	0,5-30 0,5-30 0,5-30	50 50 50	24 24 24	21.10 2015г.

Выводы:

С переходом на цифровую форму записи сейсмических событий значительно расширятся возможности изучения умеренной и слабой сейсмичности региона, а уровень надежной регистрации землетрясений приблизится к энергетическому классу К≥6, за исключением некоторых участков прилегающей территории Грузии и Азербайджана.

В связи с заменой аналоговой формы записи сейсмических событий на цифровую запись в течение короткого периода времени будет получена полная характеристика сейсмических событий для Дагестана и прилегающих территорий, значительно улучшится качество сейсмического материала, расширятся потенциальные возможности анализа получаемой информации.

Модернизация аппаратуры с заменой аналогового оборудования на цифровое приведет к повышению чувствительности отдельных станций, не менее чем на 10-20%. Причиной этому послужит возможность повышения отношения сигнал/шум за счёт применения подобранных для каждой станции полосовых фильтров и поляризованного анализа записи.

Модернизация наблюдательной сети необходима не только для повышения чувствительности сети, улучшения точности определяемых параметров землетрясений, но и для ускорения процесса получения оценок землетрясений, что чрезвычайно важно для быстрого реагирования служб спасения при уже произошедшем разрушительном землетрясении.

Повышение чувствительности сети позволит повысить надежность и объективность результатов анализа напряженного состояния земных недр, что напрямую связано с решением задач прогноза землетрясений.

Локальная автоматизированная сейсмологическая сеть создается с целью слежения за сейсмическим режимом в районе гидроузлов и водохранилищ, для оценки влияния режима эксплуатации (наполнения и сработки) водохранилища на изменение сейсмического режима, контроль возбужденной техногенной сейсмичности, снижения рисков возникновения аварийных ситуаций.

Литература

1. Сейсмическая активность территории центрального Дагестана. М.: «Лика» 2003,134 с.
2. Даниялов М.Г., Левкович Р.А., Мирзалиев М.М. и др. «Сейсмический мониторинг территории Дагестана (1998-2002 гг.)» М.; «Лика» 2003, 178 с
3. Сейсмический мониторинг и изучение геодинамики территории Дагестана и акватории Среднего Каспия. Махачкала, «Эпоха», 2007, 227 с.
4. «Цифровая сейсмическая станция SDAS». Описание и инструкция по эксплуатации. Обнинск. 2004, 94 с.
5. Даниялов М.Г., Магомедов Х.Д. О создании локальной сети сейсмологических наблюдений Дагестанского филиала ОАО «РусГидро». Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы. Обнинск. ГС РАН, 2015. С. 106-110.

УДК 550.34

ПРИЧИНЫ ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА КРУГЛОГОДИЧНОГО СЕЙСМОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ФЛЮИДОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

Керамова Р.А.

Республиканский Центр Сейсмологической Службы при Национальной Академии Наук Азербайджана (РЦСС при НАНА), г. Баку. e-mail: keramovar@mail.ru

Описывается предвестники землетрясений и автоматизированные технологии их предупреждения на основе мониторинга круглогодичного сейсмодинамического режима флюидов Азербайджана

Ключевые слова: техногенные землетрясения, автоматизированные технологии, сейсмодинамический режим, мониторинг.

THE CAUSES OF INDUCED EARTHQUAKES AND AUTOMATED TECHNOLOGIES FOR THEIR PREVENTION, BASED ON MONITORING THE YEAR-ROUND SEISMODYNAMICS REGIME OF FLUIDS OF AZERBAIJAN

Keramova R. A.

The Republican Seismological service Center of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku. e-mail: keramovar@mail.ru

Describes earthquake precursors and automated technologies for their prevention, based on monitoring the year-round seismodynamics regime of fluids of Azerbaijan

Key words: technogenic earthquakes, automated technology, seismodynamics mode monitoring.

Известно, что генетически землетрясения делятся на 3 типа: а) природно-тектонические; техногенные и исскуственно генерированные. Триггером (спусковым крючком) для будущего сейсмического события являются условия, которые возникли в геологической среде и тогда, независимо от этих причин, происходит короткопериодное нарушение равновесия - дестабилизация геодинамической и экологической обстановок на локальном участке Земли. В результате, происходит экстремальная трансформация геодинамической обстановки.

Природное, тектоническое землетрясение возникает в результате постепенного накопления в течение длительного времени (столетия, десятилетия) напряженно-деформационной энергии в конкретной сейсмогенной зоне и в конкретном очаге под влиянием геолотектонических и физико-химических процессов.

Процессы, которые контролируют техногенные и искусственные землетрясения и оползни также относятся к лавинно-неустойчивым. Этот тип событий провоцируется следующими условиями: а) механическое (бомбёжка), как многократное сотрясение локального участка Земли, если в его пределах имеются сейсмогенные зоны или же они удалены на некоторое расстояние от бомбардируемой зоны; б) энергетическое – искусственное нагнетание энергии повышенной мощности в короткий промежуток времени (меньше года) определёнными геофизическими приборами в геологическую среду, в конкретном регионе; в) быстрое наполнение водо- и газохранилищ в короткий промежуток времени (меньше года). В качестве примеров, которые являются причиной столь печальных последствий, можно привести процессы, которые возникают в следующих случаях: при использовании гигантских подземных хранилищ газа (ПХГ), которые предназначены для закачки, хранения и последующего его отбора; интенсивной добычи руд, а также – разработки угольных и нефтегазовых месторождений. Отметим, что аналогичное явление наблюдается также при закачке воды в скважины во время их эксплуатации для разных целей.

Изучая причины, вызывающие техногенные землетрясения, специалисты научно-исследовательских институтов различных стран (Россия, США, Германия, Испания и др.) пришли к важным выводам. Во-первых, главное значение имеет процесс закачки газа, воды или их отбор в больших объёмах, а также – наполнение водохранилищ значительной площади, который проводится под большим давлением с большой скоростью. Он обязательно приводит к разрыву геологических пластов. Этот процесс, в свою очередь, через какой-то промежуток времени, сопровождается колебаниями почвы, т.е. – землетрясениями и оползнями. В этом случае землетрясения редко бывают сильными и не превышают магнитуду, равную интервалу ml=3.0-3.9. Примером сейсмособытий, которые произошли по вышеуказанным причинам, являются землетрясения, очаги которых располагались в глубоких шахтах Скалистых гор Северной Америки, на западе США и Канады (1960 г.), шахтах Германии (2004, 2012 гг.), на газовом месторождении Туркмении (Газли, 1984 г.), в пределах Криворожского железорудного бассейна (Украина, Кривбасс – 2007, 2011, 2013 гг.), в испанской провинции Винарос, в районе подводного газохранилища "Кастор" (2013 г.) и т.д.

Ясно, что на данном этапе развития научных исследований в области прогноза землетрясений, независимо от причин их провоцирующих, природное, техногенное или искусственное землетрясение нельзя предотвратить, но уже можно предупредить. Чтобы превентировать стихийные, экстремальные геологические процессы необходимо проводить комплексные, специальные сейсмогеологические исследования. Эти работы обязательно должны быть представлены круглогодичным геодезическим, гравиметрическим и сейсмогеохимическим мониторингом окружающей среды. Безусловно, для указанных работ потребуется определённое финансирование, но оно себя оправдает, потому что на весы поставлена как человеческая жизнь в регионе, так и вся инфраструктура региона. Учитывая международные требования по безопасности окружающей среды, организациям, которые участвуют в указанных работах, в свете последних данных об активизации сейсмической обстановки и грязевулканической деятельности следует быть предельно осторожными. Однако, вышеуказанные изыскания чрезвычайно необходимы с целью оперативного предупреждения стратегических объектов от угрозы экстремального, короткопериодного изменения сейсмогеодинамической обстановки. Нужно иметь в виду, что наличие даже слабых сейсмических проявлений при проведении инженерно-технических мероприятий в конкретном регионе указывает на изменение сейсмического режима и свидетельствует об изменении напряженно-деформационного состояния на локальном участке геологической среды. Очевидно, что в зонах сейсмической активности необходима организация более детальных исследований с целью установления факторов, которые могут достоверно влиять на техногенные процессы.

Однако следует отметить, что уже сейчас в Азербайджане есть разработки, благодаря которым мониторинг окружающей среды вблизи вышеуказанных стратегических объектов с целью оперативного выявления сейсмической опасности является реальностью. Результаты этих исследований были получены в Отделении "Сейсмогеохимия" (до 2015 г.), и продолжены в отделе "Комплексные геохимические исследования" (2016-2017 гг.) РЦСС при НАН Азербайджана. Здесь, за 38 лет непрерывного мониторинга сейсмодинамического режима флюидов (СФД) в сейсмоактивных областях Азербайджана, была накоплена огромная "База статистических данных". Этот материал по длительности (1979-2017 гг.) круглогодичных наблюдений не имеет мировых аналогов. Однако, интенсивные работы в области сейсмопрогноза стали проводиться только после реализации в регионе сильных землетрясений: Лерикского (Азербайджан - 09.07.1998 г.; ml=5.5; h=14 км) и Каспийско-Бакинского (Юж. Каспий - 25.11.2000 г.; ml=6.0; h=33 км). Объектами круглогодичного мониторинга являются подземные трещинно-жильные и артезианские воды в источниках и скважинах, а также - морская Каспия, газы и эманации радиоактивных веществ на локальных участках поверхности Земли и растворённые в водах. Этот

вид исследований представлен режимными наблюдениями пространственно-временных вариаций флюидов сейсмогидрогеодинамическими (уровень и дебит флюидов в скважинах), и сейсмогеохимическими (сейсмогидрогеохимические, сейсмогазогеохимические, сейсморадиогеохимические) методами. Регион организации наблюдательной сети мегантиклинорий Большого Кавказа (южный и северо-восточный склоны азербайджанской части, а также - его юго-восточное окончание), Талышская сейсмогенная зона и прибрежная акватория Каспия.

В течение 1998-2008 гг. в Отделении "Сейсмогеохимия" РЦСС при НАНА для решения основных вопросов в области краткосрочного прогноза землетрясений, были разработаны как математическое, так и программное обеспечение только по результатам круглогодичного СФД мониторинга. Наши работы в этой области представлены тремя направлениями: а) круглогодичный, стационарный (1979-2017 гг.) и полевой (1979-2015 гг.) СФД мониторинг; б) разработка и внедрение экспресс-методов краткосрочного и оперативного сейсмопрогноза на основе математического аппарата; в) создание алгоритмов и программного обеспечения для оперативной оценки сейсмической обстановки и сейсмопрогноза в режиме "on-line" по аномалиям в СФД полях с высокой степенью достоверности; г) теоретическое – разработка модели механизма трансформации данных круглогодичного СФД мониторинга в информативный источник подготовки заключительного этапа землетрясений.

Целью СФД исследований в Отделении "Сейсмогеохимия" на 1-ом этапе работ (1979-1997 гг.) были: а) проведение сеймогеохимических и сейсмогидрогеодинамических полевых, съёмочных работ для выбора объектов наблюдений в наблюдательной сети СФД мониторинга; б) разработка унифицированных методов проведения химико-аналитических, газогеохимических и радиогеохимических видов анализа именно для круглогодичного СФД мониторинга, который имеет специфические особенности; в) создание сети стационарных наблюдательных станций для проведения круглогодичного СФД мониторинга; г) выявление предвестников сильных землетрясений (ml≥5.0) по аномалиям в СФД полях в Каспии и Азербайджане. Целью СФД исследований на 2-ом этапе работ (1998-2008 гг.) были исследования по разработке математического и программного обеспечения для краткосрочного и оперативного сейсмопрогноза по СФД полям. И, наконец, целью СФД на 3-ем этапе работ (2009- по настоящее время, 2017 г.) является: а) оперативная оценка сейсмической обстановки (ml≥3.0) в регионе по короткопериодным аномалиям в СФД полях; б) оперативное выявление "опасных" очаговых зон землетрясений по СФД полям.

В результате, на основе комплексного анализа данных "Базы СФД круглогодичного мониторинга в Азербайджане", сопоставлению их с "Базой данных по сейсмичности в акватории Каспия и на территории Азербайджана", которая составлена сейсмологами РЦСС при НАНА, а также с "Каталогом сильных землетрясений, реализованных в мире" за период времени 1986-2015 гг. были разработаны, протестированы и внедрены 4 (четыре) экспресс-метода расчёта: а) для выявления в ежедневном потоке данных СФД мониторинга (за 1 день: 316 значений по 17 параметрам на 27-ми объектах наблюдений) аномальных критериев; б - г) "диапазона-интервала" координат, магнитуды и времени, которое осталось до реализации прогнозируемого землетрясения [2-5].

Окончательным итогом этих исследований стало создание "Автоматизированной технологии №1 для оперативной оценки сейсмической обстановки и оперативного прогноза сильных землетрясений в разных регионах мира по аномалиям в СФД полях Азербайджана". Отметим, что одним из фундаментальных моментов, на котором она базируется, является разработка экспресс-метода идентификации местоположения (координат) прогнозируемых сейсмических очагов. Он получил название: идентификационный график (ИГ) или СФД "портрет" сейсмического очага (рис. 3.-4..) и позволяет определить 2 параметра прогнозируемого землетрясения: "диапазон-интервал" координат и времени, которое осталось до его реализации. В результате

исследований были выявлены две важные закономерности: а) СФД аномалии возникают и обнаруживаются только на заключительном, финальном этапе подготовки землетрясения; б) "портрет" сейсмического очага стабилен и индивидуален. Эмпирически и статистически было доказано, что финальный период равен 1÷16 дням [2-5]. На основе использования данного метода впервые были разработаны "Атласы эталонных СФД "портретов" очагов землетрясений, готовящихся к реализации" не только для Азербайджана и акватории Каспия, но и других регионов мира, в которых в течение 1986-2017 гг. произошли катастрофические и сильные землетрясения.

А в октябре 2014 г. была создана фундаментальная платформа нового программного обеспечения на принципиально новой основе. Это – "Автоматизированная технология № 2 для оперативной оценки сейсмической обстановки и оперативного прогноза сильных землетрясений в разных регионах мира на основе СФД мониторинга в Азербайджане". Скорость обработки данных СФД мониторинга и оперативная оценка сейсмической обстановки в регионе выросла с 12-14 часов до 3-4 часов за 1 день. При использовании данной технологии ежедневно выполняются следующие этапы работ: а) выявляется наличие или отсутствие аномалий (за 1 день: 305 значений по 17 параметрам на 26-ти объектах); б) по аномалиям в СФД полях оценивается сейсмическая обстановка в Каспии и Азербайджане (ml=3.0÷4.0) землетрясений; в) для прогнозируемого сейсмического события в конкретном регионе определяются "диапазоны-интервалы" его основных сейсмологических параметров: магнитуда, координаты и время реализации землетрясения в течение 1÷16 дней. В 2014 г. в указанном регионе произошло 7-м сильных землетрясений (ml=4.5÷5.7). Для 5-ти из них, был сделан корректный, правильный прогноз заранее, за 3÷10 дней. Положительный результат достоверности оперативной оценки сейсмической обстановки по аномалиям в СФД полях только за 2014 г. (результаты тестирования сразу после разработки) соответствовал 71%.

Обе "Автоматизированные технологии №1 и №2…" предназначены для одновременного решения в автоматическом режиме четырёх важных сейсмологических задач: 1) ежедневная обработка данных круглогодичного СФД мониторинга; 2) определение для прогнозируемых землетрясений основных параметров "диапазоны-интервалы" координат очага; магнитуды; времени, которое осталось до реализации сейсмособытия. 3) оперативная оценка сейсмической обстановки (ml≥3.0) в акватории Каспия и на территории Азербайджана; 4) оперативный сейсмопрогноз (mb≥5.0) для разных регионов мира.

Главное различие между разработанными "Автоматизированными технологиями №1 и №2…" представлено 2 параметрами: а) время, которое необходимо для получения конечного результата; б) формат "Докладной записки руководству". В первом случае, для выполнения работы по оперативной оценке сейсмической обстановки по СФД полям требуется 5÷6 часов рабочего времени, а последний этап ("Выводы" – "Докладная записка руководству") выполняется специалистом. Во втором – весь процесс работы целиком автоматизирован и завершается в течение 1÷2 часов, а автоматизированное заключение ("Докладная записка руководству") представляется в табличном и картографическом формате. Однако, достоверность полученных результатов при использовании 2-х указанных программных разработок для оперативной оценки сейсмической обстановки и оперативного сейсмопрогноза сильных землетрясений высока и достигает 70÷85 %. Отметим, что регионом использования вышеуказанных технологий являются не только территория Азербайджана и акватория Каспия, но охватываются и более удалённые сейсмоактивные зоны нашей планеты: 1. Кавказско-Каспийский регион: а) Каспийское море (ml≥3.0; h≥0 км); Азербайджан (ml≥3.0; h≥0 км); б) сопредельные страны (ml≥4.0; h≥0 км: Россия-Дагестан и даже - Чечня; Грузия; Армения). 2. Анатолийско-Иранский регион (mb≥5.0; h≥0 км: Турция; Иран). 3. Страны глубокофокусных сейсмогенных зон Гиндукуша (mb≥6.0; h≥90 км: Таджикистан; Афганистан; Пакистан). 4. Очаги катастрофических планетарных зем-

летрясений (mb≥6.5; h≥33 км), которые удалены на значительное расстояние (Δ ≥ 5000 км) от объектов круглогодичного мониторинга в Азербайджане: Италия; Индонезия; Япония; Чили; Филиппины.

Следует отметить, что, в настоящее время работы по ежедневной оперативной оценке сейсмической обстановки и оперативного сейсмопрогноза в различных сейсмоактивных регионах мира, дублируются и уточняются 2-мя автономными "Автоматизированными технологиями №1 и №2…". Однако, исследования в указанном направлении полностью ещё не завершены. Модернизация отдельных компьютерных программ продолжается.

Также отметим, что в настоящее время при использовании "Автоматизированных технологий № 1 и № 2…" для разных регионов в сейсмоактивных зонах нашей планеты ещё имеют место ошибки в "диапазонах-интервалах" координат или магнитуды, но очень редко – для времени реализации прогнозируемого землетрясения. По-нашему мнению, на отсутствие корректного, достоверного (≥90 %) сейсмопрогноза влияют следующие главные причины:

а) необходима обширная региональная сейсмофлюидодинамическая (СФД) сеть станций (не менее 30), охватывающая все сейсмогенные зоны в пределах Азербайджана и акватории Каспия;

б) необходима обширная трансрегиональная СФД сеть станций, которая охватит все сейсмогенные зоны в пределах государств Анатолийско-Ирано-Кавказского тектонического блока (Россия-Дагестан; Грузия, Армения, Турция, Иран) и Прикаспийского региона (Россия, Казахстан, Туркмения, Иран);

в) трансрегиональная СФД сеть станций должна работать в круглогодичном режиме, и иметь "Банк данных СФД информации" аналогично азербайджанской.

А теперь рассмотрим возможность объяснения главного вопроса в области теоретической сейсмофлюидодинамики (СФД): что является основным критерием отражения заключительного этапа подготовки землетрясений в аномалиях СФД полей.

Данный факт долгие годы был одним из самых дискуссионных, после зарегистрированного в 1966 году открытия узбекских учёных о том, что СФД параметры являются предвестниками подготовки очагов сильных землетрясений к реализации. Оставался неясным механизм влияния сейсмического поля на СФД поля. Однако, в свете новых научных исследований, которые были получены вначале 2000-х годов известными учёными-химиками (С.В.Зенин, А.В.Шабров, 2001; В.И.Лобышев, 2000; Р.И.Полонников, 2001; М.В.Курик, 2001; Моссин, 2003-2007; Эмото Масару, 2004). Они позволили теоретически обосновать основные аспекты данного открытия [1; 6]:

1. Структура воды фрактальна, т.е. структурно-химические свойства и структура кластеров воды изменяется под воздействием внешних физико-химических факторов (механические, звуковые, световые воздействия, термическое, магнитное, электромагнитное, торсионное и др. поля).

2. Информационная структура воды, которая находится под воздействием мощного поля, генерирующего сильные и сверхсильные взаимодействия, может сохраняться достаточно долгое время. Именно такой вид воздействия имеет место в сейсмическом очаге на заключительном этапе подготовки землетрясения.

3. Вода имеет энергоинформационное поле, т.е. она обладает "памятью". В каждой ячейке её структурной формулы содержится 440 000 информационных панелей, на которых записывается вся информация взаимодействия и воздействия на воду внешних факторов.

Интерполируем эти новые научные факты на известный факт, что активизация сейсмических процессов сопровождается короткопериодным аномальным изменением режима подземных вод и др. флюидов в системе "вода-горная порода". Данный феномен объясняется физико-химическими свойствами воды и её структурно-информационными характеристиками. Жидкокристаллическая структура молекул воды архивирует информацию, полученную из окружающей среды, запоминает–накапливает и передаёт её обратно в среду (воду).

e-mail отправлен: дата 27.04.2017
время 16:01:28

Председателю Прогнозной комиссии РЦСС при НАНА.
Ген. Директору РЦСС НАНА.
д.г.-м.н. Етирмишли Г.Д.
от нач-ка отдела "Комплексные геохимические исследования", д.г.-м.н. Керамовой Р.А..

Докладная записка № 70 от 27.04.2017 г.
Оценка сейсмической обстановки по сейсмофлюидодинамическим (СФД) полям Азербайджана
на период: 27.04.2017 – 08.05.2017 г.
Регионы : Акватория Каспия (Азербайджан)

По результатам круглогодичного **СФД** мониторинга за период **12.04.2017-27.04.2017** г. в вариациях полей (гидро-, газо-, радиогеохимические и гидрогеодинамические) наблюдаются аномальные значения концентрации относительно фонового уровня для отдельных параметров: ионы **pH; Eh; ∑(Na.K).** Аномалии наблюдаются на следующих станциях:
гх/ст "Шамахы" (Шамахинский р-н). гх/ст "Бёюк-Гамья" (Сиазаньский р-н). На остальных станциях значения параметров не превышают фоновые или близки к нему. Интерпретация данных **СФД** мониторинга указывает на вероятность возникновения землетрясений в следующих регионах :

№ п/п	Процент совпадения с эталонами. %	Название очага и микросейсмозоны	Параметры очага прогнозируемого землетрясения на период времени: 27.04.2017 – 08.05.2017 г.						
			Диапазоны (интервалы)						
			Значение диапазона. (min/max)	Координаты		Дата реализации прогнозируемого земл-я	Время, оставшееся до реализации земл-я	Магнитуда. (ml/mb)	Глубина, км (h)
				φ	λ		tвр (дни)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	40	Азербайджан - р-н Загатальский; Балакян-Загатала-Гахская мк-с/з	min	41.44	46.55	27.04.2017	0	ml = 3.0	10
			max	41.64	46.79	08.05.2017	11	ml = 3.9	40

Начальник ОГХ РЦСС НАНА, д.г.-м.н. _____ Керамова Р.А.
Инженер ОСГХ РЦСС НАНА, _____ _____ Гулалиева Х.М

Рис. 1. Табличный формат "Автоматизированной технологии № 2 для оперативной оценки сейсмической обстановки и оперативного прогноза сильных землетрясений в разных регионах мира на основе СФД мониторинга в Азербайджане".

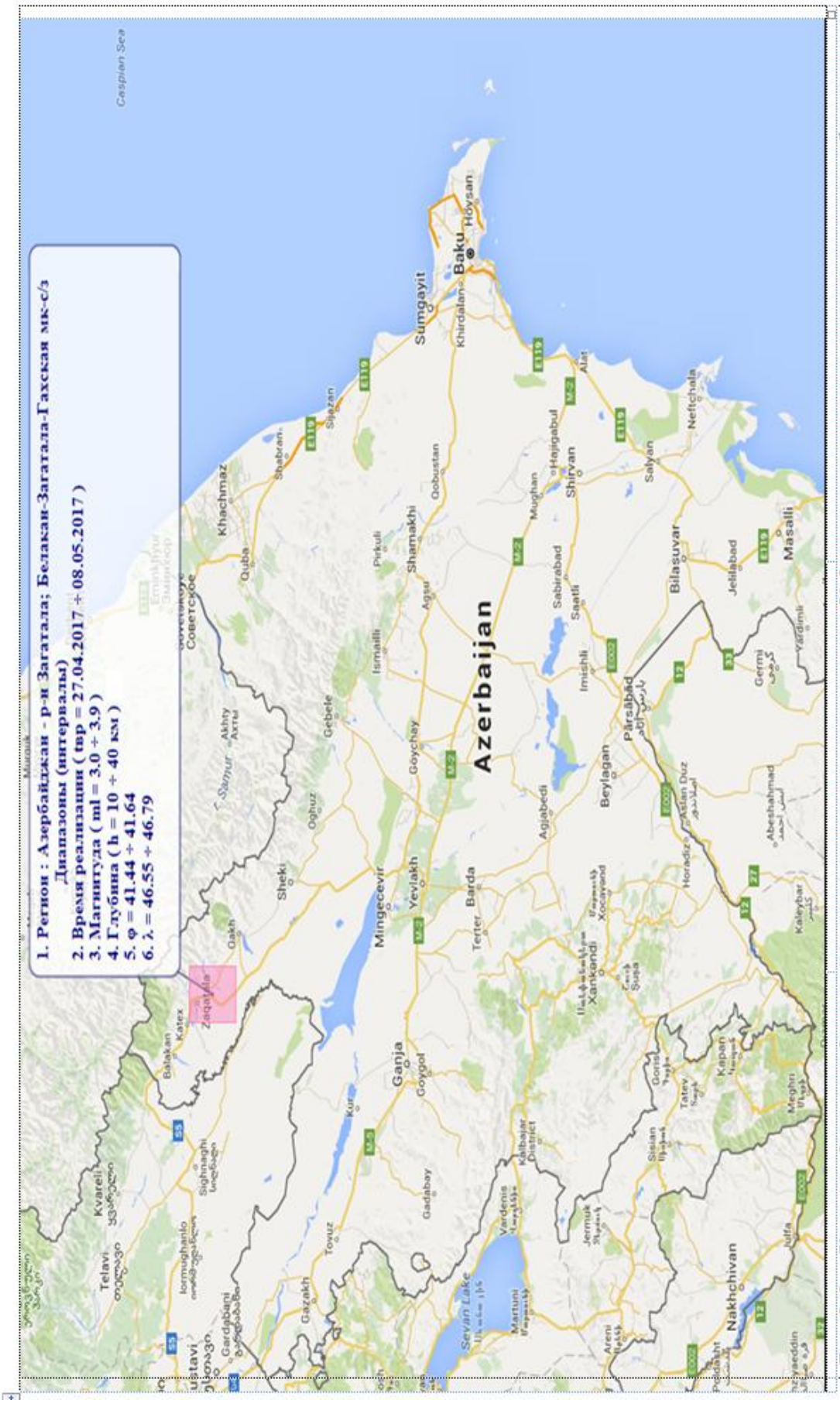


Рис. 2. 1. Картографический формат "Автоматизированной технологии № 2 для оперативной оценки сейсмической обстановки и оперативного прогноза сильных землетрясений в разных регионах мира на основе СФД мониторинга в Азербайджане".

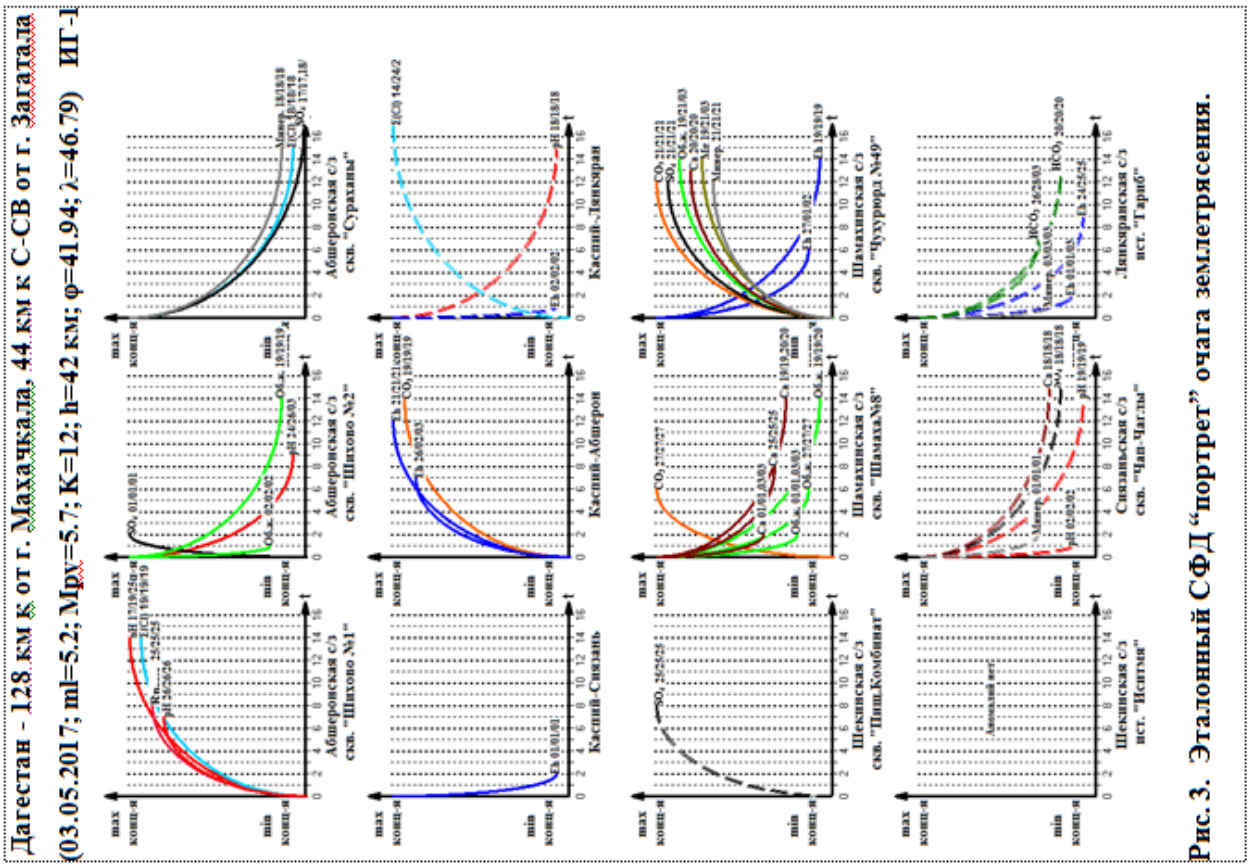


Рис. 3. Эталонный СФД "портрет" очага землетрясения.

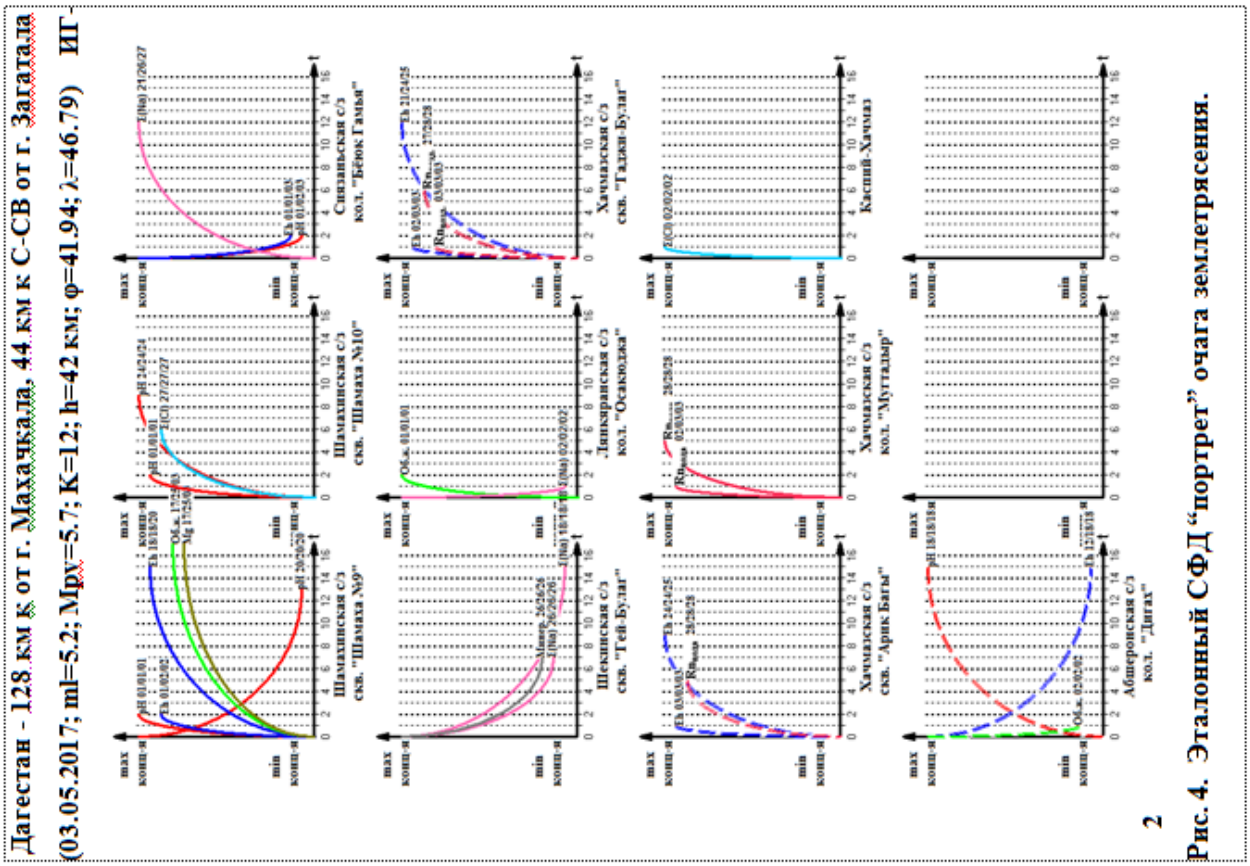


Рис. 4. Эталонный СФД "портрет" очага землетрясения.

ТАБЛИЦА ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ПРАВИЛЬНОСТИ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ОЦЕНОК СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПО СЕЙСМОГЕОХИМИЧЕСКИМ ПОЛЯМ ФЛЮИДОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

02.01.2017 ÷ 27.07.2017 г.

Условные обозначения:

● - реализованное землетрясение; - верный параметр прогноза землетрясения; - неверный параметр прогноза.

1. Кавказско-Каспийский регион: а) Каспийское море (ml≥3.0; h≥0 км); Азербайджан (ml≥3.0; h≥0 км); б) ml≥4.0; h≥0 км: Россия-Дагестан, Чечня; Грузия; Армения.

по данным Каталогов землетрясений: "KINEMETRIX" (БЮРО ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РЦСС) МИРОВОЙ БАНК ДАННЫХ (РОССИЯ – г. ОБНИНСК)

ВНИМАНИЕ! программа "Identfire" из "Автомат. Технология №1…", а программа "Autolog" - "Автомат. Технология №2".

Авторы технологий: - КЕРАМОВА Р.А. (алгоритмы и мат. обеспечение); АББАСЛЫ О.А (программное обеспечение).

Таблица 1.

ПРОГРАММА "IDENTFIRE"(ВАРИАНТ №2 от 11.02.2009 г.); ПРОГРАММА "AUTOLOG" (ВАРИАНТ № 14 от 28.07.16 г.)

№/пп	ПАРАМЕТРЫ РЕАЛИЗОВАННОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ			ИНТЕРВАЛ (ДИАПАЗОН) ПАРАМЕТРОВ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ				Результаты прогноза:
	Дата, UTC (время - Гринвич)	Местоположение очага	Параметры очага: магнитуда – ml/mb; координаты - φ; λ, глубина - h (км)	Дата отправки докладной; её номер; интервал даты прогноза, UTC (время -Гринвич)	Местоположение очага его приуроченность к сейсмозоне или микро-сейсмозоне	Параметры очага: ml/mb; φ÷λ; h	Сколько дней до реализации	Δ (км) – ошибка в расстояние между реализованным очагом и прогнозируемым
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	02.05.17	Азербайджан – Гобустан; "Локбатан" - грязевой вулкан	φ=40.3; λ=49.36	19.04.17 № 14 (Autolog) 19.04.17- 30.04.17	Азербайджан – Гобустан: грязевой вулкан Чендьдаг	ml=3.0÷3.9; φ=40.15÷40.35; λ=48.96÷49.20; h=18÷40 км	Ошибка в 2 дня	Подтвердилось частично Δ=15 км
2	03.05.17	Дагестан - 128 км к от г. Махачкала 44 км к С-СВ от г. Загатала (Данные Дагестанского Филиала ФИЦ ЕГС РАН)	ml=5.2 φ=41.94; λ=46.79; h=42	24.04.17 № 71 (Identfire) 24.04.17- 03.05.17	Юж. Дагестан - 114 км к ЮВ от г. Махачкала (36 км к Зап. от г. Дербент)	ml=3.0÷3.9; φ=41.90÷42.09; λ=47.75÷48.02; h≤40 км	9	Подтвердилось частично Δ=80 км
1	03.05.17	Дагестан - 128 км к от г. Махачкала, 44 км к С-СВ от г. Загатала (Данные Дагестанского Филиала ФИЦ ЕГС РАН)	ml=5.2 φ=41.94; λ=46.79; h=42	24.04.17 № 67 (Autolog) 24.04.17- 04.05.17	Азербайджан - р-н Гах	ml=3.0÷3.9; φ=41.36÷41.56; λ=46.79÷47.03; h=21÷40 км	10	Подтвердилось частично Δ=40 км
				27.04.17 № 70 (Autolog) 27.04.17- 04.05.17	Азербайджан - р-н Загатала; Белакан-Загатала-Гахская мк-с/з	ml=3.0÷3.9; φ=41.44÷41.64; λ=46.55÷46.79; h=10÷40 км	8	Подтвердилось частично Δ=38 км
						ml=3.0÷3.9; φ=41.36÷41.55; λ=46.77÷47.04; h≤40 км		
				25.04.17 № 72 (Identfire) 25.04.17- 04.05.17	Азербайджан - р-н Гах (Белакан-Загатала-Гахская мк-с/з)		9	Подтвердилось частично Δ=40 км

Именно данным фактом объясняется впервые установленная [2-5] закономерность: эталонный СФД "портрет" конкретного очага землетрясения и временной период длительности заключительного этапа его подготовки в конкретном очаге – стабильны и индивидуальны. Этот закон объясняет процесс возникновения СФД аномалий в объектах подземных вод и газов, которые находятся далеко ($\Delta \geq 100$ км) от очага землетрясения. Таким образом, на основе длительных (38 лет), круглогодичных СФД исследований, нами был сделан вывод о том, что решение главных вопросов в области достоверного сейсмопрогноза (определение "диапазона-интервала" координат, магнитуды и времени реализации готовящегося землетрясения) может быть осуществлено только по СФД полям, потому что именно флюиды в системе "вода-порода" являются чутким индикатором процессов, которые действуют в сейсмогенных зонах на заключительном этапе подготовки землетрясений.

А теперь приведём подтверждение положительного использования "Автоматизированных технологий №1 и №2… на основе СФД мониторинга в Азербайджане" конкретно для территории Дагестана и прилегающей акватории Каспия. Как известно, 02.05.2017 г. в Азербайджане, в Гобустане, произошло извержение грязевого вулкана, а 03.05.2017 г. в Дагестанском Филиале ФИЦ ЕГС РАН зафиксировали сильное землетрясение (ml=5.2). Несмотря на факт, что по времени реализации эти 2 события близки, на основе использования наших автоматизированных технологий, их прогноз был конкретизирован и дифференцирован по времени реализации и координатам. Также отметим, что анализ результатов нашего сейсмопрогноза для этого региона показал очень высокую степень достоверности (≥90 %). Также, была установлена закономерность, что нижним порогом дагестанских землетрясений, которые отражаются в аномалиях СФД полей Азербайджана, следует считать магнитуду: $ml \geq 2.7$; $mb \geq 3.8$ (рис. 1-4; табл. 1.).

Литература

1. Зенин С.В., Меркулов М.Ф., Мирза Д.Г. – Исследование медико-биологических свойств матричных аппликаторов "Айрес". СПб, 2000. с.14-21.
2. Керамова Р.А. - Сейсмичность и геохимические поля флюидов Азербайджана. Автореферат докторской диссертации. М., Институт Физики Земли РАН. 2004.
3. Keramova R.A. - 2007/2008. The express-methods of the on-line forecast of "horizons of magnitude, time and the site" of the earthquake center on geochemical fields of fluids. //Science without bordes. Volume 3. Transactions of the International Acagemy H&E. p. 424-432. Insbruk.
4. Keramova R.A. - 2007/2008. Results of use of express-methods of the operative forecast of earthquakes on geochemical fields of fluids in Azerbaijan (2001-2007). //Science without bordes. Volume 3. Transactions of the International Acagemy H&E. p. 436-443. Insbruk.
5. Keramova R.A. – The hypocenter of earthquake preparing for realization is the trigger for identification of its site on seismogeochemical anomalies of fluids of Azerbaijan. - IAHS-IAPSO-IASPEI Joint Assembly, Gothenburg (Sweden 22-26 July 2013).
6. Лобышев В.И. 2000. – Вода как сенсор и преобразователь слабых воздействий физической и химической природы на биологические системы. Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине. Тезисы 2-го Международного конгресса. СПб. С.99-100.

УДК 550.34.06.013.3

ВАРИАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА В ПЕРИОДЫ ЗАПОЛНЕНИЯ И НАЧАЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВЫХ ГЭС СУЛАКСКОГО КАСКАДА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ЭТИ ПЕРИОДЫ

Алиев И.А., Магомедов А.Г., Мусаев М.А.
Институт геологии ДНЦ РАН

Отмечена концентрация максимальной сейсмической активности в районе Сулакского каскада ГЭС в периоды заполнения каждой крупной ГЭС. Показано изменение распределения гипоцентров при резком изменении сейсмической активности вследствие увеличения динамической нагрузки.

Ключевые слова: сейсмическая активность, каскады ГЭС, динамическая нагрузка, распределение гипоцентров.

VARIATIONS OF SEISMIC ACTIVITY OF THE EASTERN CAUCASUS DURING THE PERIODS OF FILLING AND INITIAL OPERATION OF NEW HPPS SULAK CASCADE AND THE DISTRIBUTION OF HYPOCENTERS OF SEISMIC EVENTS IN THESE PERIODS

Aliev I.A., Magomedov A.G., Musayev M.A.
Institute of geology, Dagestan scientific center, Russian academy of sciences

The concentration of the maximum seismic activity in the area of the Sulak cascade of hydroelectric power stations during the periods of filling of each large hydroelectric power station is noted. A change in the distribution of hypocenters with a sharp change in seismic activity due to an increase in the dynamic load is shown.

Keywords: seismic activity, cascades of HPP, dynamic load, distribution of hypocenters

Для анализа вариаций сейсмической активности Восточного Кавказа взят период с 1970 года, потому-что за первую половину 20 века, даже вплоть до середины 60-х годов, незначительным количеством сейсмических станций того периода могли быть зарегистрированы лишь самые сильные или происшедшие близко от станции сейсмические события. Не говоря о более ранних, приведенных в каталоге [3] сейсмических событиях, оцененных ориентировочно по периоду доинструментальной регистрации. По мере развития сети инструментальных наблюдений возрастает и число зарегистрированных сейсмических событий в Дагестане, особенно с 1970 г., тем более, что и строительство крупных ГЭС Сулакского каскада началось в это время.

С начала 1970-х годов началось быстрое развитие и разветвление сетей инструментальных наблюдений по всей стране и на Кавказе. Это позволило точно позиционировать не только сильные, но и слабые проявления сейсмической активности с $M<2$. И основное отличие этого периода в том, что в вариациях сейсмической активности начал проявляться и техногенный фактор. Фактор, связанный с началом строительства, заполнения и эксплуатации ГЭС Сулакского каскада.

С начала заполнения и ввода в эксплуатацию Чиркейской ГЭС, самой крупной на Сулакском каскаде, прошло около 40 лет - период, совпадающий с общим увеличением сейсмичности этого района. Каждая крупная ГЭС Сулакского каскада вносила свою лепту в увеличение сейсмичности района, инициировало ее после начала заполнения их водохранилищ и дальнейшей эксплуатации. Как видно из рис.1., в периоды ввода в эксплуатацию ГЭС происходили значительные (Чиркейская 1974 г., Ирганайская 1999 г.) и локальные (Миатлинская 1986 г., Гунибская 2005 г.) увеличения сейсмической активности [1].

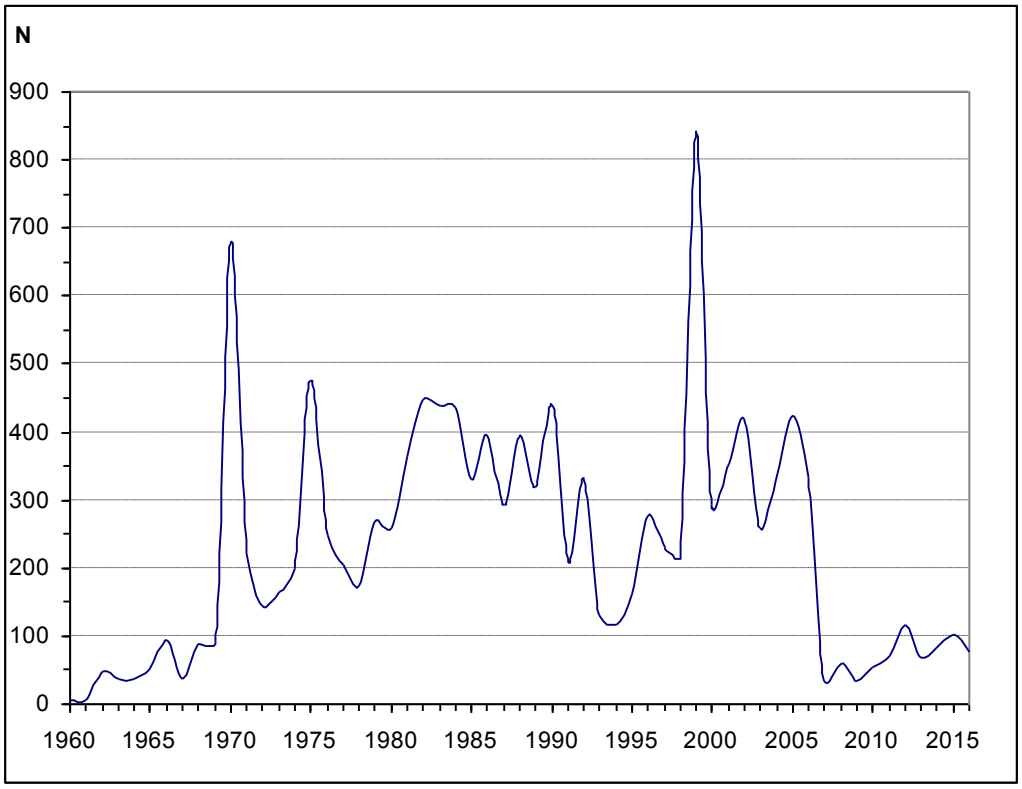


Рис. 1. Сейсмические события на территории Дагестана 1960-2016 гг. (M >2)

Таблица 1
Плотины Сулакского каскада ГЭС

ГЭС	Высота плотины м.	Объем полный млн.куб.м.	Объем полезный млн.куб.м.	Ввод в эксплуат. год
Чиркейская	232,5	2780	1320	1974
Ирганайская	111	705	397	1998
Миатлинская	86,5	47	22	1986
Гунибская	73	10,6	0,89	2005
Гергебильская	70	0,1	*	1940
Гоцатлинская	68	48	3,55	2015, пуск 1 агрегата
Чирюртовская	37,5	*	*	1961

Для наглядности техногенного воздействия на вариации сейсмической активности, проанализируем распределение гипоцентров в районе Сулакского каскада ГЭС. Рассмотрим распределение гипоцентров 3033 землетрясений за 1990-2013 гг. из рассматриваемой (радиусом R=50 км, от центра Чиркейского водохранилища) области. Разделим их на группы: первая группа - землетрясения с гипоцентрами менее 15 км, и вторая группа - землетрясения с гипоцентрами более 15 км. Максимальное количество гипоцентров сосредоточено в пределах глубин 10 $\pm$ 5 км. Подсчет количества сейсмических событий показал, что в первой группе произошло 2138 событий, во второй - 895 событий. Можно предположить, что землетрясения, относящиеся к первой группе, связаны с проникновением воды в разломную часть земной коры, а вторая группа событий, где сложно представить проникновение воды в эти горизонты, под воздействием динамической нагрузки при эксплуатации водохранилищ в районе Сулакского каскада ГЭС. На рис.2 показаны графики распределения количества землетрясений кривая 1 и кривая 2 до 15 км и более, соответственно. Как видно из рисунка, происходит увеличение числа землетрясений для периода времени 1999 г., причем число землетрясений с гипоцентрами более 15 км растет более интенсивно, чем для гипоцентров менее 15 км, что по всей вероятности связано с возрастающей динамической нагрузкой в районе заполнения водохранилища. На графике также видно почти синхронное повышение количества землетрясений в отдельные годы - 1992, 1996, 2002 и 2005 гг., но в значительно меньшем количестве. И число землетрясений с гипоцентрами более 15 км всегда меньше, чем до 15 км, что является доказательством верности нашего предположения о роли, возрастающей динамической нагрузки в увеличение сейсмичности в 1999 г. в рассматриваемой области.

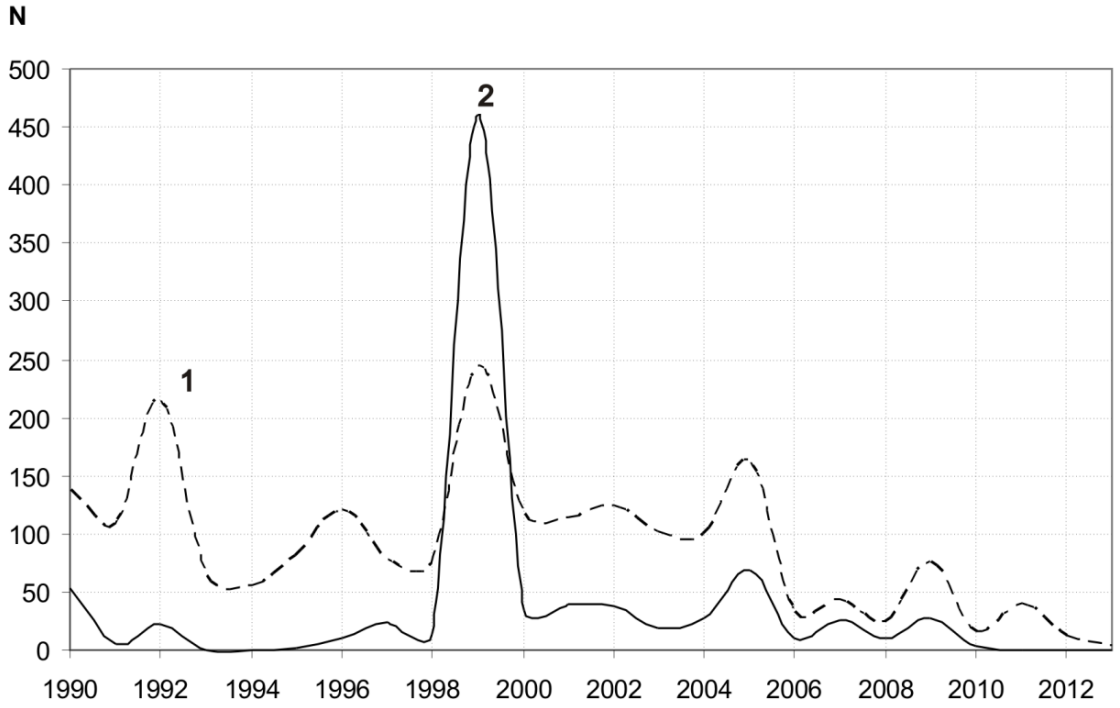


Рис.2. Изменение сейсмической активности в районе Сулакского каскада ГЭС:
1 - с гипоцентрами до 15 км, 2 - с гипоцентрами более 15 км

Это позволяет заключить: заполнение Ирганайского водохранилища вызвало возмущение равновесного состояния земной коры в этом районе, что привело к всплеску сейсмической активности.

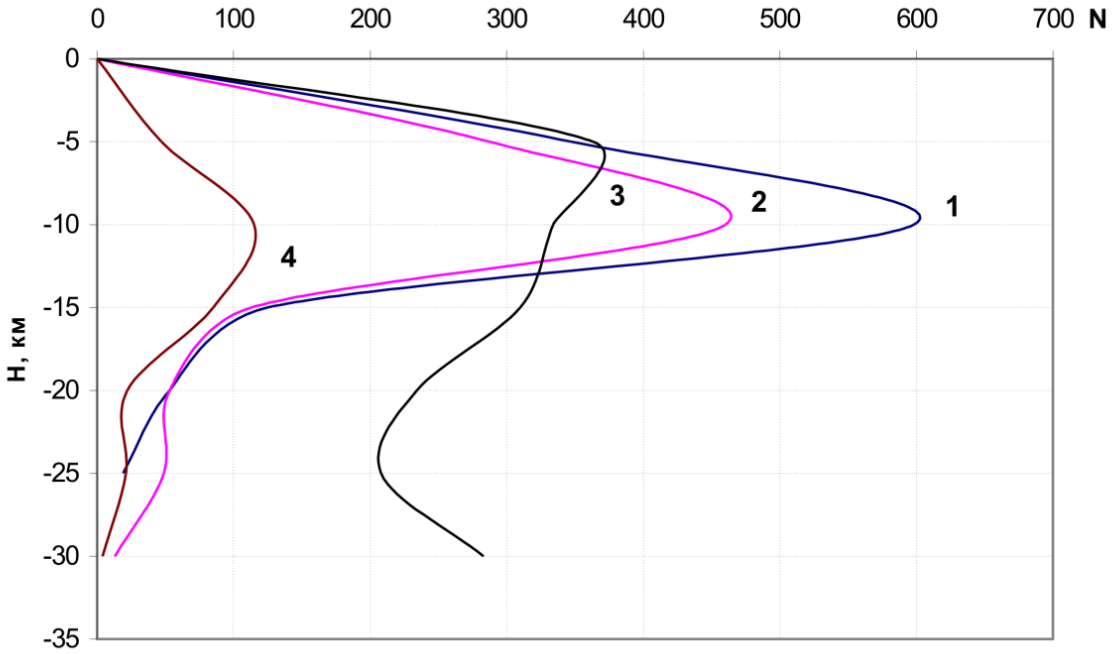


Рис.3. Распределение гипоцентров землетрясений за 1970 – 2013 гг.:
1 - по данным за 1970 – 1983 гг. [2]
2 - по данным за 1990 – 1997 гг.
3 - по данным за 1998 – 2005 гг.
4 - по данным за 2006 – 2013 гг.

Рассмотрим распределение гипоцентров по слоям шагом в 5 км, как это сделали авторы [2], которые в своей работе для выделения сейсмофокальной области (СФО) «Дагестанский клин» использовали 1144 землетрясения за период 1970-1983 гг., происшедших в рассматриваемой нами области. На рис.3 представлено распределение гипоцентров землетрясений за 1970-2013 гг. Кривая 1 построена по данным [2] за 1970-1983 гг. Кривая 2 по данным [3] за 1990 - 1997 гг., в период до начала заполнения Ирганайского водохранилища. Кривая 3 построена по данным [3, 4] за 1998 – 2005 гг., после начала заполнения и эксплуатации Ирганайского водохранилища и кривая 4 по данным [www.ceme.gsras.ru] за 2006 – 2013 гг. Как видно из рисунка, кривые 1, 2 и 4 по форме кривой практически повторяют друг друга, коэффициент корреляции между рядами данных k - порядка 0,9. Начала отсчета кривых 1 и 2 разделяет 20 лет, 1 и 4 более 30 лет, в тоже время распределение гипоцентров за разные промежутки времени, разные года - повторяются. Этому есть одно объяснение - изменение динамической нагрузки под ложем водохранилища приводит к раскрытию трещин и проникновению воды во все более новые горизонты по трещинам и разломам. Данный процесс сопровождается повышением сейсмической активности. Причем процесс идет, из года в год, по одним и тем же трещинам и разломам, что доказывается высокой корреляцией рядов данных кривых 1, 2 и 4. Это позволяет нам заключить, что регулярные изменения динамической нагрузки, т.е. сезонные изменения уровня водохранилища в результате его эксплуатации могут приводить лишь к увеличению местной сейсмической активности. Коэффициент корреляции кривой 3 с кривыми 1, 2 и 4 $k \leq 0{,}6$, т.е. значительно меньше, чем между первыми рассмотренными, это говорит о том, что процесс имеет иной характер. Практически распределение гипоцентров равномерно по слоям от 5 до 30 км. Объяснение этого явления следующее: мы считаем, что в результате значительного изменения тектонического напряжения в рассматриваемой области, связанного с началом заполнения водохранилища, произошли процессы быстрого выравнивания этих напряжений вертикально по слоям, уже по другим трещинам и разломам, с повышением сейсмической активности. Дополнительное увеличение (в сравнении с периодом относительного тектонического

равновесия 1990-1998 гг.) динамической нагрузки инициировало всплеск сейсмической активности в этом районе.

Сравним распределения гипоцентров кривая 3 (рис.3) с гипоцентрами сейсмических событий с M ≥ 5 по всей планете за 2013 г. представленных на рис.4 по данным [www.emsc-csem.org].

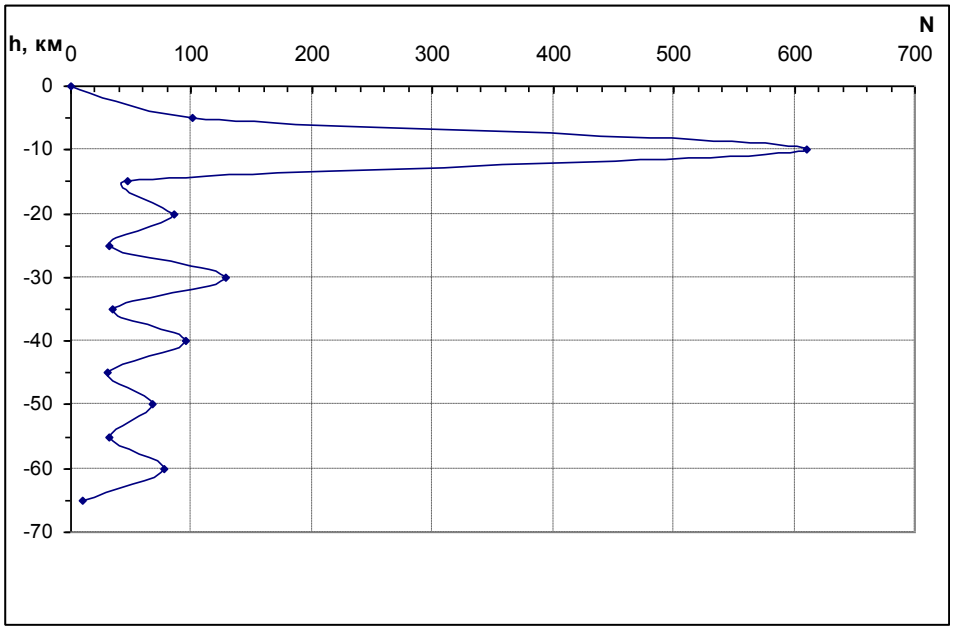


Рис.4. Распределение гипоцентров сейсмических событий с M ≥ 5 за 2013 г.

Можно отметить, что распределение кривая 3 рис.3, которое мы считаем особенностью техногенного воздействия на распределение гипоцентров, резко отличается от распределения вызванного экзогенными и эндогенными процессами на рис.4. Через каждые 10 км гипоцентры находятся в локальном максимуме. Аналогична картина распределения гипоцентров M ≥ 5 и за другие 2006 – 2016 гг. Это является подтверждением особенности распределения гипоцентров вызванных техногенными причинами.

Анализ вариаций сейсмичности в Дагестане в 1960-2016 гг. показал, что с конца 60-х годов наблюдается общее увеличение сейсмичности рассматриваемого района (рис.1), как указывали выше, со значительными и локальными максимумами в периоды ввода ГЭС в эксплуатацию. После периодов увеличения сейсмичности всегда следуют периоды сейсмического затишья. В период общепланетарного роста сейсмичности с M>4 в 1990 - 1996 гг. по данным USGS [www.usgs.gov/neic/, 1973-2008], в рассматриваемом районе отмечается значительное снижение сейсмичности, и наоборот, в период всплеска сейсмичности Сулакского каскада 1999 г. в остальной части планеты существенное снижение сейсмической активности. Все это позволяет заключить, что вариации сейсмической активности в рассматриваемом районе имеют локальные причины, и наиболее вероятно, что это техногенные причины.

Все вышеизложенное позволяет нам считать, что наблюдаемое в районе Сулакского каскада ГЭС значительное увеличение числа сейсмических событий с гипоцентрами более 15 км и практически равномерное распределение гипоцентров по слоям в каждые 5 км (в среднем по 300 гипоцентров в слое) являются признаками техногенного воздействия на распределение гипоцентров и дополняют приводимые выводы.

Выводы:

1. Всплеск сейсмической активности в районе Сулакского каскада ГЭС в 1999 году имеет техногенные причины.

2. Заполнение Ирганайского водохранилища привело к нарушению равновесного состояния района расположения Чиркейского, Миатлинского, Чирюртовского водохранилищ. Раз-

рядка тектонических напряжений в течение периода 1999 - 2005 гг. привела к резкому снижению сейсмической активности в последующие 2006 - 2016 гг.

Литература

1. Алиев И.А., Черкашин В.И., Мусаев М.А. Анализ сейсмической активности в районе Сулакского каскада ГЭС //Геология и геофизика Юга России. 2016. № 2.- С. 5-13.
2. Левкович Р.А., Асманов О.А. Сейсмофокальная область «Дагестанский клин». «Сейсмичность и сейсмотектоника Восточного Предкавказья» //Труды Института геологии Даг.филиала АН СССР. Махачкала. 1985. Вып. 33.- С. 5-18.
3. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана до 2005 года. Махачкала: Эпоха. 2007. 394 с.
4. Черкашин В.И., Дорофеев В.М., Крамынин П.И. и др. Организация инженерно-сейсмометрической службы в Республике Дагестан //Вестник Дагестанского научного центр. № 14. Махачкала, 2003. С. 25-33.
5. www.ceme.gsras.ru
6. www.emsc-csem.org
7. www.usgs.gov/neic/, 1973-2008

Выпуск журнала № 2 подготовлен при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект (№ 17-05-20396 Г).

Научное издание

Ежеквартальный научный журнал

Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН

Выпуск № 2 (69) 2017

Издаются по решению ученого совета ИГ ДНЦ РАН

Сборник набран, сверстан и отредактирован на компьютерной базе ГИС-центра Института геологии ДНЦ РАН.

Дизайн – Черкашин В.И.
Верстка – Мамаев С.А., Магомедов Р.А., Ибаев Ж.Г., Идрисов И.А.
Набор – Гусейнова А.Ш., Мамаев А.С.

Подписано в печать 20.09.2017 г.
Формат 60x84 1/16. Печать ризографная. Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс». Усл. п. л. 12. Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии АЛЕФ, ИП Овчинников М.А.
367002, РД, г. Махачкала, ул. С.Стальского 50, 3 этаж
Тел.: +7 (8722) 935-690, 599-690, +7 (988) 2000-164
www.alefgraf.ru, e-mail: alefgraf@mail.ru